VISATOS GROŽIS

Šį kūrinį specialiai „Visatos grožiui“ sukūrė He Šuifa (He Shuifa), tradicinio kinų meno ir kaligrafijos meistras. Šį menininką išgarsino energinga ir subtili tapymo maniera, kuria jam pavyko perteikti gėlėse, paukščiuose ir visoje gamtoje glūdintį dvasingumą. Paprastas užrašo prie piešinio vertimas skamba taip: „Taidzi (Taiji) dviguba žuvis – tai kinų kultūros esmė. Šį piešinį sukūrė He Šuifa prie ežero prasidėjus žiemai.“

Žaismingas Taidzi „dvigubos žuvies“ aspektas atgyja He Šuifos paveiksle. In ir Jang primena du žaidžiančius karpius – piešinyje galima įžvelgti jų akis ir pelekus. Geltonojoje upėje prie Henano yra krioklys, pavadintas Drakono vartais. Julongo karpiai mėgina peršokti krioklį, tačiau jiems labai sunku tą padaryti. Tos žuvys, kurioms pasiseka, pavirsta laimingaisiais drakonais. Pasitelkę humoro jausmą, galime susieti šį įvykį su virtualiųjų dalelių virsmu realiosiomis dalelėmis, esminiu kvantiniu procesu, apie kurį dabar manoma, kad jis sudaro visatos sandaros kilmės pagrindą (žr. spalvotas iliustracijas XX ir AAA). Arba galime susitapatinti su karpiais ir jų atkaklume įžvelgti savo pastangas pažinti.

Frank Wilczek

VISATOS GROŽIS

MĖGINIMAS SUVOKTI PASAULIO PRIGIMTĮ

Vertė *Ovidijus Stokys*

eugrimas
Vilnius

TEISĖS GINAMOS.
Šį leidinį draudžiama atkurti bet kokia forma ar būdu, viešai skelbti, įskaitant padarymą viešai prieinamą kompiuterių tinklais (internete), išleisti ir versti, platinti jo originalą ar kopijas parduodant, nuomojant, teikiant panaudai ar kitaip perduodant nuosavybėn.

Draudžiama šį kūrinį, esantį bibliotekose, mokymo įstaigose, muziejuose arba archyvuose, mokslinių tyrimų ar asmeninių studijų tikslais atkurti, viešai skelbti ar padaryti viešai prieinamą kompiuterių tinklais tam skirtuose terminaluose tų įstaigų patalpose.

Versta iš knygos:
A Beautiful Question: Finding Nature's Deep Design by Frank Wilczek

Iš anglų kalbos vertė
Ovidijus Stokys

Redagavo ir korektūrą atliko
Regina Dobelienė

Maketą kūrė ir maketavo
Laimis Kosevičius

Viršelį adaptavo
Laimis Kosevičius

Knygų serija MOKSLAS VISIEMS leidžiama pagal Lietuvos mokslų akademijos kartu su partneriais vykdomą projektą „Nacionalinės mokslo populiarinimo priemonių sistemos plėtra ir įgyvendinimas", finansuojamą Europos socialinio fondo lėšomis.

ISBN 978-609-437-376-3 Copyright © 2015 by Frank Wilczek. All rights reserved
© Leidykla „Eugrimas", 2018

Skiriu šeimai ir draugams:
gražūs antraeiliai atsakymai

PRATARMĖ LIETUVIŠKAM VERTIMUI

Knygos autorius priklauso plejadai mokslininkų, kurie Nobelio premiją (2004 m.) gavo už doktorantūros darbą – atrado, kaip paaiškinti kvarkų elgesį atomų branduoliuose. Jis ne tik ir toliau aktyviai darbuojasi priešakinėse mokslininkų gretose skirdamas daug dėmesio jo pasiūlytų hipotetinių dalelių – aksionų paieškai, bet ir skiria didelį dėmesį mokslo laimėjimų populiarinimui.

Ši knyga ypač subtiliai ir savitai aptaria pasaulio pažinimo istoriją ir mokslo raidą: autorius į jas žvelgia per prizmę „idealu – realu“, atskleisdamas skaitytojui amžiną mokslininkų siekį nuo seniausių laikų iki netolimos dabarties – atskleisti pasaulio tobulybę, t. y. įrodyti, kad jis gražus. Diskutuodamas su skaitytojais, autorius gilinasi ir į dvasinę kosmologiją, mėgindamas įkandin J. Keplerio, I. Niutono, D. Maksvelo suprasti pasaulio Kūrėjo motyvus ir svarstydamas, ar pasaulio grožis nėra Dievo didybės atspindys.

Autorius ieško atsakymo į klausimą, ar pasaulį galima laikyti meno kūriniu, ir jeigu taip, tai ar tas kūrinys vykęs. Jį domina ir laikui tarsi nepaklūstančio grožio suvokimo aspektas: „Meno istorija pripratino mus prie idėjos, kad senieji stiliai netampa atgyvena: jiems priklausantys meno kūriniai nesiliauja žavėję ir sudaro svarbų tolesnės meno raidos foną.“ Jam rūpi ir senųjų mąstytojų nuostatų pokyčiai: nors šios dažnai pasukdavusios klystkeliais, tačiau vėl atgimdavusios naujoje šviesoje, skatindamos kurti naujus gilesnės analizės metodus ar atskleisti nežinomus gamtos jėgas valdančius dėsnius. Skaitytojo dėmesys atkreipiamas ir į projekcinę geometriją, iškėlusią naujas idėjas – reliatyvumo, invariantiškumo, simetrijos, kurios ne tik gražios pačios savaime, bet ir atveria naujas mokslo erdves.

Autorius labai sėkmingai naudojasi tuo, kad esame puikiai prisitaikę apdoroti informaciją kaip tam tikrą istoriją ir sieti ją su vardais – atkreipia dėmesį į konfliktus ir jų sprendimus. Skaitytojui išsamiai atskleidžiama, kaip Pi-

tagoras savo stačiojo trikampio teorema išryškino paslėptą Proto ir Materijos vienovę, o Platono išaukštinta simetrijos reikšmė atgimė paėjusiame amžiuje, Emi Nėter įrodžius simetrijos ryšį su tvermės dėsniais. (Pastarosios išplėtotam principui knygoje skiriamas ypatingas dėmesys, o pati mokslininkė parodyta kaip viena iš ryškiausių figūrų fizikoje.) Tai užšifruota nuostabiai sėkmingoje elementariųjų dalelių teorijoje – Standartiniame modelyje, kurį autorius vadina Pagrindų teorija.

Knyga aprėpia svarbiausias fizikos sritis – jos pristatomos taip gyvai, kad atsiskleidžia nuoseklus pasaulio pažinimo gilėjimas, aprėpiantis mechanikos, optikos, ypač spalvų, elektros ir magnetizmo, tyrimus ir jų atradimų reikšmę Niutono, Einšteino, Maksvelo teorijoms ir kvantinės fizikos mokslui. Populiariai aptaręs kvantinio pasaulio grožį, autorius pereina prie materijos sandaros ypatumų, kurių tyrimai paskatino naujos fizikos srities, pavadintos chromodinamika, atsiradimą. Knygoje parodoma, kaip gilėtų tolesnis pasaulio pažinimas, jei pasitvirtintų Supersimetrinis modelis – nors šio likimas dar nenuspręstas, bet, autoriaus teigimu, jo įrodymas „apdovanotų mūsų pasitikėjimą grožiu kaip orientyrą į giluminę realybę“.

Autorius pažymi, kad gilesnis pagrindų suvokimas negali panaikinti patirties turtingumo. Ši patirtis gali apšviesti (ir apšviečia) žinias nauja šviesa, skatinančia mus ją turtinti toliau.

Knyga lengvai skaitoma, vertėjui pavyko tekstą pateikti aiškia kalba, savo stiliumi artima originalui. Knygos turinį pagilina išraiškingos iliustracijos, o tie skaitytojai, kurie nori labiau įsigilinti į aptariamus klausimus, jos gale ras papildomus skyrius: *Chronologiją*, kur susitelkta ties aptariamais įvykiais; *Terminų žodyną*, kuriame išsamiai paaiškinti svarbiausi pagrindiniame tekste vartojami terminai ir pateikti sąvokų apibrėžimai; *Pastabas*, kuris ne tik patikslina patį knygos tekstą, bet ir pateikia naudingų nuorodų.

Tikiuosi, kad *Visatos grožis* ne tik supažindins su pasaulio suvokimo istorija ir jos vingiais, suteiks žinių apie šiandienines aktualijas, bet ir paskatins giliau susimąstyti apie grožio sąvoką.

Knyga skirta plačiam skaitytojų ratui.

LMA tikrasis narys prof. Juozas Vidmantis Vaitkus

Penguin Books

VISATOS GROŽIS

Nobelio premija Frankui Wilczekui (Vilčekui) įteikta 2004 m. už darbą, kurį jis atliko būdamas doktorantas. Šis jo darbas taip pat įtrauktas į antologijas *The Best American Science Writing* ir *The Norton Book of Light Verse*. Kartą per mėnesį *The Wall Street Journal* išeina su Wilczeko vedama skiltimi *Wilczek's Universe* (*Wilczeko visata*). Jis yra Hermano Feshbacho (Fešbacho)vardo profesorius Masačusetso technologijos institute ir vadovauja Wilczeko kvantinės fizikos centrui Čangdžòu Kinijoje.

TURINYS

	Atmintinė skaitytojui	*13*
	Klausimas	*15*
PITAGORAS I	Mintis ir objektas	31
PITAGORAS II	Skaičius ir harmonija	43
PLATONAS I	Struktūra iš simetrijos – Platono kūnai	53
PLATONAS II	Išsilaisvinimas iš olos	73
NIUTONAS I	Metodas ir beprotybė	97
NIUTONAS II	Spalva	111
NIUTONAS III	Dinamikos grožis	123
MAKSVELAS I	Dievo estetika	143
MAKSVELAS II	Suvokimo durys	171
PRELIUDIJA Į SIMETRIJĄ		205
KVANTINIS GROŽIS I	Sferų muzika	209
SIMETRIJA I	Du Einšteino žingsniai	239

KVANTINIS GROŽIS II	Energingumas	251
SIMETRIJA II	Lokali spalva	265
KVANTINIS GROŽIS III	Grožis – gamtos esmė	271
SIMETRIJA III	Emi Nėter – laikas, energija ir nuovokumas	335
KVANTINIS GROŽIS IV	Tikime Grožį	351
GRAŽUS ATSAKYMAS?		381
	Padėkos	*391*
	Chronologija	*393*
	Terminai	*399*
	Pastabos	*471*
	Rekomenduojama literatūra	*485*
	Iliustracijų sąrašas	*489*
	Rodyklė	*493*

ATMINTINĖ SKAITYTOJUI

- Skyriuje *Chronologija* daugiausiai susitelkiama ties įvykiais, apie kuriuos kalbama arba užsimenama knygoje. Tai padės skaitytojui susidaryti tam tikrą vaizdą apie tų įvykių seką. Šis skyrius nėra išsamus istorinis pasakojimas, nes ir neturi toks būti.
- Skyriuje *Terminai* pateikti svarbiausių pagrindiniame tekste vartojamų terminų ir sąvokų apibrėžimai bei paaiškinimai. Kaip pamatysite patys, jo apimtis gerokai didesnė nei paprasto specialių terminų žodynėlio. Jame pateikiami alternatyvūs požiūriai į daugelį tekste aptariamų idėjų, o kai kurios jų išplėtotos visiškai kita kryptimi.
- Skyriaus *Pastabos* medžiaga mokslinėje knygoje ar straipsnyje galėtų būti pateikta išnašose. Šis skyrius ne tik patikslina patį knygos tekstą – jame yra papildomų techninių nuorodų tam tikrais klausimais. Šiame skyriuje rasite ir porą eilėraščių.
- Trumpas skyrius *Rekomenduojama literatūra* – tai ne šabloniškas mokslo populiarinamųjų knygelių ar vadovėlių sąrašas, o kruopščiai paruoštas rekomendacijų tolesniems tyrinėjimams rinkinys, atitinkantis šios knygos dvasią ir pabrėžiantis pirminių šaltinių svarbą.

Tikiuosi, kad jau pasimėgavote šios knygos viršelio apipavidalinimu ir frontispisu, duodančiais puikų toną mūsų meditacijai.

Yra ir *Atmintinė skaitytojui*, bet tą jūs ir taip žinote.

KLAUSIMAS

Ši knyga – tai ilga meditacija susitelkus į vienintelį klausimą:

Ar mūsų pasaulis įkūnija gražias idėjas?

Mūsų klausimas gali skambėti keistai. Idėjos – tai viena, o fizikiniai kūnai – visai kas kita. Ką reiškia „įkūnyti“ kalbant apie „idėją“?

Idėjų įkūnijimas – menininkų užduotis. Pradėdami nuo įsivaizduojamų sąvokų, menininkai sukuria fizinius objektus (arba tariamai fizinius kūrinius, kaip antai muzikines partitūras, kurios transformuojamos į garsą). Taigi, mūsų Grožio klausimą galima perfrazuoti taip:

Ar pasaulis yra meno kūrinys?

Taip suformuluotas, mūsų klausimas veda mus prie kitų klausimų. Jeigu pasaulį galima laikyti meno kūriniu, ar tai – vykęs meno kūrinys? Ar fizinis pasaulis, kurį laikysime meno kūriniu, yra gražus? Siekdami pažinti aplinkinį fizinį pasaulį, pasitelkiame mokslininkų darbus, tačiau kad iš esmės atsakytume į savo klausimus, turime pasitelkti dar ir mokslui prijaučiančių menininkų įžvalgas ir indėlį.

DVASINĖ KOSMOLOGIJA

Dvasinės kosmologijos kontekste mūsų klausimas žymiai natūralesnis. Jeigu pasaulį sukūrė aktyvus ir galingas Kūrėjas, visai įmanoma, kad Jį – arba Ją, arba Juos, arba Tai – kaip tik ir paskatino impulsas sukurti ką nors gražaus. Nors ši idėja ganėtinai natūrali, ji neabejotinai *nėra* tradicinė daugeliui religinių judėjimų. Kūrėjui buvo priskiriama daugybė stimulų, tačiau meninės ambicijos tarp jų veik neminimos.

Abraomiškos religijos laikosi visuotinės doktrinos, kad Kūrėjas ėmėsi įkūnyti tam tikrą gerumo ir dorybės derinį, o kartu ir savo didybės paminklą. Pagal animizmo ir politeizmo tradicijas pasaulyje egzistuoja įvairios būtybės ir dievai, kuriantys ir valdantys tam tikras fizinio pasaulio sritis pačiais įvairiausiais motyvais – nuo dosnumo iki geismo ar tiesiog nerūpestingo susižavėjimo.

Aukštesnio lygio teologija kartais skelbia, kad Kūrėjo paskatos tiek didingos, jog ribotas žmogaus protas tiesiog neturi jokios vilties jų suvokti. Mainais mums leidžiama pamatyti tam tikrus apsireiškimus, kuriais tiesiog turime tikėti nemėgindami jų suprasti. O gali būti ir taip, kad Dievas – tai meilė. Nė vienas iš šių prieštaringų tradicinių religinių požiūrių nenurodo jokių įtikinamų priežasčių, leidžiančių manyti, kad pasaulis įkūnija gražias idėjas; lygiai taip pat jie nesiūlo mums nė mėginimų atrasti tokias idėjas prielaidos. Grožis gali sudaryti tam tikrą jų pasaulėkūros istorijos dalį, tačiau tai veikiau šalutinis klausimas, o ne reikalo esmė.

Vis dėlto daugelį kūrybingų asmenybių įkvepia idėja, kad Kūrėjas, be kita ko, gali būti ir menininkas, kurio estetines paskatas esame pajėgūs ne tik išgyventi, bet ir suprasti – arba, jeigu išdrįstume iškelti tokią prielaidą, Kūrėjas *visų pirma* ir yra kuriantis menininkas. Tokios asmenybės pačiomis įvairiausiomis ir besikeičiančiomis formomis gvildeno mūsų Klausimą daugelį šimtmečių. Jo įkvėptos, jos sukūrė gilią filosofiją, didį mokslą, nepakartojamą literatūrą ir stulbinamą vaizduojamąjį meną. Kai kurie jų paliko mums kūrinių, kuriuose dera keletas čia išvardytų savybių ar netgi jos visos. Šie kūriniai – tai aukso gysla, siekianti mūsų civilizacijos ištakas.

Galilėjas Galilėjus fizinio pasaulio grožį įkurdino savo paties gilaus tikėjimo centre ir visiems jį rekomendavo:

> *Dievo didybė ir šlovė stebuklingai spindi visuose Jo darbuose, ir kaip tik ją perskaitome visų pirma atverstoje dangaus knygoje.*

…panašiai pasielgė ir Johanesas (Johannes) Kepleris, Izaokas Niutonas ir Džeimsas Klerkas Maksvelas. Atrasti fiziniame pasaulyje įkūnytą ir Dievo didybę atspindintį grožį buvo svarbiausias visų šių mokslininkų paieškų tikslas. Tai įkvėpė jų darbą ir kurstė jų smalsumą. Jų atradimai buvo atpildas už tikėjimą.

Negana to, kad mūsų Klausimą palaikančių argumentų galima atrasti dvasinėje kosmologijoje, jis gali būti įdomus ir pats savaime. Ir nors teigiamas atsakymas gali įkvėpti dieviškąją interpretaciją, pastaroji nėra būtina.

Sugrįšime prie šių minčių šios meditacijos pabaigoje – tuomet būsime kur kas geriau pasirengę jas įvertinti. O kol kas teprabyla pats pasaulis.

RIZIKINGI ŽYGIAI

Ne tik menas, bet ir idėja, kad pasaulis yra meno kūrinys, turi savo istoriją ir nuolat besivystančius standartus. Meno istorija pripratino mus prie idėjos, kad senieji stiliai netampa atgyvena: jiems priklausantys meno kūriniai nesiliauja žavėję ir sudaro svarbų tolesnės meno raidos foną. Nors ši idėja nėra taip plačiai paplitusi mokslo srityje, kur ją varžo tam tikri svarbūs apribojimai, istorinis požiūris į mūsų Klausimą turi daug privalumų. Jis leidžia mums – tiesą sakant, jis mus verčia – judėti nuo paprastų idėjų link vis sudėtingesnių. Tuo pat metu tyrinėdami, kaip didieji mąstytojai ieškojo tiesos ir dažnai pasukdavo klystkeliais, galime suprasti, kaip pradinė „keista“ idėja pažinimo procese virsta pernelyg „akivaizdžia“ ir patogia. Ir paskutinis, bet ne mažiau svarbus punktas: mes, žmonės, esame itin gerai prisitaikę apdoroti informaciją kaip tam tikrą istoriją arba pasakojimą, sieti idėjas su vardais ir veidais, mus ypač domina pasakojimai apie konfliktus ir jų sprendimus,

net jeigu tai tik idėjų konfliktai, per kuriuos nebuvo pralieta nė lašo kraujo. (Tiesą sakant, kartais neišvengta ir pastarojo...)

Dėl šių priežasčių visų pirma sugiedosime ditirambus herojams: Pitagorui, Platonui, Filipo Bruneleski, Izaokui Niutonui, Džeimsui Klerkui Maksvelui. (Vėliau į sceną įžengs ir svarbiausia veikėja – Emi Nėter (Emmy Noether.) Tai realių – ir labai įdomių! – žmonių vardai. Tačiau mums jie yra ne šiaip sau žmonės, o kartu ir legendos, ir simboliai. Aprašiau juos taip, kaip juos įsivaizduoju, teikdamas pirmenybę aiškumui ir paprastumui, o ne moksliniams niuansams. Čia biografija – tai priemonė, o ne tikslas. Kiekvienas herojus stumteli mūsų meditaciją per keletą žingsnių pirmyn:

- *Pitagoras* savo stačiojo trikampio teorema įrodė ryšį tarp skaičių ir dydžių bei formų. Kadangi Skaičius – gryniausias Proto vaisius, o Dydis – paprasčiausia Materijos savybė, šis atradimas išryškino paslėptą Proto ir Materijos vienovę.

  Be to, styginių instrumentų veikimo dėsniuose Pitagoras atrado paprastą ir nuostabų ryšį tarp skaičių ir muzikinės harmonijos. Šis atradimas užbaigia trejybę Protas – Materija – Grožis, kuriuos susieja Skaičius. Tiesiog svaigina! Visa tai paskatino Pitagorą spėti, „kad skaičius yra visų daiktų esmė“. Šie atradimai ir spėjimai mūsų Klausimui įkvepia gyvybės.

- *Platonas* mąstė didingai. Jis iškėlė geometrinę atomų ir visatos teoriją, paremtą penkiomis simetriškomis formomis, kurias vadiname Platono kūnais. Šiame drąsiame fizinės tikrovės modelyje Platonas labiau vertino grožį nei tikslumą. Pavieniai jo teorijos elementai buvo beviltiškai klaidingi. Ir vis dėlto ji padėjo išvysti tokią akinamai spindinčią galimo atsakymo į mūsų Klausimą viziją, kuri po daugelio amžių įkvėpė iškiliems darbams Euklidą, Keplerį ir daugelį kitų. Iš tikrųjų, mūsų šiuolaikinės, nuostabiai sėkmingos elementariųjų dalelių teorijos, užšifruotos Pagrindų teorijoje (žr. toliau), grindžiamos išvystytomis simetrijos idėjomis, kurios tikrai priverstų Platoną šypsotis. Ir kai mėginu atspėti, kas bus toliau, dažnai taikau Platono strategiją – siūlau matematinio grožio kupinus objektus laikyti Gamtos modeliais.

  Platonas buvo dar ir didis žodžio meistras. Jo Olos alegorija perteikia svarbius jausminius ir filosofinius mūsų, kaip tyrinėtojų, santykio su tikrove aspektus. Jos pagrindas – tikėjimas, kad kasdienis gyvenimas tėra tik mūsų tikrovės šešėlis, tačiau drąsiai mąstydami ir plėtodami gebėjimą jausti galime pasiekti jos esmę, kuri aiškesnė ir gražesnė nei šešėliai. Jis įsivaizdavo tarpininką – *demiurgą*, išvertus – Meistrą, paverčiantį tobulų, amžinų idėjų pasaulį jų netobula kopija – pasauliu, kuriame gyvename mes. Čia pasaulio kaip meno kūrinio samprata yra perdėm aiški.

- *Bruneleski* naujomis geometrijos idėjomis praturtino meno ir inžinerijos sritis. Jo *projekcinė geometrija*, susijusi su realia daiktų išvaizda, iškėlė naujas idėjas – apie reliatyvumą, invariantiškumą, simetriją, kurios ne tik gražios pačios savaime, bet ir atveria naujas galimybes.

- *Niutonas* perkėlė matematinį Gamtos suvokimą į visiškai naują siekių ir tikslumo lygmenį.

  Bendra tema persmelkia titanišką Niutono darbą šviesos, matematinių skaičiavimų, judėjimo ir mechanikos srityse. Tai metodas, kurį jis vadino Analize ir Sinteze. Analizės ir sintezės metodas apima dviejų etapų strategiją, kurią taikant pasiekiamas suvokimas. Analizės etape aptariamos pačios mažiausios mūsų tyrinėjamų objektų dalelės, metaforų kalba – jų „atomai“. Sėkmingos analizės atveju identifikuojame mažas daleles, pasižyminčias paprastomis savybėmis, kurias galime apibendrinti tiksliais dėsniais. Pavyzdžiui:

  - tyrinėjant šviesą atomai – tai grynųjų spektro spalvų spinduliai;
  - tyrinėjant skaičiavimus atomai – tai be galo maži dydžiai ir jų santykiai;
  - tyrinėjant judėjimą atomai – tai greitis ir pagreitis;
  - tyrinėjant mechaniką atomai – tai sąveikos.

(Šiuos dalykus išsamiai aptarsime kiek vėliau.) Sintezės etape taikydami loginius ir matematinius samprotavimus pereiname nuo pavienių atomų elgesio prie daugybę atomų turinčių sistemų apibūdinimo.

Taip apibendrintai aptartos, Niutono analizė ir sintezė neatrodo itin įspūdingai. Galų gale, jos glaudžiai susijusios su paplitusiais praktiniais būdais, pavyzdžiui, „kad išspręstum sudėtingą problemą, taikyk metodą *skaldyk ir valdyk*“, o tai kažin ar labai įspūdingas atradimas. Tačiau Niutonas kėlė tikslumo ir visapusiško suvokimo reikalavimą teigdamas:

> *Žymiai geriau padaryti mažai, tačiau tinkamai, o visa kita palikti tiems, kurie ateis po mūsų, nei aiškinti visus reiškinius spėliojant, nebūnant galutinai įsitikinus savo teisumu.*

Ir šiuose įspūdinguose pavyzdžiuose Niutonas pasiekė savo tikslus. Įtikinamai parodė, kad pati Gamta žengia analizės ir sintezės taku. „Atomams“ iš tiesų būdingas paprastumas, ir Gamta iš tiesų funkcionuoja, leisdama jiems daryti tai, kas jiems skirta.

Savo darbe apie judėjimą ir mechaniką Niutonas praturtino mūsų supratimą apie tai, kas yra fizikos dėsniai. Jo judėjimo ir gravitacijos dėsniai – tai *dinamikos* dėsniai. Kitaip tariant, tai kitimo dėsniai. Tokie dėsniai įkūnija kitokią grožio idėją nei statiškas tobulumas, kurį garbino Pitagoras ir (ypač) Platonas.

Dinamiškas grožis peržengia konkrečių objektų ir reiškinių ribas ir kviečia mus įsivaizduoti galimybių erdvę. Pavyzdžiui, tikrųjų planetų orbitų matmenys ir formos nėra paprastos. Jos nėra nei (sudėtinės) Aristotelio, Ptolemėjo ar Mikalojaus Koperniko sferos, nei beveik tikslios Keplerio elipsės, o veikiau kreivės, kurias reikia apskaičiuoti kiekybiškai kaip laiko funkcijas ir kurios kinta sudėtingais būdais, priklausomai nuo Saulės ir kitų planetų padėties ir masės. Visame tame esama didingo grožio ir paprastumo, tačiau tai tampa akivaizdu tik tada, kai suvokiama giluminė sandara. Pavienių objektų pasirodymas neišsemia viso dėsnių grožio.

- *Maksvelas* – pirmasis iš tikrųjų modernus fizikas. Jo darbas elektromagnetizmo srityje iškėlė ne tik naują realybės idėją, bet ir paskelbė apie naujo fizikos metodo atsiradimą. Naujos idėjos, kurią Maksvelas išrutuliojo iš Maiklo Faradėjaus įžvalgų, esmė – svarbiausios fizikinės tikrovės dalys yra ne taškinės *dalelės*, o veikiau erdvę užpildantys *laukai*. Naujas metodas – tai *įkvėptų prielaidų* metodas. 1864 m. Maksvelas sujungė žinomus elektros ir magnetizmo dėsnius į vieningą lygčių sistemą, tačiau suprato, kad ji nenuosekli. Kaip ir Platonas, kuris įspraudė penketą idealių kūnų į keturis elementus prijungdamas ir visatą, Maksvelas nepasidavė. Jis pamatė, kad pridėjus dar vieną dėmenį lygtims galima suteikti daugiau simetriškumo ir nuoseklumo matematiniu požiūriu. Gauta sistema, žinoma kaip Maksvelo lygtys, ne tik sujungė elektrą ir magnetizmą – jos derivatas buvo dar ir šviesa, bet ir išliko iki mūsų dienų kaip patikimas šių reiškinių pamatas.

  Kas gi įkvepia fizikams „genialiąsias prielaidas“? Logiškas nuoseklumas yra būtina, tačiau vargu ar pakankama sąlyga. Veikiausiai Maksvelą ir jo pasekėjus – arba visus šiuolaikinius fizikus – kaip pamatysime vėliau, prie tiesios priartino grožis ir simetrija.

  Savo darbe apie spalvų suvokimą Maksvelas taip pat atrado, kad Platono alegorinė Ola atspindi kažką realaus ir konkretaus: mūsų juslinės patirties menkumą mums pasiekiamos tikrovės atžvilgiu. Ir jo darbas, nušviečiantis suvokimo ribas, leidžia mums jas peržengti. Nes pati geriausia juslinių gebėjimų ugdymo priemonė – ieškantis protas.

KVANTINIS UŽBAIGTUMAS

Ryžtingas atsakymas „taip“ į mūsų Klausimą nuskambėjo tik XX a., kai buvo išplėtota kvantinė teorija.

Kvantinė revoliucija atvedė mus prie netikėto atradimo: galiausiai su-

žinojome, kas yra Medžiaga. Būtinos lygtys – tai dalis teorinės struktūros, kurią dažnai vadina Standartiniu modeliu. Šis pasiekimas vargu ar nusipelno tokio žiovulį sukeliančio pavadinimo, tad pratęsiu savo kampaniją, pradėtą knygoje *The Lightness of Being: Mass, Ether, and the Unification of Forces (Būties lengvumas)*, kad pakeisčiau jį kažkuo tinkamesniu ir įspūdingesniu:

Standartinis modelis → Pagrindų teorija

Šis pavadinimas labiau nei pateisinamas, ir štai kodėl:

1. „Modelis“ asocijuojasi su laikinu pakaitalu, laukiančiu, kol jį pakeis „tikras daiktas“. Tačiau Pagrindų teorija jau yra tikslus fizikinės tikrovės atvaizdavimas, į kurį turi atsižvelgti bet kuris būsimas, hipotetinis „tikras daiktas“.
2. „Standartinis“ asocijuojasi su „tradicinis“ ir yra aliuzija į kažkokią aukštesnę išmintį. Tačiau tokia aukštesnė išmintis neegzistuoja. Iš tikro manau (ir tą patvirtina kalnai įrodymų), kad Pagrindų teorija bus papildyta ir kad jos esmė išliks nepakitusi.

Pagrindų teorija įkūnija gražias idėjas. Atomų ir šviesos lygtys beveik visiškai sutampa su lygtimis, kurioms paklūsta muzikos instrumentai ir garsas. Saujelė elegantiškų schemų palaiko energijos kupiną Gamtos sandarą, pradedant paprasčiausiais medžiaginio pasaulio elementais.

Keturių fundamentaliųjų Gamtos sąveikų – gravitacijos, elektromagnetizmo, stipriosios ir silpnosios – Pagrindų teorija iš esmės įkūnija bendrą principą: *lokaliąją simetriją*. Toliau skaitydami šią knygą įsitikinsite, kad šis principas tuo pat metu įgyvendina Pitagoro ir Platono harmonijos bei konceptualiojo grynumo ilgesį ir netgi peržengia jų ribas. Kaip *pamatysite*, šis principas remiasi menine Bruneleski geometrija, nuostabiomis Niutono ir Maksvelo gamtoje egzistuojančių spalvų įžvalgomis ir net jas pranoksta.

Pagrindų teorija užbaigia medžiagos analizę praktiniais sumetimais. Ja remdamiesi galime *padaryti išvadą* apie tai, kokių rūšių atomų branduoliai, atomai, molekulės – ir žvaigždės – egzistuoja. Taip pat galime patikimai valdyti didelių šių elementų santalkų elgesį kurdami tranzistorius, lazerius arba

didžiulius hadronų greitintuvus. Pagrindų teorijos lygtys buvo patikrintos žymiai didesniu tikslumu ir žymiai sudėtingesnėmis sąlygomis, nei būtina jų taikymui chemijos, biologijos, inžinerijos ar astrofizikos srityse. Nors, žinoma, egzistuoja daugybė tokių dalykų, kurių nesuprantame (ir jau netrukus keletą tokių svarbių dalykų paminėsiu), tikrai suprantame Medžiagą, iš kurios esame sudaryti ir su kuria susiduriame kasdieniame gyvenime (net jeigu esame chemikai, inžinieriai ar astrofizikai).

Nepaisant daugybės privalumų, Pagrindų teorija nėra tobula. Iš tikrųjų, kaip tik dėl to, kad šis tikrovės aprašymas toks tikslus, ieškodami atsakymo į savo Klausimą, turime išlaikyti pačius aukščiausius estetikos standartus. Panagrinėję Pagrindų teoriją išsamiau, įžvelgsime tam tikrus trūkumus. Jos lygtys yra vienpusės ir apima keletą menkai tarpusavyje susijusių dalių. Be to, Pagrindų teorija nepaaiškina vadinamųjų juodosios medžiagos ir juodosios energijos. Nors tyrinėjant mūsų artimiausią kaimynystę šių sunkiai apčiuopiamų medžiagos formų galima nepaisyti, jos užima tvirtas pozicijas tarpžvaigždinėje ir tarpgalaktinėje erdvėse, todėl vyrauja bendroje visatos masėje. Dėl šios ir daugelio kitų priežasčių negalime jaustis patenkinti.

Pasimėgavę grožiu pasaulio širdyje, trokštame daugiau. Manau, kad šiose paieškose nėra geresnio vadovo už patį grožį. Pateiksiu jums tam tikrų užuominų, kurios veda prie konkrečių galimybių pagerinti mūsų Gamtos apibūdinimą. Trokštu įkvėptų prielaidų, tad mano įkvėpimo šaltinis yra grožis. Kaip pamatysite vėliau, jis man puikiai pasitarnavo.

GROŽIO ATMAINOS

Menininkų stiliai skirtingi. Nesitikime rasti mirguliuojančių Renuaro spalvų mistiškuose Rembranto šešėliuose arba Rafaelio elegancijos bet kuriame iš tųdviejų darbų. Mocarto kūriniai priklauso visiškai kitokiam pasauliui nei *The Beatles* muzika, o Lui Armstrongo kompozicijos nepanašios nė į vieną iš jų. Taip pat ir fiziniame pasaulyje aptinkamas grožis – ypatinga grožio rūšis. Gamta, kaip ir menininkai, turi savitą stilių.

Kad tinkamai įvertintume Gamtos meną, turime skverbtis į jos stilių supratingai. Galilėjus, niekada nestokojęs iškalbos, nusakė tai tokiais žodžiais:

Filosofija [Gamta] aprašyta toje didžiojoje knygoje, kuri visada prieš mūsų akis – turiu galvoje visatą, tačiau negalėsime jos suprasti, pirma neišmokę jos kalbos ir nesupratę simbolių, kuriais ji parašyta. Ši knyga parašyta matematikos kalba, tad jos simboliai – trikampiai, apskritimai ir kitos geometrinės figūros, be kurių pagalbos neįmanoma suprasti nė vieno joje esančio žodžio; nesuprasdamas jos, žmogus tik veltui klaidžios tamsiu labirintu.

Šiandien įsiskverbėme žymiai giliau į šią didžią knygą ir atradome, kad jos vėlesni skyriai parašyti kur kas vaizdingesne ir neįprastesne klaba, nei Euklido geometrija, kurią žinojo Galilėjus. Kad žmogus ja išmoktų kalbėti laisvai, gali prireikti viso gyvenimo (arba, mažų mažiausiai, kelerių metų magistrantūroje). Tačiau lygiai taip pat, kaip meno istorijos magistro laipsnis nėra būtina domėjimosi pasauliniais meno šedevrais (ši patirtis gali būti išties labai įdomi) sąlyga, taip ir aš viliuosi šia knyga padėti jums įsitraukti į Gamtos meną ir suprasti jos stilių. Už pastangas jums bus atlyginta, nes, anot Einšteino:

Gamta subtili, bet ne pikta.

Dvi įkyrios mintys – gamtos stiliaus skiriamieji ženklai:

- Simetrija – harmonijos, pusiausvyros ir proporcingumo meilė.
- Ekonomija – pasitenkinimas daugybe reiškinių, sukurtų labai ribotomis priemonėmis.

Stebėkite, kaip šie motyvai atsikartoja, auga ir vystosi per visą mūsų pasakojimą suteikdami jam vientisumo. Šių idėjų vertinimas, padiktuotas nuojautos ir svaičiojimų, galiausiai leido skurti tikslius, galingus ir vaisingus metodus.

Dabar būtina pastaba apie sutapimų atsitiktinumą. Daugeliui Gamtos stiliaus grožio atmainų, turint galvoje jų raišką jos fundamentalioje operacinėje sistemoje, yra atstovaujama nepakankamai. Mūsų žavėjimasis žmogaus kūnu ir domėjimasis išraiškingais portretais, taipogi meilė, kurią puoselėjame gyvūnams ir gražiam gamtovaizdžiui – ir daugybei kitų meniškų grožio šaltinių – nėra „įdarbinti“. Tačiau, ačiū Dievui, mokslas – dar ne viskas.

IDĖJOS IR TIKROVĖ; PROTAS IR MEDŽIAGA

Mūsų Klausimą galima suprasti dvejopai. Akivaizdu, kad tai klausimas apie pasaulį. Tai kryptis, kurią iki šiol labiausiai pabrėžėme. Tačiau ne mažiau žavi ir antroji kryptis. Supratę, kad *mūsų* grožio jausmas realizuotas fiziniame pasaulyje, sužinome kažką nauja ne tik apie pasaulį, bet ir apie save.

Žmogaus gebėjimas suvokti fundamentaliuosius Gamtos dėsnius – gan naujas įvykis ne tik evoliucijos, bet ir istorinės raidos požiūriu. Be to, šie dėsniai atsiskleidžia mums tik po gerai apgalvotų sudėtingų eksperimentų: naudojantis įmantriais mikroskopais ir teleskopais, skaldant atomus ir branduolius, apdorojant ilgas matematinių samprotavimų grandines. Tam reikalingos tam tikros pastangos. Mūsų grožio jausmas tiesiogiai niekaip nesusijęs su svarbiausiais gamtos darbais. Ir vis dėlto galime pagrįstai teigti, kad grožio pajautą sužadina tai, ką šiuose darbuose atrandame.

Kuo galima paaiškinti šią nuostabią Proto ir Medžiagos harmoniją? Nepaaiškinus šio stebuklo, mūsų Klausimas liks be atsako. Šią temą savo meditacijoje paliesime dar ne kartą. O kol kas dvejetas trumpų teorinių samprotavimų:

1. Mums, žmonėms, svarbiausia iš visų juslių – rega. Žinoma, mūsų regą ir mūsų giluminius mąstymo būdus daugybe ne tokių akivaizdžių būdų lemia mūsų sąveika su šviesa. Kiekvienas iš mūsų, pavyzdžiui, yra gimęs tam, kad tobulai, nors ir nesąmoningai, praktikuotų projekcinę geometriją. Šis gebėjimas yra užprogramuotoji

mūsų smegenų funkcija. Kaip tik jis ir leidžia mums interpretuoti dvimatį vaizdą, kurį kaip objektų pasaulį trimatėje erdvėje priima mūsų tinklainė.

Mūsų smegenyse veikiantys specializuoti moduliai leidžia mums greitai ir be sąmoningų pastangų konstruoti dinamišką pasaulio vaizdą, pagrįstą trimačiais objektais, išdėstytais trimatėje erdvėje. Mes tai darome pradėdami nuo dvimačių vaizdų, kurie patenka į mūsų akių tinklainę (šie vaizdai – tai šviesos spinduliai, kuriuos skleidžia arba atspindi išoriniai objektai ir kurie sklinda iki mūsų tiesėmis). Iš gautų vaizdų atkurti juos sąlygojusius objektus – sudėtinga atvirkštinės projekcinės geometrijos užduotis. Iš tikrųjų, tvirtinama, kad ši užduotis neišsprendžiama, nes projekcijose nėra pakankamai informacijos, reikalingos atlikti vienareikšmę rekonstrukciją. Esminė problema ta, jog vien tam, kad pradėtume spręsti šią užduoti, turime atskirti objektus nuo jų fono (arba nuo jų priekinio plano). Kad atliktume šią užduotį, naudojamės visomis įmanomomis gudrybėmis, pagrįstomis tipiškomis objektų savybėmis, su kuriomis mums tenka susidurti. Tai jų spalvų ar tekstūrų kontrastas ir jų aiškiai apibrėžtos ribos. Tačiau net ir sėkmingai įveikus šį etapą, mums lieka išspręsti sudėtingą geometrinę užduotį naudojantis Gamtos mums maloniai parūpintu puikiu specializuotu procesoriumi savo regos žievėje.

Dar viena svarbi mūsų regos savybė yra ta, kad šviesa pasiekia mus iš labai toli, atverdama mums langą į astronomiją. Regimas akivaizdus reguliarus žvaigždžių judėjimas ir ne toks reguliarus planetų judėjimas tapo mums ankstyva užuomina, kad visata paklūsta tam tikriems dėsniams, ir ganėtinai anksti suteikė mums įkvėpimą ir pagrindą tyrinėti Gamtą pasitelkus matematinius skaičiavimus.

Kaip ir bet kuriame gerame vadovėlyje, Gamtoje yra įvairaus sudėtingumo lygio užduočių.

Iš pačių pažangiausių, šiuolaikinių fizikos skyrių sužinome, kad pati šviesa – tai tam tikra medžiagos forma, taip pat ir tai, kad pati medžiaga, pažvelgus į ją atidžiau, iš esmės nepaprastai panaši į šviesą. Taigi, dar kartą: mūsų susidomėjimas šviesa, giliai įsišaknijusią į mūsų esmę, ir su ja sąveikaujant įgyta patirtis, atrodo, lemia mums sėkmę.

Padarams, kurie, kaip ir dauguma žinduolių, suvokia pasaulį visų pirma uosle, būtų žymiai sunkiau prisikasti prie mums pažįstamos fizikos net ir tada, jeigu jie turėtų pakankamai aukštą intelektą kitose srityse. Pavyzdžiui, galime įsivaizduoti šunis evoliucionuojant į labai protingas socialias būtybes su išvystyta kalba, gyvenančias įdomų, kupiną džiaugsmo gyvenimą, tačiau stokojančias tam tikros rūšies smalsumo ir pasaulėjautos, grindžiamų regimąja patirtimi ir vedančių prie mums būdingo gilaus fizikinio pasaulio suvokimo. Jų pasaulis būtų kupinas reakcijų ir skilimų – jie turėtų puikius chemijos bandymams skirtus rinkinius, mėgautųsi įmantria virtuve, afrodiziakais ir, kaip Prustas (Proust), primirštais prisiminimais. Projekcinė geometrija ir astronomija veikiausia jų pernelyg nejaudintų. Mes suprantame, kad uoslė – tai cheminis pojūtis, ir imame suvokti jos pagrindą kaip molekulinių įvykių visumą. Tačiau „atvirkštinė“ problema – suprasti pagal kvapą, kokios molekulės jį sukėlė ir kokie dėsniai joms būdingi, ir galų gale pereiti prie tokios fizikos, kokią pažįstame mes, man regis, beviltiškai sudėtinga.

Kita vertus, paukščiams rega – taip pat pagrindinė juslė, kaip ir mums. Be to, jeigu jiems rūpėtų suprasti fiziką, jų gyvensena suteiktų jiems papildomo pranašumo prieš žmones. Paukščiams skrydžio laisvė leidžia patirti esminį trimatės erdvės simetriškumą, kurio negalime patirti mes, žmonės. Savo kasdieniame gyvenime jie taip pat patiria, kaip veikia pagrindiniai judėjimo dėsniai (ypač inercijos dėsnis), nes daugiausiai laiko praleidžia aplinkoje, kurioje beveik nėra trinties. Galima teigti, kad paukščiai gimsta turėdami intuityvų klasikinės mechanikos ir Galilėjaus atrasto reliatyvumo principo, kaip ir geometrijos, suvokimą. Jeigu atsirastų paukščių rūšis su gerai išvystytu abstrakčiu mąstymu, kitaip tariant, tokie, kurių smegenys nebebūtų „paukštiškos“, jie greitai perprastų fizikos mokslą. Kita vertus, tam, kad įgytų gilesnį suvokimą, žmonės turėjo atjunkti nuo trinties slegiamos Aristotelio mechanikos, kuria vadovavosi kasdieniame gyvenime. Istorijos požiūriu tam prireikė

gana didelių pastangų!

Delfinai, gyvenantys vandeninėje terpėje, ir šikšnosparniai su savo echolokacija teikia mums peno kitoms variacijoms šia tema. Tačiau čia į jas nesigilinsime.

Šie samprotavimai iliustruoja esminį filosofinį argumentą – pasaulis nepateikia unikalios savęs paties interpretacijos. Pasaulis siūlo daugybę galimybių skirtingoms sensorinėms visatoms, kurios palaiko labai skirtingas pasaulio prasmės interpretacijas. Šiuo požiūriu mūsų vadinamoji visata daugeliu atžvilgių panaši į multivisatą.

2. Sėkmingas suvokimas apima sudėtingus aiškinimus, nes informacija, kurią gauname apie pasaulį, yra kartu ir labai šališka, ir labai „užteršta“ šalutiniais signalais. Nepaisant visų įgimtų gebėjimų, mes taip pat turime mokytis matyti, sąveikaudami su pasauliu, formuodami lūkesčius ir lygindami savo pranašystes su tikrove. Formuluodami lūkesčius, kurie ilgainiui pasitvirtina, patiriame malonumą ir pasitenkinimą. Šie atlygio mechanizmai skatina sėkmingą mokymąsi. Jie taip pat sužadina ir mūsų grožio pajautą – tiesą sakant, jie iš esmės ir *yra* ši pajauta.

   Susumuodami visus šiuos stebėjimus, randame paaiškinimą, kodėl įdomūs fizikos reiškiniai (reiškiniai, iš kurių galime sužinoti kažką nauja!) mums atrodo gražūs. Svarbus to padarinys yra tas, kad ypač vertiname patirtį, kuri mus nustebina, tačiau toji nuostaba neturi būti per stipri. Sustabarėjęs, paviršutiniškas pažinimas nereikalauja mūsų pastangų, todėl negali būti atlygintas taip, kaip aktyvus mokymasis. Kita vertus, modeliai, kurių reikšmės iš viso negalime suprasti, taip pat nesuteiks mums naudingos patirties – tai tik triukšmas.

   Ir čia mums taip pat pasisekė, nes Gamta savo esminiame darbe taiko priemonių simetriją ir ekonomiją. Nes šie principai, kaip ir mūsų intuityvus šviesos suvokimas, skatina sėkmingą prognozavimą ir mokymąsi. Pagal simetriško objekto dalies išvaizdą galime nuspėti (sėkmingai!) likusios objekto dalies išvaizdą; pagal gamtos objektų pavienių dalių elgseną galime nuspėti (kartais sėkmingai!) visumos elgseną. Taigi, priemonių simetrija ir ekonomija – kaip tik tie dalykai, kuriuos esame linkę suvokti kaip grožį.

NAUJOS IDĖJOS IR INTERPRETACIJOS

Kartu su naujais kai kurių labai senų ir kiek naujesnių idėjų vertinimais rasite šioje knygoje ir visiškai naujų idėjų. Čia norėčiau paminėti keletą iš pačių svarbiausių.

Pagrindų teorijos kaip geometrijos pristatymas ir samprotavimai apie kitus žingsnius už jos ribų – tai mano darbų fundamentaliosios fizikos srityje adaptacijos. Žinoma, šie darbai pagrįsti daugybės kitų žmonių įdirbiu. Naujiena, kiek man žinoma, yra spalvų laukų kaip papildomų matmenų pritaikymas ir tai, kad pasinaudojau tomis galimybėmis, kurias šie matmenys atveria iliustruojant lokaliąją simetriją.

Mano teorija, kad svarbiais atvejais paskatos mokytis pamatas yra mūsų grožio jausmas (kartu jis yra ir mokymosi evoliucinė priežastis), taip pat šios teorijos pritaikymas muzikos harmonijai, teikiančiai racionalų Pitagoro muzikos srities atradimų paaiškinimą – tai ištisas žvaigždynas idėjų, kuriomis jau seniai mėgaujuosi pats ir kurias pirmą kartą pristatau viešai šioje knygoje. *Caveat emptor!**

Mano samprotavimai apie spalvų suvokimo plėtrą pagrįsti šiuo metu vykdomais praktiniais tyrimais, kurie, viliuosi, leis sukurti komercinius produktus. Šiems produktams bus suteikti patentai.

Norėčiau manyti, kad Nilsas Boras (Niels Bohr) mielai palaikytų mano plačią papildomumo principo interpretaciją ir netgi pripažintų savo autorystę – tačiau nesu tuo visiškai tikras.

* *Pirkėjau, būk budrus!* (lot. k.). *Vert. pastaba.*

PITAGORAS I

MINTIS IR OBJEKTAS

ŠEŠĖLINIS PITAGORAS

Žmogus, vardu Pitagoras, gyveno apie 570 – 495 m. prieš Kristų, tačiau apie jį žinoma labai mažai. Arba, veikiau, apie jį „žinoma“ labai daug, tačiau diduma šių faktų veikiausiai klaidingi, nes dokumentiniai jo gyvenimo įrodymai kupini prieštaravimų. Juose dera taurumas, absurdiškumas, neįtikėtinumas ir netgi antgamtiškumas.

Pasakojama, kad Pitagoras buvo Apolono sūnus, turėjo auksinį šlaunikaulį ir švytėjo. Galimas daiktas, jog jis buvo vegetarizmo šalininkas, tačiau galėjo būti ir atvirkščiai. Vienas keisčiausių jo teiginių yra susijęs su draudimu valgyti pupas, nes „pupos turi sielą“. Tiesa, keletas ankstyvųjų šaltinių aiškiai paneigia, kad Pitagoras kada nors būtų panašiai tvirtinęs ar panašiais dalykais tikėjęs. Kiek patikimesni šaltiniai byloja, kad Pitagoras tikėjęs reinkarnacija ir šį tikėjimą esą skelbdavęs kitiems. Egzistuoja kelios istorijos, patvirtinančios šį faktą, nors, žinoma, kiekviena jų kelia tam tikrų

abejonių. Pasak Aulo Gelijaus, Pitagoras prisiminė ketvertą savo ankstesnių gyvenimų, taip pat ir tą, kuriame jis buvo nuostabaus grožio kurtizanė, vardu Alko. Ksenofanas teigė, kad kartą, išgirdęs cypiant ir inkščiant mušamą šunį, Pitagoras puolė jo ginti, nes esą atpažino mirusio draugo balsą. Taip pat pasakojama, kad Pitagoras, kaip ir daug šimtmečių vėliau gyvenęs šv. Pranciškus, garbindavęs gyvūnus.

Stanford Encyclopedia of Philosophy (Stanfordo filosofijos enciklopedija) – tarp kitko, tai itin vertingas žiniatinklio išteklius – įvertina šiuos faktus taip:

Populiarus šiuolaikinis Pitagoro įvaizdis – genialus menininkas ir mokslininkas. Vis dėlto iš senovės mus pasiekę faktai byloja, kad nors Pitagoras buvo pakankamai garsus savo laikais ir netgi prabėgus 150 metų po mirties, Platono ir Aristotelio laikais, jo šlovė nebuvo susijusi nei su matematika, nei apskritai su mokslu. Pitagoras buvo žinomas kaip:

1) *žinovas to, kas nutinka sielai po mirties, manęs, kad siela nemirtinga ir patiria daugybę reinkarnacijų;*
2) *religinių apeigų žinovas;*
3) *stebukladarys, turėjęs auksinį šlaunikaulį ir galėdavęs būti dviejose vietose vienu metu;*
4) *asketiškos gyvensenos, apėmusios griežtus mitybos apribojimus, religines apeigas ir rūsčią savidrausmę, pagrindėjas.*

Keletas faktų iš tikrųjų atrodo pakankamai aiškūs. Tikrasis Pitagoras gimė graikų saloje Samose, daug keliavo ir tapo nedidelio religinio judėjimo įkvėpėju ir įkūrėju. Jo kultas trumpai klestėjo Krotone, pietinėje Italijoje, kelios jo atšakos radosi ir kitose vietovėse, kol galiausiai buvo visur uždraustos. Pitagorininkai organizavo slaptas draugijas, aplink kurias sukosi adeptų gyvenimas. Šios bendruomenės, kurioms priklausė tiek vyrai, tiek moterys, prisidėjo prie tam tikros rūšies intelektinio misticizmo, kuris pavergė daugelį amžininkų, nors atrodė ir keistas, ir bauginantis. Jų pasaulėžiūra sukosi aplink pamaldų žavėjimąsi skaičiais ir muzikos harmonija, kuriuos jie laikė giluminės realybės struktūros atspindžiu. Kaip pamatysime vėliau, tai turėjo tam tikrų sąsajų su tikrove.

TIKRASIS PITAGORAS

Štai dar viena citata iš *Stanfordo enciklopedijos*:

Pitagoro portretas, iškylantis iš šių faktų, būdingas ne matematikui, siūlančiam tikslius įrodymus, ir ne mokslininkui, kuris eksperimentuoja siekdamas atskleisti gamtinio pasaulio prigimtį, o veikiau žmogui, kuris teikia ypatingą svarbą ir priskiria ypatingą vaidmenį jau tada gerai žinomiems matematiniams santykiams.

Bertranas Raselas buvo lakoniškesnis:

Tai Einšteino ir Merės Beiker Edi (Mary Baker Edy) samplaika.*

Mokslininkams, kuriems svarbi tikroji Pitagoro biografija, pati didžiausia problema – faktas, kad vėliau gyvenę Pitagoro sekėjai priskirdavo jam savo idėjas ir atradimus. Akivaizdu, jog tokiu būdu jie stengėsi suteikti savo idėjoms daugiau svorio ir pagerinti Pitagoro reputaciją, kad sustiprintų savo bendruomenę – tą, kurią jis įsteigė. Tokiu būdu nuostabūs matematikos, fizikos ir muzikos atradimai, taip pat įkvepiantis misticizmas, vaisingumo filosofija ir nepriekaištinga dora – viskas buvo vaizduojama kaip pavienės dieviškos figūros palikimas. Ši baimingą pagarbą kelianti figūra ir tapo mums *tikruoju* Pitagoru.

Negalima tvirtinti, kad mums visiškai nepriimtina priskirti šešėlinio (istorinio) Pitagoro nuopelnus tikrajam Pitagorui, nes pastarojo didieji laimėjimai matematikos ir fizikos srityse iškilo iš gyvensenos, kuriai tariamasis Pitagoras įkvėpė savo sekėjus, ir iš bendruomenės, kurią jis įkūrė.

(Linkusieji taip mąstyti gali nubrėžti paraleles su daugelio kitų žymių religinių veikėjų gyvenimu bei veikla...)

* Mary Baker Eddy (1821 – 1910). JAV rašytoja, religinės sektos *Krikščioniškas mokslas* įkūrėja. *Vert. pastaba.*

Rafaelio dėka žinome, kaip galėjo atrodyti tikrasis Pitagoras. Iliustracijoje B jis pavaizduotas gerbėjų apsuptyje, kažką rašantis didžiulėje knygoje.

VISI DAIKTAI YRA SKAIČIAI

Labai sunku suprasti, ką Pitagoras rašo, tačiau man patinka manyti, jog tai viena iš svarbiausių jo pasaulėžiūros versijų:

Visi daiktai yra skaičiai.

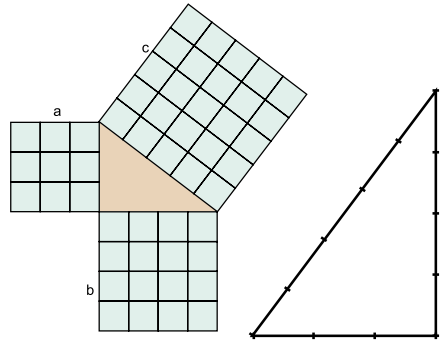
Nuo Pitagoro mus skiria milžiniška laiko ir erdvės praraja, todėl labai sunku suprasti, ką iš tiesų šia fraze jis norėjo pasakyti. Taigi, čia turėsime pasitelkti vaizduotę.

PITAGORO TEOREMA

Pradėkime nuo to, kad Pitagorui neišdildomą įspūdį paliko teorema, galiausiai pavadinta jo vardu. Įspūdis buvo toks milžiniškas, jog po šio atradimo jis pažeidė vegetarizmo principus ir užsisakė hekatombą – ritualinį 100 jaučių aukojimą, po kurio įvyko puota. Visa tai – dėkingumo mūzoms išraiška.

Dėl ko kilo šis triukšmas?

Pitagoro teorema – tai teiginys apie stačiuosius trikampius (taip vadinami trikampiai turi 90°, arba, kitaip tariant, statųjį kampą). Ši teorema teigia, kad kvadrato, kurio kraštinė lygi stačiojo trikampio įžambinei, plotas lygus kvadratų, kurių kraštinės lygios to trikampio statiniams, plotų sumai. Klasikinis pavyzdys – stačiasis trikampis su kraštinėmis 3 – 4 – 5, pavaizduotas 1 pav.

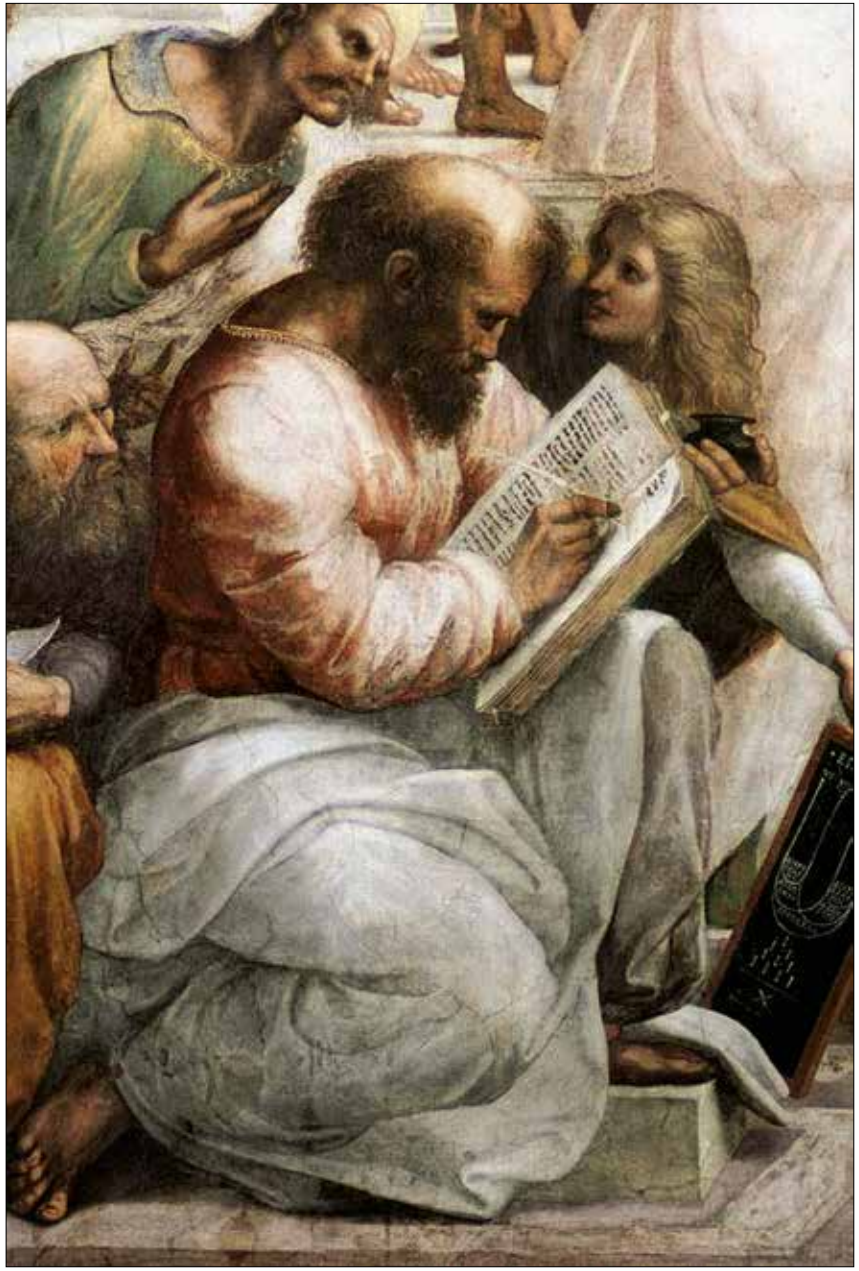


1 PAV. PATS PAPRASČIAUSIAS PITAGORO TEOREMOS ATVEJIS: STAČIASIS TRIKAMPIS SU KRAŠTINĖMIS 3 – 4 – 5.

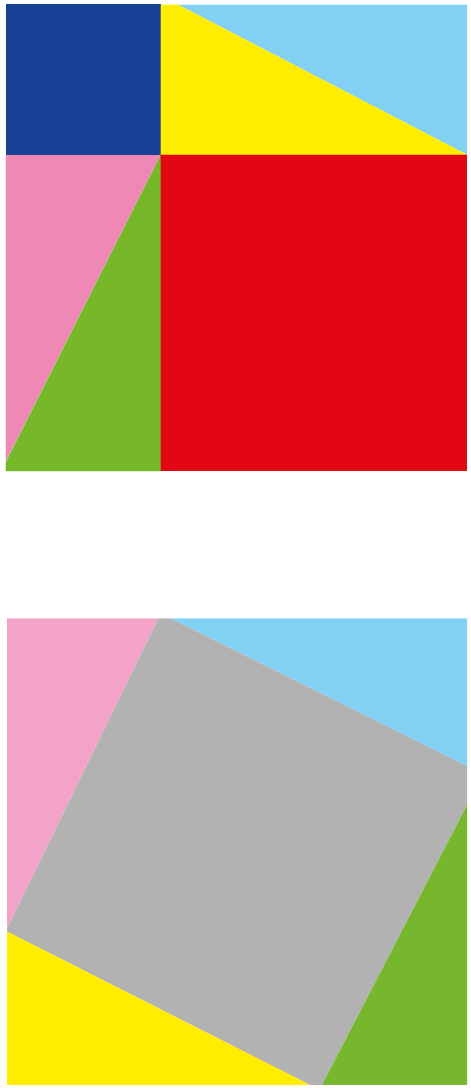
Abiejų mažesnių kvadratų plotas sudaro $3^2 = 9$ ir $4^2 = 16$. Tuo įsitikinsime, Pitagoro dvasia suskaičiavę mažus kvadratėlius, į kuriuos padalytos figūros. Didžiojo kvadrato plotas lygus $5^2 = 25$. Ir galime patikrinti: $9 + 16 = 25$.

Šiandien Pitagoro teorema žinoma veik kiekvienam, bent jau kaip miglotas prisiminimas iš mokykloje dėstyto geometrijos kurso. Tačiau įsiklausę – taip sakant, Pitagoro ausimis – į jos skelbiamą žinią pajusite, kad joje slypi kažkas nepaprasta. Ši teorema skelbia, kad objektų *geometrija* įkūnija slaptus *skaitmeninius* santykius. Kitaip tariant, ji skelbia, kad skaičiais galima apibūdinti gal ir ne viską, tačiau bent jau daugelį labai svarbių fizikinės tikrovės dalykų, būtent – ją sudarančių objektų matmenis ir formas.

Vėliau šioje meditacijoje aptarsime žymiai pažangesnes ir sudėtingesnes idėjas, tad norint perduoti jų reikšmę, man teks griebtis metaforų ir analogijų. Tas ypatingas džiaugsmas, kuris apima mokslininką, kai šis mąsto aiškiomis matematinėmis kategorijomis, o tiksliai apibrėžtos sąvokos tobulai dera viena prie kitos, prarandamas verčiant. Tačiau dabar turime puikią progą patirti šį ypatingą džiaugsmą. Pitagoro teorema žavi dar ir tuo, kad ją galima įrodyti pasirengus minimaliai. Patys geriausi jos įrodymai yra neužmirštami, įsimenami visam likusiam gyvenimui. Jie įkvėpė Oldosą Haksli (Aldous Huley) ir Albertą Einšteiną – jau nekalbant apie patį Pitagorą! – tikiuosi, jie įkvėps ir jus.



ILIUSTRACIJA B. PITAGORAS DIRBA. RAFAELIO FRESKOS *ATĖNŲ MOKYKLA* FRAGMENTAS.



ILIUSTRACIJA C. „TAIP PAPRASTA!“ PITAGORO TEOREMA IŠ PIRMO ŽVILGSNIO.

GVIDO ĮRODYMAS

Taip paprasta!

Kaip tik šiuos žodžius ištarė Gvidas, Oldoso Haksli apsakymo *Young Archimedes (Jaunasis Archimedas)* herojus, apibūdindamas būdą, kurį pasirinko norėdamas įrodyti Pitagoro teoremą. Gvido įrodymas pagrįstas formomis, kurios pavaizduotos spalvotoje iliustracijoje C.

GVIDO ŽAISLIUKAS

Pamėginkime išsiaiškinti, kas Gvidui tapo akivaizdu iš pirmo žvilgsnio.

Abu didieji kvadratai, padalyti į atskiras dalis, turi po keturis spalvotus trikampius, ir šie abiejuose didžiuosiuose kvadratuose vienodi. Visi spalvoti trikampiai yra statieji ir visi jie vienodo dydžio. Tarkime, kad trumpiausios kraštinės ilgis a, kitos trumpiausios kraštinės ilgis b, o pačios ilgiausios kraštinės (įžambinės) – c. Šiuo atveju lengva pastebėti, kad abiejų didelių kvadratų kraštinių ilgis yra $a + b$, o svarbiausia – kad abu šie kvadratai užima vienodą plotą. Tokiu būdu nepatekusios į trikampius didžiųjų kvadratų dalys taip pat turi užimti vienodą plotą.

Tačiau iš ko susideda šios vienodos sritys? Pirmajame dideliame kvadrate (kairėje) turime mėlyną kvadratą su kraštine a ir raudoną kvadratą su kraštine b. Jų plotas a^2 ir b^2, o jų bendras plotas yra $a^2 + b^2$. Antrajame dideliame kvadrate (dešinėje) yra pilkas kvadratas su kraštine c. Jo plotas c^2. Prisiminę, kas pasakyta ankstesnėje pastraipoje, galime padaryti išvadą, kad

$$a^2 + b^2 = c^2.$$

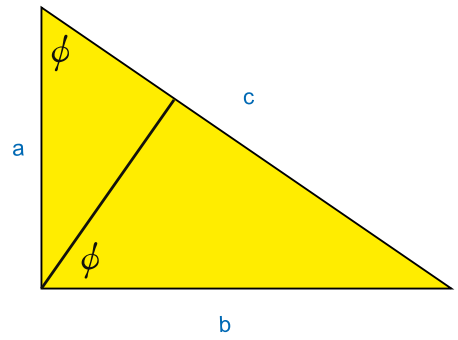
O tai ir yra Pitagoro teorema!

EINŠTEINO ĮRODYMAS (?)

Einšteinas savo *Autobiographical Notes (Autobiografiniuose užrašuose)* prisimena:

> *Pamenu, dėdė papasakojo man apie Pitagoro teoremą dar prieš šventajai geometrijos knygelei patenkant man į rankas. Po daugybės pastangų man pavyko „įrodyti“ šią teoremą trikampių panašumo pagrindu; tokiu būdu man tapo „akivaizdu“, kad stačiojo trikampio kraštinių santykį turi nulemti vienas iš smailiųjų kampų...*

Šiame įraše trūksta kai kurių detalių, leidžiančių patikimai atkurti Einšteino įrodymą, tačiau toliau, 2 pav., pateikiama mano pati geriausia šio įrodymo prielaida. Šią prielaidą galima laikyti pakankamai svaria, nes ji – pats paprasčiausias ir gražiausias Pitagoro teoremos įrodymas. Iš esmės, šis įrodymas puikiai atskleidžia, kodėl į šią teoremą įtraukti būtent kraštinių kvadratai.



2 PAV. TIKĖTINA EINŠTEINO ĮRODYMO REKONSTRUKCIJA IŠ *AUTOBIOGRAFINIŲ UŽRAŠŲ*.

NUPOLIRUOTAS BRANGAKMENIS

Pradėsime nuo pastebėjimo, kad statieji trikampiai, turintys bendrą kampą φ, panašūs vienas į kitą tiek, kad galima pereiti nuo vieno prie kito keičiant (didinant ir mažinant) jų bendrą mastelį. Be to, jeigu pakeisime trikampio kraštinės ilgį, padauginę jį iš tam tikro koeficiento, tuomet jo plotas pasikeis tiek kartų, koks bus šis koeficientas, pakeltas kvadratu. Dabar panagrinėkime trejetą stačiųjų trikampių, kurie parodyti 2 pav.: visą figūrą ir du ją sudarančius mažesnius trikampius. Kiekvienas šių trikampių turi kampą φ, todėl jie panašūs. Atitinkamai, jų plotai yra proporcingi a^2, b^2, c^2, pradedant mažiausiu ir baigiant didžiausiu. Tačiau du mažesni trikampiai sudaro vieną didelį trikampį, taigi atitinkami plotai taip pat gali būti sumuojami, todėl

$$a^2 + b^2 = c^2$$

... štai ir turime Pitagoro teoremą!

GRAŽI IRONIJA

Graži ironija yra tas faktas, kad pasitelkus Pitagoro teoremą galima paneigti jo doktriną, jog visi daiktai yra skaičiai. Tokia skandalinga išvada išplaukia iš vieno Pitagoro mokyklos atradimo, kuris buvo priskiriamas ne Pitagorui, o jo mokiniui Hipui. Netrukus po šio atradimo Hipas nuskendo jūroje. Taip ir nepaaiškėjo, ar jo mirtį nulėmė dievų rūstybė, ar pitagorininkų kerštas.

Hipo įrodymas labai nuodugniai apgalvotas, tačiau ne itin sudėtingas. Pagvildenkime jį.

Panagrinėkime lygiašonius stačiuosius trikampius, kurių dvi kraštinės vienodos – kitaip tariant, $a = b$. Pitagoro teorema skelbia, kad $2 \times a^2 = c^2$.

Dabar tarkime, kad kraštinių ilgis a ir c išreikštas sveikaisiais skaičiais. Jeigu visi daiktai yra skaičiai – tebūnie! Tačiau paaiškėja, jog tai neįmanoma.

Jeigu ir a, ir c – lyginiai skaičiai, galime aptarti perpus mažesnį panašų trikampį. Galime ir toliau jį mažinti, kaskart padaliję jo dydį iš dviejų, kol galiausiai viena iš reikšmių (a arba c) taps nelyginė.

Tačiau kad ir ką pasirinktume, netrukus susidurtume su prieštaravimu.

Iš pradžių tarkime, kad c yra nelyginis skaičius. Tada c^2 taip pat bus nelyginis skaičius. Tačiau akivaizdu, kad $2 \times a^2$ duoda lyginį skaičių, nes turi daugiklį 2. Tokiu būdu negalime gauti $2 \times a^2 = c^2$, kaip skelbia Pitagoro teorema. Prieštaravimas!

Tada tarkime, kad c yra lyginis skaičius, pavyzdžiui, $c = 2 \times p$. Tuomet $c^2 = 4 \times p^2$. Pitagoro teorema teigia, kad (padalijus abi puses iš 2), $a^2 = 2 \times p^2$. Taigi, a negali būti išreikštas nelyginiu skaičiumi – dėl jau minėtų priežasčių. Prieštaravimas!

Taigi, šiaip ar taip, ne visi daiktai gali būti išreiškiami sveikais skaičiais. Negali egzistuoti joks atomas, kuris būtų tokio ilgio, iš kurio būtų galima išvesti visus galimus ilgius kaip to paties atomo ilgio sveiko skaičiaus kartotinius.

Regis, pitagorininkai nesumojo, kad galima prieiti prie skirtingos išvados ir išsaugoti nepaliestą idėją, jog visi daiktai – tai skaičiai. Galų gale, galima įsivaizduoti pasaulį, kuriame visa erdvė sudaryta iš daugybės vienodų atomų. Pavyzdžiui, mano draugai Edas Fredkinas ir Stevenas Wolframas (Stivenas Volframas) propaguoja mūsų pasaulio modelius, pagrįstus koriniais automatais, kuriems kaip tik ir būdinga ši savybė. Ir jūsų kompiuterio monitoriaus ekranas, sudarytas iš šviesos atomų, kuriuos vadiname vaizdataškiais, įrodo, kad toks pasaulis gali atrodyti pakankamai tikroviškas! Logiškai samprotaujant, būtų teisinga pasidaryti išvadą, kad tokiame pasaulyje neįmanoma sukonstruoti tikslaus lygiašonio stačiojo trikampio. Kažkas vis tiek jame turi šiek tiek būti ne taip. Arba „statusis“ kampas bus nevisiškai lygus 90°, arba trumposios kraštinės bus nevisiškai vienodo ilgio, arba – kaip ir monitoriaus ekrane – tokio trikampio kraštinės bus ne visai tiesios.

Tačiau šis požiūris graikų matematikams nebuvo priimtinas. Jie buvo linkę vertinti geometriją kaip patrauklią, nenutrūkstamą formą, kurioje gali koegzistuoti tikslūs statieji kampai ir tiksliai vienodos kraštinės. (Šis požiūris pasirodė esąs pats vaisingiausias ir fizikams, kaip kad vėliau paaiškės iš Niutono pavyzdžio.) Siekdami jį įtvirtinti, graikai geometriją iškėlė virš matematikos, nes – kaip jau matėme – sveikaisiais skaičiais neįmanoma tinkamai apibūdinti net ir labai paprastų geometrinių figūrų. Taigi, jie atsisakė paraidžiui vykdyti doktriną, kad visi daiktai yra skaičiai, tačiau nenusigręžė nuo jos esmės.

MINTIS IR OBJEKTAS

Tikroji Pitagoro pasaulėžiūros esmė – ne paraidinis teiginys, kad pasaulis turi įkūnyti sveikuosius skaičius, o optimistinis įsitikinimas tuo, kad pasaulis turi įkūnyti *gražias idėjas*.

Pamokos, už kurią Hipas sumokėjo gyvybe, esmė – šias idėjas turime perimti iš Gamtos. Įgyvendinant šį sumanymą privalu išlikti kukliam. Geometrija grožiu nenusileidžia aritmetikai. Iš tikrųjų, ją žymiai lengviau suvokia mūsų smegenys, iš prigimties tinkamesnės vaizdinių apdorojimui, todėl ir dauguma žmonių teikia pirmenybę būtent geometrijai. Be to, geometrijoje nė kiek ne mažiau konceptualumo ir gryno protavimo nei aritmetikoje. Didžioji senovės graikų matematikos, kurią įkūnijo Euklido veikalas *Elementai*, dalis siekė įrodyti kaip tik tai, kad geometrija – *loginė* sistema.

Toliau tęsdami savo meditaciją pamatysime, kad Gamta, plėtodama savo kalbą, yra išradinga. Ji praplečia mūsų vaizduotę naujomis skaičių rūšimis, naujomis geometrinėmis formomis – ir, jeigu kalbėsime apie kvantinį pasaulį, netgi naujomis logikos rūšimis.

PITAGORAS II

SKAIČIUS IR HARMONIJA

Visų styginių instrumentų esmė, nesvarbu, ar tai būtų senovinė lyra, ar šiuolaikinė gitara, violončelė ar pianinas, yra vienoda: garsą skleidžia jų stygų judėjimas. Garso kokybė, arba tembras, priklauso nuo daugybės sudėtingų veiksnių, įskaitant stygų medžiagą, sutartinai su styga vibruojančios dekos – garsą atspindinčios sienelės – formą ir garso išgavimo iš stygos būdą: gnaibant pirštais, braukiant stryku arba baksnojant. Tačiau kiekvienam muzikos instrumentui būdingas pagrindinis tonas arba tono aukštis, kuriuos atpažįstame kaip išgaunamas gaidas. Pitagoras – tikrasis Pitagoras – atrado, kad tonas paklūsta dviem nuostabioms taisyklėms. Šios taisyklės tiesiogiai susijusios su skaičiais, fizinio pasaulio savybėmis ir mūsų harmonijos (o harmonija – vienas iš grožio veidų) jausmu.

Kitame piešinyje, kurio autorius tikrai ne Rafaelis, pavaizduotas Pitagoras, eksperimentuojantis su harmonija.

3 PAV. ŠIOJE VIDURAMŽIŲ EUROPOJE SUKURTOJE GRAVIŪROJE PAVAIZDUOTAS PITAGORAS, TIRIANTIS MUZIKINĘ HARMONIJĄ. IŠ ŠIO PIEŠINIO GALIME PADARYTI IŠVADĄ, KAD PITAGORAS KLAUSOSI, KAIP KINTA JO MUZIKOS INSTRUMENTO GARSAS JAM KEIČIANT DU SKIRTINGUS PARAMETRUS. TVIRTAI PRISPAUSDAMAS STYGĄ SKIRTINGUOSE TAŠKUOSE, JIS KEIČIA EFEKTYVŲJĮ VIBRUOJANČIOS DALIES ILGĮ, O KAITALIODAMAS SVARMENIS, KURIAIS ĮTEMPIAMA STYGA, JIS KEIČIA PASTAROSIOS ĮTEMPĮ.

HARMONIJA, SKAIČIUS IR ILGIS: STULBINAMAS RYŠYS

Pirmoji Pitagoro taisyklė nusako santykį tarp vibruojančios stygos ir mūsų gebėjimo suvokti jos toną. Ji skelbia, kad dviem vienodomis stygomis, turinčiomis vienodą įtempį, malonus garsas išgaunamas tada, kai šių stygų ilgiai yra proporcingi nedideliems sveikiems skaičiams. Taigi, pavyzdžiui, kai ilgių santykis yra 1:2, tonai sudaro oktavą. Kai santykis 2:3, girdime

dominuojančią kvintą, o kai 3:4 – mažorinę kvartą. Muzikinėje notacijoje (C rakte) tai atitinka dvi Cs natas, skambančias viena virš kitos, kartu, C-G arba C-F atitinkamai. Žmonėms tokie tonų deriniai skamba patraukliai. Jie tapo svarbiausiais klasikinės muzikos komponentais, skamba daugelyje liaudies muzikos, popmuzikos ir roko kūrinių.

Taikydami Pitagoro taisyklę, stygos ilgiu turime laikyti jos efektyvųjį ilgį, kitaip tariant, ilgį tos stygos atkarpos, kuri iš tikrųjų virpa. Suspausdami stygą ir tokiu būdu sukurdami tylos zoną, galime keisti toną. Gitaristai ir violončelininkai išnaudoja šią galimybę, prispausdami stygas prie grifo kairės rankos pirštais. Tai darydami jie sąmoningai ar nesąmoningai persikūnija į Pitagorą. Piešinyje matome, kaip Pitagoras keičia efektyvųjį stygos ilgį, naudodamas nusmailintus spaustuvus, kurie jam padeda atlikti tikslius matavimus.

Kai tonai skamba darniai, sakome, kad jie harmoningi, arba suderinti. Tokiu būdu Pitagoras atrado, kad mūsų juntama garsų harmonija atspindi santykius, kurie būdingi tariamai visiškai kitokiam pasauliui – skaičių pasauliui.

HARMONIJA, SKAIČIUS IR SVORIS: NUOSTABUS RYŠYS

Antroji Pitagoro taisyklė susijusi su stygos įtempiu. Įtempį galima reguliuoti kontroliuojamu ir lengvai išmatuojamu būdu, apkraunant stygas skirtingo svorio svarmenimis, kaip parodyta 3 pav. Čia gaunamas rezultatas dar įdomesnis. Tonai gerai dera tarpusavyje, jeigu įtempis proporcingas mažų sveikųjų skaičių *kvadratams*. Kuo didesnis įtempis, tuo aukštesnis tonas. Taigi, santykis 1:4 sukuria oktavą ir t. t. Kai muzikantai prieš pasirodymą derina savo instrumentus sukinėdami kuoliukus ir taip įtempdami arba atleisdami stygas, Pitagoras sugrįžta.

Šis antrasis sąryšis, kaip įrodymas, kad daiktai yra paslėpti skaičiai, dar įspūdingesnis nei pirmasis. Šis sąryšis geriau paslėptas, o kad jis išryškėtų, skaičiai turi būti apdorojami – kalbant tiksliau, pakelti kvadratu. Atitinka-

mai sukrėtimas nuo šio atradimo taip pat bus gerokai stipresnis. Be to, šis sąryšis susijęs ir su naudojamų priemonių svoriu. Ir svoris susieja mus su medžiaginio pasaulio dalykais žymiai tiksliau nei ilgis.

ATRADIMAI IR PASAULĖVAIZDIS

Štai ir aptarėme trejetą svarbiausių Pitagoro atradimų: jo stačiųjų trikampių teoremą ir dvejetą muzikinės harmonijos dėsnių.

Visi kartu jie susieja formą, dydį, svorį ir harmoniją viena bendra gija, kuri yra Skaičius.

Pitagorininkams ši atradimų trejybė tapo stipriu akstinu persiimti mistine pasaulėžiūra. Stygų virpėjimas – tai muzikos garso šaltinis. Šie virpesiai tėra tik tam tikro dažnio periodiškas judėjimas, kitaip tariant, judesys, kuris kartojasi reguliariais intervalais. Akivaizdu ir tai, kad Saulė ir planetos juda dangumi periodiškai. Tai leidžia numanyti, kad erdve šie dangaus kūnai taip pat juda periodiškai. Vadinasi, jie taip pat turi skleisti garsus. Šie garsai formuoja Sferų muziką, muziką, kuri pripildo kosmosą.

Pitagoras mėgo dainuoti. Jis taip pat tvirtindavo galįs girdėti sferų muziką. Kai kurie dabartiniai mokslininkai mano, kad istorinis Pitagoras kentėdavęs nuo spengimo ausyse. Tačiau tikrasis Pitagoras neturėjo jokių panašių sutrikimų.

Bet kuriuo atveju svarbiausia tai, kad visi daiktai yra skaičiai ir kad skaičiai palaiko harmoniją. Apsvaigę nuo matematikos pitagorininkai gyveno harmonijos kupiname pasaulyje.

DAŽNIS – TAI ŽINIA

Manau, kad muzikinės Pitagoro taisyklės nusipelno būti laikomos pirmaisiais kiekybiniais Gamtos dėsniais, kuriuos kada nors atrado žmogus.

(Astronominiai dėsningumai, pradedant reguliaria nakties ir dienos kaita, žinoma, pastebėti žymiai anksčiau. Dar gerokai iki gimstant Pitagorui žmonės gebėjo efektyviai sudarinėti kalendorius ir horoskopus, prognozuoti būsimą ir atkurti buvusią Saulės, Mėnulio ir planetų padėtį danguje. Tačiau empiriniai pavienių objektų stebėjimai gerokai skiriasi nuo bendrųjų Gamtos dėsnių studijų.)

Todėl keista, bet tenka pripažinti, kad vis dar nesuprantame, kodėl jie teisingi. Šiandien žymiai geriau suvokiame fizinius procesus, susijusius su garso išgavimu, perdavimu ir suvokimu, tačiau kol kas sunkiai apčiuopiame ryšį tarp šio žinojimo ir „kartu darniai skambančių natų“ suvokimo. Manau, kad egzistuoja daugybė su šia tema susijusių daug žadančių idėjų. Šios idėjos sukasi aplink mūsų meditacijos ašį, nes (jeigu jos teisingos) nušviečia mūsų grožio pajautos kilmę.

Mūsų pasakojimas apie tai, *kaip* veikia Pitagoro taisyklės, susideda iš trijų dalių. Pirmojoje dalyje virpančios stygos garsas pasiekia mūsų ausų būgnelius. Antrojoje dalyje garsas, pasiekęs ausies būgnelį, virsta pirminiais nerviniais impulsais. Trečiojoje pirminiai nerviniai impulsai išsirutulioja į harmonijos pojūtį.

Kol pasiekia mūsų smegenis kaip mums siųsta žinia, stygos virpesiai patiria keletą transformacijų. Virpėjimas išjudina aplink mus esantį orą tiesiog jį stumdydamas. Tačiau pavienės stygos dūzgimas ganėtinai silpnas. Paprastai kiekvienas styginis muzikos instrumentas turi deką (rezonatorių), kuri, reaguodama į stygos virpesius, pati ima virpėti dar smarkiau. Dekos judėjimas stumdo aplinkinį orą dar stipriau.

Tokiu būdu aplink stygą arba deką sutrikdytas oras ima judėti savarankiškai: garso banga sklinda tolyn visomis kryptimis. Bet kuri garso banga – tai periodiškas suspaudimas ir išplėtimas. Oras, virpantis kiekviename erdvės taške, slegia gretimas sritis, ir jos taip pat ima virpėti. Galiausiai šios garso bangos dalis, nukreipta per sudėtingos geometrijos ausį, neišvengiamai pasiekia ausies landoje esančią membraną, kuri vadinama ausies būgneliu ir yra kelių centimetrų gylyje. Mūsų ausies būgnelis veikia kaip dekos priešybė: dabar oro virpesiai sukelia mechaninį judėjimą, o ne atvirkščiai.

Ausies būgnelio virpesiai paskatina tolesnes reakcijas, kurias netrukus aptarsime. Tačiau prieš tai turime padaryti vieną paprastą, tačiau esminę

pastabą. Tokia ilga virsmų virtinė šiek tiek glumina ir skatina susimąstyti, kokiu būdu stygos elgesį atspindintis reikšminis signalas gali būti perduotas tokia ilga grandine. Reikalas tas, kad per visus šiuos virsmus viena signalo savybė išlieka nepakitusi. Virpesių per tam tikrą laiko tarpą skaičius, arba, kaip esame įpratę sakyti, *dažnis*, išlieka nepakitęs, nepriklausomai nuo to, ar vibravo styga, ar deka, ar oras, ar ausies būgnelis – ar giliau ausies landoje esantys klausomieji kauliukai, kochlearinis skystis, baziliarinė membrana ir plaukuotieji epiteliocitai. Per kiekvieną virsmą vieno etapo stumtelėjimai ir truktelėjimai sukelia suspaudimą ir išsiplėtimą kitame etape, visiškai sutampančius su priminiu signalu, tad įvairaus pobūdžio virpesiai tokiu būdu esti sinchroniški arba, kaip esame įpratę sakyti, „savalaikiai“. Todėl galime tikėtis ir iš tikrųjų įsitikinsime: jeigu norime, kad mūsų suvokimas atspindėtų pradinių virpesių savybes, pravartu stebėti dažnį tų virpesių, kurie galiausiai sukeliami mūsų galvose.

Taigi, pirmasis žingsnis link Pitagoro taisyklių suvokimo – jų vertimas į dažnių kalbą. Šiandien galime pasikliauti mechanikos lygtimis, kurios leidžia apskaičiuoti, kaip keičiasi stygos virpėjimo dažnis keičiant jos ilgį arba įtempį. Naudodamiesi šiomis lygtimis pamatysime, kad dažnis mažėja proporcingai ilgiui ir didėja proporcingai įtempio kvadratui. Atitinkamai, abi Pitagoro taisyklės, išverstos į dažnių kalbą, perduoda vieną ir tą patį paprastą teiginį. Jos skelbia, kad natos skamba gerai drauge, jeigu jų dažniai santykiauja kaip nedideli sveikieji skaičiai.

HARMONIJOS TEORIJA

Dabar grįžkime prie to, kas nutinka su garsu antrajame etape. Ausies būgnelis tvirtinasi prie trijų mažų kaulelių, kurie, savo ruožtu, yra pritvirtinti prie membraninio *ovaliojo langelio*, atsiveriančio į spiralę primenančią sraigę. Ši sraigė – pats svarbiausias klausai organas, atliekantis panašų vaidmenį kaip akis regai. Ji pripildyta skysčio, kurį judina ovaliojo langelio virpesiai. Į šį skystį panardinta ilga tolydžio plonėjanti pagrindinė sraigės

membrana, išsirangiusi kochlearinės sraigės vijomis. Lygiagrečiai pagrindinės membranos išsidėstęs *spiralinis*, arba Corti (Korti), *organas*. Kaip tik šiame organe stygos skleidžiami virpesiai – po daugybės transformacijų – virsta nerviniais impulsais. Šių transformacijų smulkmenos sudėtingos ir įdomios nebent specialistams, tačiau bendras vaizdas ganėtinai paprastas ir nuo tų smulkmenų nepriklauso. Esmė ta, kad pirminių virpesių dažnis paverčiamas to paties dažnio neuronų šūviais.

Vienas svarbus šio virsmo aspektas ypač gražus ir atitinka pitagorininkų dvasią. 1961 m. jį tyrusiam Georgui von Bekesy (fon Bekeši) suteikta Nobelio premija. Pagrindinė membrana išilgai siaurėja, todėl atskiros jos dalys linkusios virpėti skirtingais dažniais. Platesnės dalys turi daugiau inercijos, todėl virpa lėčiau, žemesniu dažniu, tuo tarpu siauresnės atkarpos – aukštesniu dažniu. (Dėl šio efekto egzistuoja skirtumas tarp tipiškai vyriško ir tipiškai moteriško balsų bendro tono. Lytinio brendimo laikotarpiu vyriškos balso stygos žymiai sustorėja, todėl jų vibravimo dažnis pažemėja, o balsas pagilėja.) Taigi, po to, kai garsas, patyręs daugybę išmėginimų, priverčia aplinkinį skystį judėti, pagrindinė membrana skirtingose savo atkarpose reaguoja į jį skirtingai. Žemo dažnio garsai privers virpėti platesnes membranos dalis, tuo tarpu aukšto dažnio garsai energingiau virpins siauresnes jos dalis. Tokiu būdu informacija apie dažnį perkoduojama į informaciją apie padėtį!

Sraigė klausai yra tas pats, kas akis regai, o spiralinis organas yra klausos tinklainė. Jis veikia kartu su pagrindine membrana ir yra labai arti jos. Jo sandara sudėtinga, tačiau, bendrais bruožais, jį sudaro plaukuotieji epiteliocitai ir neuronai – kiekvienam neuronui tenka po vieną epiteliocitą. Pagrindinės membranos judesys, susietas su tarpiniu skysčiu, perduoda impulsą epiteliocitams. Epiteliocitai reaguoja – juda, o jų judėjimas elektros impulsais sužadina atitinkamus neuronus. Impulsų dažnis išlieka toks pat kaip ir sužadinimo dažnis, kuris, savo ruožtu, yra toks pat kaip ir pradinio tono dažnis. (Specialistams: impulsų struktūros labai triukšmingos, tačiau jose yra stiprus pradinio signalo dažnio komponentas.) Spiralinis organas remiasi į pagrindinę membraną, todėl jo neuronai sužadinami dažniu, priklausomu nuo jų erdvinės padėties. Tai labai svarbu mūsų gebėjimui suvokti akordus, nes tai reiškia, kad vienu metu skambant keliems tonams jų signalai nėra sujaukiami. Dažniausiai į skirtingus tonus reaguoja skirtingi neuro-

nai! Toks tad yra fiziologinis mechanizmas, leidžiantis mums lengvai atskirti vieną nuo kito skirtingus tonus.

Kitaip tariant, mūsų vidinė ausis seka Niutono pavyzdžiu – ir numato jo bandymus su šviesa – atlikdama nuostabią į ją patenkančio garso analizę ir paversdama jį grynaisiais tonais. (Kaip aptarsime vėliau, mūsų gebėjimas analizuoti šviesos signalų dažnius arba, kitaip tariant, šviesos spalvų turinį, pagrįstas kitokiais principais ir žymiai menkesnis.)

Dabar galime pereiti prie trečiosios mūsų istorijos dalies. Joje spiraliniame organe esančių pirminių sensorinių neuronų signalai suderinami ir perduodami į tolesnius neuronų sluoksnius smegenyse. Apie tai, kas vyksta šioje srityje, mūsų žinios gana ribotos. Tačiau tik čia galime galų gale rimtai imtis paties svarbiausio klausimo:

> ***Kodėl*** *garsai, kurių dažniai sąveikauja kaip nedideli sveikieji skaičiai, suteikia malonų skambesį?*

Pasvarstykime, kas vyksta smegenyse nuskambėjus dviem skirtingų dažnių garsams. Tada dvi pirminių neuronų grupės į juos stipriai sureaguoja tokiu pačiu dažniu, kaip ir juos sužadinusios stygos. Šie pirminiai neuronai perduoda savo signalus toliau į smegenų gilumą, „aukštesnio“ lygio neuronams, kur jie suderinami tarpusavyje ir sujungiami į visumą.

Kai kurie iš šių kito lygio neuronų priims iš abiejų pirminių sužadintų neuronų rinkinių įeinančius signalus. Jeigu pirminių neuronų dažniai sąveikauja kaip maži sveikieji skaičiai, jų signalai gali būti sinchronizuoti. (Šioje diskusijoje supaprastinsime realųjį atsaką, ignoruodami triukšmą ir laikydami jį tiksliai periodišku.) Pavyzdžiui, jeigu garsai sudaro oktavą, vienas neuronų rinkinys virpės du kartus greičiau už kitą, ir kiekvieno lėtesnio neurono santykiai su greitesniuoju neuronu bus tokie patys, nuspėjami. Taigi, neuronai, priimantys signalą iš abiejų pirminių rinkinių, gauna lengvai nuspėjamą pasikartojantį šabloną, kurį lengva interpretuoti. Remdamiesi ankstesne patirtimi (nors tai gali būti ir įgimtas instinktas) šie antriniai neuronai – arba vėlesni neuronai, interpretuojantys jų elgesį – „supras“ signalą. Tokiu būdu jiems lengviau nuspėti būsimus įeinančius signalus (paskesnius pasikartojimus), o daugybė vibracijų formuoja paprastas vėlesnio elgesio

prognozes tol, kol garsas pakeis savo pobūdį.

Atkreipkite dėmesį, kad mūsų girdimi garsai sklinda dažniais nuo kelių dešimčių iki kelių tūkstančių virpesių per sekundę, todėl net trumpi garsai pasikartoja daugybę kartų, išskyrus pačių žemiausių dažnių garsus. Garsų dažniui žemėjant, mūsų harmonijos pojūtis senka, kaip ir ši mintis, kurią dabar mėginu išrutulioti.

Kad galėtų susidoroti su savo užduotimi, aukštesnio lygio neuronams, derinantiems sudėtinius signalus, būtinas rišlus įeinantis signalas. Todėl jei mūsų sudėtiniai signalai siunčia prasmingus pranešimus, o svarbiausia, jeigu jų prognozės pakelia laiko išbandymą, tada aukštesnio lygio neuronai bus suinteresuoti „apdovanoti“ juos kokiu nors teigiamu atsaku arba bent jau palikti juos ramybėje. Kita vertus, jeigu sudėtinių signalų operatorių pranašystės neteisingos, klaidos plis ir į aukštesnius lygius. Tai iš karto sukels diskomfortą ir troškimą šį procesą nutraukti.

Kada sudėtiniai signalai ims kurti neteisingas prognozes? Taip nutiks tada, kai pirminiai signalai bus nepakankamai sinchronizuoti. Tokiu atveju virpesiai stiprins vieni kitus per keletą ciklų, o sudėtinių signalų operatoriai šį modelį ekstrapoliuos. Jie tikėsis, kad jis bus plėtojamas toliau, tačiau to nebus! Ir iš tikrųjų, kartu nuskambėję tonai, kurie vienas nuo kito skiriasi labai nežymiai (pavyzdžiui C ir C#), sukelia labai nemalonų pojūtį.

Jeigu ši idėja teisinga, tada harmonijos pagrindas – sėkminga prognozė ankstyvosiose suvokimo stadijose. (Šis prognozavimo procesas nereikalauja sąmoningo dėmesio ir dažniausiai apsieina be jo.) Tokia sėkmė suvokiama kaip malonumas arba grožis. Tuo tarpu nesėkminga prognozė tampa skausmo arba pasibjaurėjimo šaltiniu. Iš to galima padaryti išvadą, kad plėsdami savo akiratį ir mokydamiesi ilgainiui galime išgirsti harmoniją, kuri anksčiau mums buvo nesuvokiama, ir atsikratyti skausmo šaltinių.

Istoriškai besiplėtojant vakarietiškai muzikai, priimtinų tonų derinių paletė įvairėjo. Pavieniai žmonės, periodiškai veikiami anksčiau jiems negirdėtų melodijų, gali taip pat išmokti mėgautis garsų deriniais, kurie iš pradžių jiems atrodė nemalonūs. Iš tikrųjų, jeigu esame sutverti taip, kad mėgautumės *mokymusi* sėkmingai prognozuoti, tada prognozės, kurias mums bus pernelyg lengva sukurti, nesuteiks to didžiulio malonumo, kurį jaučia žmogus, susidūręs su naujove.

PLATONAS I

STRUKTŪRA IŠ SIMETRIJOS – PLATONO KŪNAI

Platono kūnai apgaubti kažkokios stebuklingos auros. Jie visada buvo ir bus objektai, su kuriais galima kurti stebuklus. Savo šaknimis jie siekia žmonijos priešistorę ir toliau gyvuoja kaip sėkmę arba nesėkmę lemiantys daiktai pačiuose įmantriausiuose stalo žaidimuose, o ypač *Požemiai ir drakonai*. Be to, juos gaubianti mistika įkvėpė mokslininkus kai kuriems itin vaisingiems matematikos ir fizikos atradimams. Nenusakomas šių kūnų grožis vertas gilesnių apmąstymų.

Albrechtas Diūreris savo graviūroje *Melancholija I* (4 pav.) daro užuominą į taisyklingųjų briaunainių žavesį, nors jo paveiksle atvaizduotas kūnas nevisiškai Platono kūnas. (Techniniu požiūriu tai – nupjautinis trikampis trapecoedras. Jį galima sukonstruoti tam tikru būdu ištempiant oktaedro kraštines.) Galimas daiktas, kad šį sparnuotą genijų apniko melancholija, nes jis negali suvokti, kodėl grėsmingos išvaizdos šikšnosparnis vietoj teisingo pavyzdžio numetė jam į dirbtuves kaip tik šį, ne visai platonišką, kūną.

4 PAV. ALBRECHTAS DIŪRERIS, *MELANCHOLIJA I*. GRAVIŪROJE ATVAIZDUOTAS NUPJAUTINIS PLATONO KŪNAS, MAGIŠKASIS KVADRATAS IR DAUGYBĖ KITŲ EZOTERINIŲ SIMBOLIŲ. MAN ATRODO, KAD JAME PUIKIAI ATVAIZDUOTA NEVILTIS, SU KURIA DAŽNAI SUSIDURIU MĖGINDAMAS PER GRYNĄJĄ IDĖJĄ PERPRASTI TIKROVĘ. LAIMĖ, TAIP BŪNA NE VISADA.

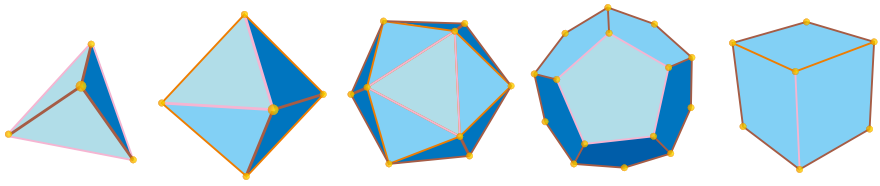
TAISYKLINGIEJI DAUGIAKAMPIAI

Norėdami perprasti Platono kūnus, pirma pradėkime nuo paprastesnių dalykų – nuo jiems artimiausių dvimačių geometrinių figūrų, o tiksliau kalbant, nuo taisyklingųjų daugiakampių. Taisyklingasis daugiakampis – tai plokščia figūra, kurios visos kraštinės yra lygios ir susikerta viena su kita vienodais kampais. Pats paprasčiausias taisyklingasis daugiakampis turi tris kraštines – tai lygiakraštis trikampis. Paskesnė po jo figūra – kvadratas keturiomis kraštinėmis. Dar toliau – taisyklingasis penkiakampis, arba pentagonas (kurį pitagorininkai paskelbė savo simboliu ir kuris tapo garsiosios JAV Gynybos departamento būstinės projekto pagrindu), šešiakampis (bičių korio ir, kaip pamatysime vėliau, grafeno dalis), septynkampis (įvairios monetos), aštuonkampis (kelio ženklas „stop“), devynkampis... Šią seriją galima tęsti be galo: kiekvieną sveiką skaičių, pradedant nuo trijų, atitinka unikalus taisyklingasis daugiakampis. Kiekvienu atveju viršūnių skaičius sutampa su kraštinių skaičiumi. Taip pat galime aptarti apskritimą kaip kraštutinį taisyklingojo daugiakampio atvejį, kada kraštinių skaičius begalinis.

Taisyklingieji daugiakampiai, tam tikra intuityvia prasme, užfiksuoja idealių plokštuminių „atomų“ reikšmę. Jie gali mums pasitarnauti kaip konceptualūs atomai, iš kurių galime išrutulioti turtingesnes ir sudėtingesnes tvarkos bei simetrijos idėjas.

PLATONO KŪNAI

Dabar pereisime nuo plokščiųjų figūrų prie geometrinių kūnų. Siekdami maksimalaus taisyklingumo, galime apibendrinti taisyklinguosius daugiakampius įvairiais būdais. Pats natūraliausias iš jų, berods ir pats vaisingiausias, veda prie Platono kūnų. Kalbame apie geometrinius kūnus, kurių plokštumos yra taisyklingieji daugiakampiai, visi vienodi, susikertantys vienodu būdu kiekvienoje viršūnėje. Tada vietoj begalės sprendinių gausime lygiai penketą kūnų!



Tetraedras Oktaedras Ikosaedras Dodekaedras Kubas

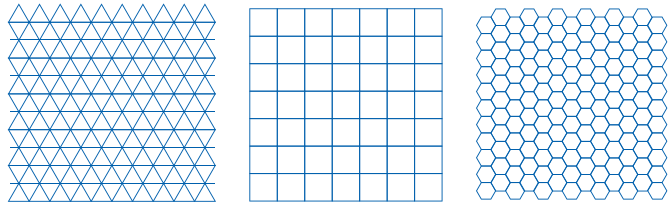
5 PAV. PENKI PLATONO KŪNAI – STEBUKLINGOS FIGŪROS.

Štai penketas Platono kūnų:

- *Tetraedras* – tai briaunainis, turintis keturias trikampes sieneles su keturiomis viršūnėmis, kurių kiekvienoje susikerta po tris sieneles.
- *Oktaedras* – tai aštuonsienis briaunainis, kurį sudaro aštuoni lygiakraščiai trikampiai, po keturis susieinantys kiekvienoje viršūnėje.
- *Ikosaedras* – tai geometrinis kūnas su 20 trikampių sienelių ir 12 viršūnių, kurių kiekvienoje susieina po penkias sieneles.
- *Dodekaedras* – sudarytas iš dvylikos taisyklingų penkiakampių sienų, 20 viršūnių, kurių kiekvienoje susieina po tris briaunas.
- *Kubas* – sudarytas iš šešių kvadratinių sienų, aštuonių viršūnių, kurių kiekvienoje susieina po tris briaunas.

Šio geometrinių kūnų penketo egzistavimą lengva suvokti, ir dauguma žmonių be vargo gali sukonstruoti jų modelius. Tačiau kodėl jų tik penki? (O gal jų yra ir daugiau?)

Imdamiesi gvildenti šį klausimą, atkreipkime dėmesį į tai, kad tetraedro, oktaedro ir ikosaedro viršūnėse susieina po tris, keturis ir penkis trikampius, ir užduokime klausimą „Kas įvyks, jeigu tęsime toliau, iki šešių trikampių?“ Tada pamatysime, kad šeši lygiakraščiai trikampiai, turintys bendrą viršūnę, *guli plokštumoje*. Kad ir kiek dėliosime šį plokščią objektą, vis tiek nesudarysime išbaigtos figūros, ribojančios tam tikrą tūrį. Jis bus iki begalybės besidriekiančios plokštumos pjūvis, kaip parodyta 6 pav.



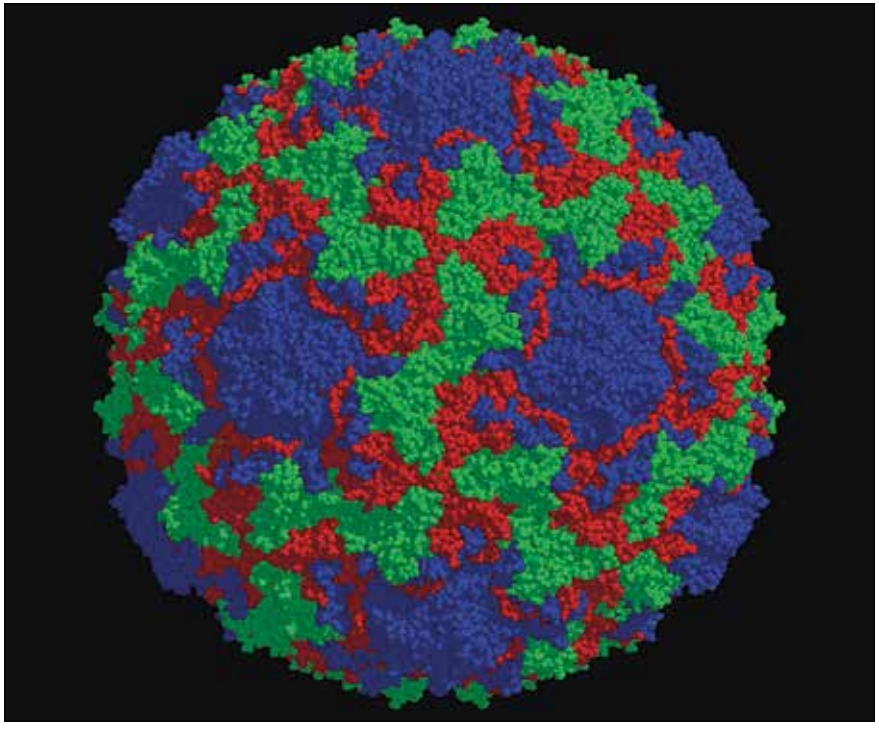
Platono sūnūs palaidūnai

6 PAV. TRYS BEGALINĖS PLATONO PLOKŠTUMOS. ILIUSTRACIJOJE PARODYTOS TIK JŲ BAIGTINĖS ATKARPOS. ŠIOS IŠ TAISYKLINGŲJŲ FIGŪRŲ SUDARYTOS PLOKŠTUMOS GALI IR TURI BŪTI APTARIAMOS KAIP TRADICINIŲ PLATONO KŪNŲ GIMINAIČIAI, IŠKELIAVĘ BASTYTIS PO PASAULĮ IR NIEKADA NEGRĮŽTANTYS NAMO.

Tokius pačius rezultatus gausime sudėję kartu keturis kvadratus arba tris šešiakampius. Šie trys taisyklingieji plokštumos pjūviai – vertingi Platono kūnų papildai. Vėliau pamatysime, kaip jie įsikūnija mikrokosme (29 pav.).

Jeigu pamėginsime sujungti į darnią visumą daugiau nei šešetą trikampių, keturis kvadratus ar trejetą bet kurių didelių taisyklingųjų daugiakampių, mums tiesiog nepakaks vietos ir mes nesugebėsime išdėstyti aplink vieną viršūnę jų bendro kampo. Taigi, penki Platono kūnai – vieninteliai galintys egzistuoti taisyklingieji briaunainiai.

Pažymėtina, kad konkretus baigtinis skaičius – penki – išplaukia iš geometrinio taisyklingumo ir simetrijos principų. Taisyklingumas ir simetrija – natūralūs ir gražūs dalykai, kuriuos įdomu aptarinėti, tačiau jie neturi nei akivaizdaus, nei tiesioginio ryšio su konkrečiais skaičiais. Kaip netrukus pamatysime, Platonas interpretavo šį sudėtingą jų atsiradimo atvejį itin kūrybiškai.



ILIUSTRACIJA D. TIPIŠKAS VIRUSO „EGZOSKELETAS“, KURIAME ATSISKLEIDŽIA TIEK DODEKAEDRO, TIEK DVIDEŠIMTSIENIO STRUKTŪRA!

PRIEŠISTORĖ

Labai dažnai garsiems žmonėms tenka šlovė už atradimus, kuriuos padarė kiti. Tai *Mato efektas*, kurį apibūdino sociologas Robertas Mertonas, pagrįstas eilutėmis iš Evangelijos pagal Matą:

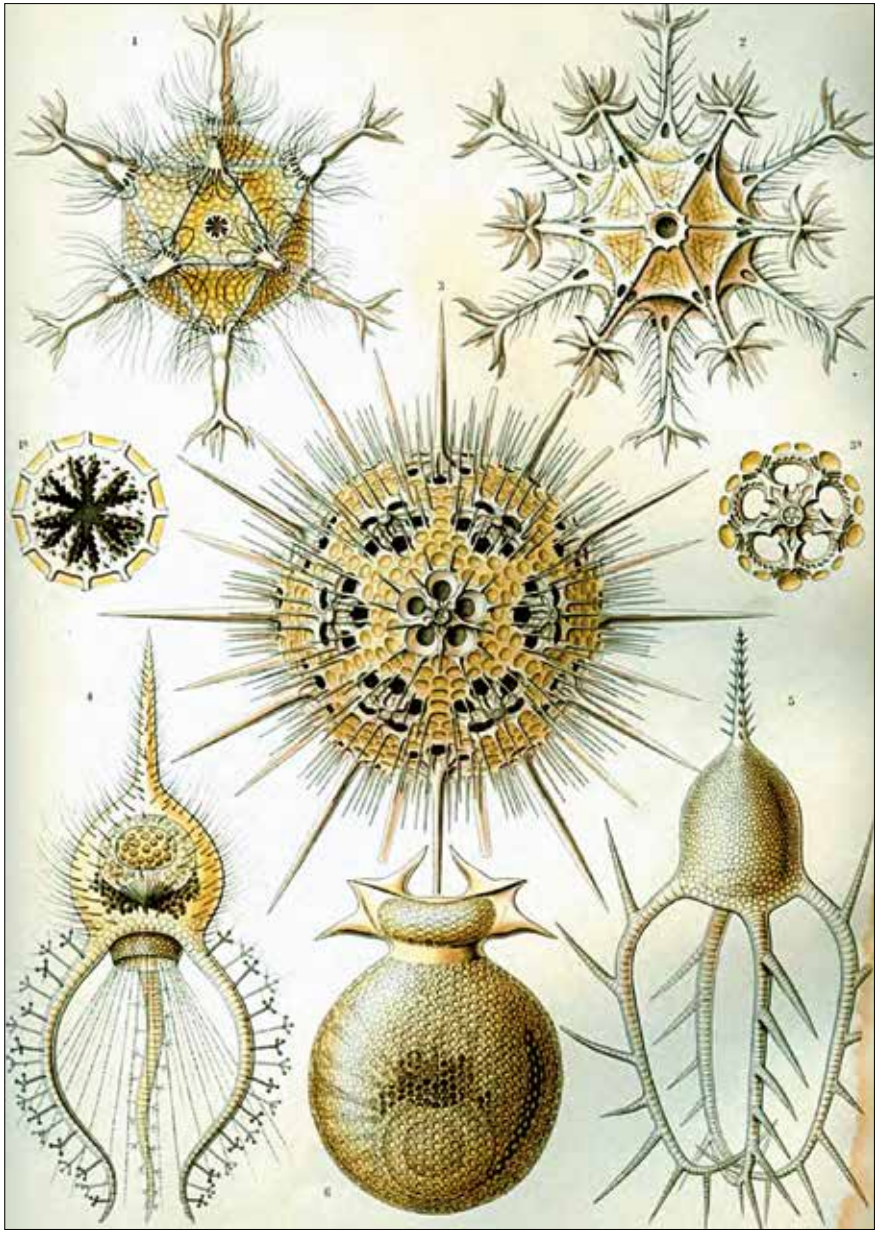
> *Mat kas turi, tam bus duota, ir jis turės su pertekliumi, o iš neturinčio bus atimta ir tai, ką jis turi.**

Taip nutiko ir su Platono kūnais.

Ašmolio muziejuje Oksfordo universitete galima pamatyti stendą su penkiais raižytais akmenimis, datuotinais apie 2000 m. pr. Kr. Škotijoje, kuriuos daug kas laiko Platono kūnų realizacijomis (nors kai kurie mokslininkai šiai nuomonei nepritaria). Galimas daiktas, kad jie buvo naudojami kaip lošimo kauliukai. Įsivaizduokite būrelį aplink genties laužą susibūrusių urvinių žmonių, azartiškai įnikusių į paleolito epochos lošimą kauliukais. Labai tikėtina, kad ne Platonas, o jo amžininkas Teatetas (417 – 369 m. pr. Kr.) pirmasis matematiškai įrodė, jog šie penki kūnai yra vieninteliai galimi taisyklingieji briaunainiai. Neaišku, kokiu mastu Platonas įkvėpė Teatetą ar atvirkščiai, o galbūt Atėnų ore tvyrojo kažkokia medžiaga, kurios įkvėpė jie abu. Bet kuriuo atveju šie kūnai buvo pavadinti Platono kūnais todėl, kad Platonas, kaip originalia vaizduote apdovanotas genijus, juos kūrybiškai panaudojo sukurdamas pranašišką fizinio pasaulio teoriją.

7 PAV. IKI PLATONO SUKURTI GEOMETRINIŲ KŪNŲ ATVAIZDAI, KURIE, GALIMAS DAIKTAS, BUVO NAUDOJAMI KAIP LOŠIMO KAULIUKAI APIE 2000 M. PR. KR.

* *Evangelija pagal Matą*, 13, 12. *Vert. pastaba*.



8 PAV. SPINDULIUOČIUS GALIMA PAMATYTI PER PATĮ PAPRASČIAUSIĄ MIKROSKOPĄ. JŲ EGZOSKELETAI DAŽNAI IŠSISKIRIA PLATONO KŪNAMS BŪDINGA SIMETRIJA.

Pažvelgę į dar tolimesnę praeitį pamatysime, kad kai kurie patys paprasčiausi biosferos gyviai, įskaitant virusus ir titnagdumblius (tai nieko bendra su atomais* neturintys jūrų dumbliai, kurių dažnas turi įmantrius egzoskeletus, sudarytus iš Platono kūnus primenančių dalelių), ne tik „atrado“, bet ir tiesiog įkūnijo Platono kūnus dar gerokai prieš Žemėje atsirandant žmogui. Pūslelinės virusas, hepatitą B sukeliantis virusas, ŽIV virusas ir kitos panašios bjaurybės turi formą, primenančią ikosaedrą arba dodekaedrą. Jų genetinė medžiaga – DNR ir RNR – saugoma baltyminiuose egzoskeletuose, kurie nulemia jų išorinę formą, kaip parodyta spalvotoje iliustracijoje D (58 p.). Egzoskeletai spalviškai užkoduoti tokiu būdu, kad vienodos spalvos reikštų vienodus „statybinius blokus“. Į akis krenta dodekaedrui būdinga trijų penkiakampių jungtis. Tačiau per mėlynų sričių centrus pravedę tieses pamatysime ikosaedrą.

Sudėtingesni mikroskopiniai padarai, įskaitant spinduliuočius, kuriuos savo nuostabioje knygoje *Art Forms in Nature (Meniškos formos gamtoje)* su meile atvaizdavo Ernestas Haeckelis (Hekelis), taip pat įkūnija Platono kūnus. 8 pav. matome įmantrius šių vienaląsčių organizmų silicio egzoskeletus. Spinduliuočiai – tai senovinė gyvybės forma, kurią galima aptikti pačiose seniausiose fosilijose. Ir šiandien šie organizmai tarpsta vandenynuose. Kiekvienas iš penkių Platono kūnų įsikūnija tam tikrame šių vienaląsčių organizmų rūšių skaičiuje. Kai kuriuose jų pavadinimuose netgi pavartotas žodis, reiškiantis jų formą, pavyzdžiui, *Circoporus octahedrus*, *Circogonia icosahedra* ir *Circorrhegma dodecahedra*.

ĮKVEPIANTI EUKLIDO IDĖJA

Euklido *Elementai* – be jokios abejonės, pats nuostabiausias visų laikų vadovėlis, gerokai lenkiantis visas kitas panašaus pobūdžio knygas. Ši knyga įvedė į geometriją sistemą ir tikslumą. Jeigu pažvelgsime kiek plačiau, idėjų pasaulyje ji – praktinio pritaikymo būdu – įtvirtino analizės ir sintezės metodą.

* Anglų k. *diatoms. Red. pastaba.*

Analizė ir Sintezė – tai formuluotė, kurią Izaokas Niutonas (kaip ir mes) buvo linkęs vertinti geriau nei „redukcionizmą“. Štai ką teigė Niutonas:

Taikydami šią analizę galime pereiti nuo junginių prie ingredientų, nuo judesių prie juos sukeliančių jėgų; ir apskritai, nuo padarinių prie juos sukėlusių priežasčių – nuo konkrečių prie platesnių, kol argumentas nesibaigs pačia bendriausia priežastimi. Toks yra analizės metodas. O sintezė preziumuoja, kad priežastys yra atrastos ir nustatytos kaip principai, kuriais aiškinami iš jų išplaukiantys reiškiniai, ir pateikia paaiškinimus.

Šią strategiją galima palyginti su Euklido požiūriu į geometriją, kur jis pradeda nuo paprastų, intuityviai suvokiamų *aksiomų*, kad iš jų po to išvestų vis sudėtingesnius ir nuostabesnius rezultatus. Niutono *Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy (Matematiniai gamtos filosofijos pagrindai)*, fundamentalusis šiuolaikinės matematinės fizikos dokumentas, taip pat seka Euklido aiškinamuoju stiliumi, per logines konstrukcijas laipsniškai pereidamas nuo aksiomų prie vis sudėtingesnių ir reikšmingesnių rezultatų.

Svarbu pabrėžti, kad aksiomos (arba fizikos dėsniai) nepasakys jums, ką su jomis daryti. Renkant jas į vieną krūvą be jokio tikslo lengva sukurti daugybę nieko nereiškiančių, neįsimintinų faktų. Tai kaip pjesė ar muzikos pasažas, kurie klajoja be jokio tikslo ir niekur nenuvyksta. Kaip kad atrado mokslininkai, mėginę pritaikyti dirbtinį intelektą kūrybiniam matematikos uždavinių sprendimui, dažniausiai pats sunkiausias dalykas – nustatyti tikslus. Turint galvoje deramą tikslą, lengviau rasti priemones, reikalingas jam pasiekti. Man patinka laimės sausainėliai, ir kartą man teko pats nuostabiausias – jame rastas palinkėjimas puikiai apibendrina tai, apie ką kalbėjome:

Darbas jus išmokys, kaip jį nudirbti.

Ir, žinoma, kad studentai ir potencialūs skaitytojai kuo lengviau įsisavintų čia pateiktą medžiagą, jiems pravartu įsivaizduoti prieš save įkvepiantį tikslą. Nuo pat pradžių jiems didžiulį įspūdį daro suvokimas, kad jie gali

tikėtis patirti nuostabų konstravimo nuotykį, kai nenumaldomai judama nuo „akivaizdžių“ aksiomų prie toli gražu ne akivaizdžių išvadų.

Taigi, ko siekė Euklidas savo *Elementais*? Tryliktasis ir paskutinysis šio šedevro tomas baigiasi penkių Platono kūnų konstrukcijomis ir įrodymu, kodėl jų egzistuoja tik penketas. Man malonu manyti – juolab, kad tai skamba išties įtikinamai – kad Euklidas, vos sumanęs knygą ir pradėjęs ją rašyti, jau mąstė apie tai, kaip ją užbaigs. Bet kuriuo atveju tai deramai skambanti pabaiga, suteikianti išbaigtumo jausmą.

PLATONO KŪNAI KAIP ATOMAI

Senovės graikai pripažino, kad medžiaginį pasaulį sudaro keturi „statybiniai blokai“, arba stichijos: ugnis, vanduo, žemė ir oras. Tikriausiai pastebėjote, kad šių stichijų skaičius – keturi – artimas penkiems, t. y. taisyklingųjų briaunainių kiekiui. Platonas tikrai pastebėjo! Jo autoritetingame, pranašiškame ir mįslingame dialoge *Timajas* galima rasti elementų teoriją, pagrįstą taisyklingaisiais briaunainiais. Štai jos esmė:

Kiekvienas elementas susideda iš tam tikros rūšies atomų. Atomai turi Platono kūnų formas. Ugnies atomai – tetraedrai, vandens atomai – ikosaerdai, žemės atomai – kubai, oro atomai – oktaedrai.

Šis paskirstymas skamba gana įtikinamai. Jis turi aiškinamosios galios. Ugnies atomai turi smailas viršūnes, kuo galima paaiškinti, kodėl sąlytis su ugnimi skausmingas. Vandens atomai patys glotniausi ir apvaliausi, todėl gali sklandžiai aptekėti vienas kitą. Žemės atomai gali glaudžiai vienas prie kito priglusti ir užpildyti erdvę nepalikdami jokių tarpų. Oro, kuris gali būti ir karštas, ir drėgnas, atomai yra tarpinės formos, panašios ir į ugnies, ir į vandens atomus.

Nors 4 yra šalia 5, šie skaičiai vis tiek nėra lygūs, todėl visiško atitikmens tarp taisyklingųjų briaunainių, traktuojamų kaip atomai, ir elementų negali būti. Ne tokiam iškiliam mąstytojui ši kliūtis veikiausiai atimtų drąsą, tačiau genialiojo Platono ji nė kiek neišgąsdino. Jis priėmė ją ne tik kaip

iššūkį, bet ir kaip galimybę. Pasiūlė versiją, kad likęs taisyklingasis briaunainis, dodekaedras, taip pat figūruoja Kūrėjo konstrukcijoje, tačiau ne kaip atomas. Ne, dodekaedras – ne vien tik atomas. Jis veikiau atkartoja visatos kaip visumos formą.

Aristotelis, visada siekęs pranokti Platoną, iškėlė kitą, konservatyvesnę ir nuoseklesnę, teoriją. Dvi svarbiausios šio įtakingo filosofo idėjos skelbė, kad Mėnulis, planetos ir žvaigždės gyvena dangaus skliaute, susidedančiame iš kitokios medžiagos nei ta, iš kurios sudarytas mūsų žemiškas pasaulis, ir kad „gamta nemėgsta tuštumos“, todėl ir dangaus karalystė negalėjo likti tuščia. Vadovaujantis šių teiginių logika, turėjo egzistuoti kažkoks penktasis elementas, arba kvintesencija, kuri skiriasi nuo žemės, ugnies, vandens ir oro, kad užpildytų dangaus skliautą. Tokiu būdu dodekaedras rado sau vietą kaip kvintesencijos, arba eterio, atomas.

Šiandien sunku sutikti su bet kurios iš abiejų teorijų detalėmis. Mokslui visiškai nenaudinga analizuoti pasaulį šių keturių (arba penkių) elementų pagrindu. Šiuolaikiniu požiūriu ir atomai – visai ne kietieji kūnai, ir jiems tikrai nebūdingos Platono kūnų formos. Platono elementų teorija, žvelgiant iš dabarties, atrodo grubi ir visais atžvilgiais beviltiškai klaidinga.

STRUKTŪRA IŠ SIMETRIJOS

Vis dėlto, nors Platono vizija žlugo kaip mokslinė teorija, ji iškyla kaip sėkminga pranašystė ir, netgi drįsčiau teigti, kaip intelektinio meno kūrinys. Kad tinkamai įvertintume šias idėjas, privalome atsitraukti nuo detalių ir pažvelgti į jas kaip į visumą. Platono fizinio pasaulio vizijos giluminė esmė – šis pasaulis iš esmės įkūnija gražias idėjas. Ir šis grožis turi būti labai ypatingas: matematinio dėsningumo, idealios simetrijos grožis. Tiek Platonui, tiek Pitagorui ši nuojauta buvo tuo pačiu metu ir tikėjimas, ir aistringas troškimas, ir svarbiausias principas. Jie siekė harmonizuoti Protą su Medžiaga, įrodyti, kad Medžiaga susideda iš gryniausių Proto produktų.

Pabrėžtina, kad Platonas, iškėlęs atitinkamus teiginius apie tai, kas yra

medžiaga, pranoko visuotinai priimtą savo laikų filosofinių apibendrinimų lygį. Jo savotiškos idėjos, nors ir klaidingos, negali būti priskirtos gėdingai kategorijai „netgi ne klaidinga“. Kaip jau matėme anksčiau, Platonas net žengė keletą žingsnių link bandymų palyginti savo teoriją su tikrove. Ugnis degina, nes tetraedras turi aštrias briaunas, vanduo teka, nes ikosaedrai lengvai rieda vienas per kitą, ir pan. Platono dialoge *Timajas*, kur apie visa tai kalbama, taip pat rasite vaizdingus paaiškinimus to, ką mes vadiname cheminėmis reakcijomis ir mišinių (neelementariųjų medžiagų) savybėmis. Šie aiškinimai pagrįsti atomų geometrija. Tačiau šios vienkartinės pastangos toli gražu nesiekia to, ką galėtume neabejodami laikyti rimtu eksperimentiniu mokslinės teorijos įrodymu, jau nekalbant apie praktinį surinktų mokslinių duomenų panaudojimą.

Vis dėlto, Platono vizija tam tikrais aspektais pranoksta šiuolaikines idėjas, dabar esančias mokslinių tyrimų pažangos priešakyje.

Nors medžiagos „statybiniai blokai“, kuriuos pasiūlė Platonas, yra visai ne tie, kuriuos žinome šiandien, pati idėja, kad *egzistuoja* tik kelių rūšių tokie statybiniai elementai, turintys daugybę identiškų kopijų, išlieka fundamentali.

Net jei ir nekreipsime dėmesio į šią miglotą įkvepiančią idėją, dar konkretesnio Platono vizijos principo – *struktūros* išskyrimas iš *simetrijos* – aidas ataidi iki mūsų dienų per daugelį šimtmečių. Prisiartinome prie nedidelio skaičiaus ypatingų struktūrų grynai matematiniais sumetimais – simetrijos sumetimais – ir pateikiame juos Gamtai kaip galimus jos darinių elementus. Ta matematinės simetrijos rūšis, kurią pasitelkė Platonas sudarydamas nuosavų konstrukcinių blokų sąrašą, labai skiriasi nuo tos simetrijos, kuria naudojamės šiandien. Tačiau idėja, skelbianti, kad simetrija *sudaro* Gamtos pagrindą, pradėjo vyrauti mūsų fizinės realybės suvokime. Pritempta idėja, skelbianti, kad *simetrija diktuoja struktūrą* – kitaip tariant, kad norint sudaryti nedidelį galimų realizacijų sąrašą įmanoma taikyti aukštus matematinio tobulumo reikalavimus, o po to panaudoti šį sąrašą kaip pasaulio modelio konstravimo vadovą – tapo mūsų kelrode žvaigžde jokiame žemėlapyje nepažymėtame nežinomybės paribyje. Ši idėja savo įžūlumu beveik šventvagiška, nes skelbia, kad galime iššifruoti Meistro naudotus darbo metodus ir tiksliai išsiaiškinti, kaip viskas buvo padaryta. Ir, kaip pamatysime toliau, ji

pasirodė esanti visiškai teisinga.

Kaip žinome, fizinio pasaulio kūrėjui apibūdinti Platonas pavartojo žodį „demiurgas“. Paraidžiui jis reiškia „meistras“, nors dažniausiai verčiamas kaip „kūrėjas“. Platonas šį žodį rinkosi labai kruopščiai. Jis atspindi jo tikėjimą, kad fizinis pasaulis nėra galutinė realybė. Kad egzistuoja ir amžinas, laikui nepavaldus Idėjų pasaulis ir kad to pasaulio idėjos egzistuoja pirma ir nepriklausomai nuo būtinai netobulo savo fizinio įsikūnijimo. Neramus kūrybiškas intelektas – Meistras, arba Kūrėjas – lieja savo kūrinius iš idėjų, naudodamasis jomis kaip lekalais.

Timajų nelengva interpretuoti, ir skaitytojui gali kilti pagunda kai kuriuos neaiškumus palaikyti minties gelme. Tačiau net ir tokiu atveju faktas, kad Platonas neapsiriboja vien Platono kūnais, o svarstė, kaip atomai tokia forma, kaip fiziniai objektai, gali būti konstruojami iš primityvesnių trikampių, man atrodo įdomus ir įkvepiantis. Detalės, savaime aišku, netgi „ne klaidingos“, tačiau nuojauta vertinti šį modelį rimtai, kalbėti jo kalba ir išplėsti jo ribas giliai teisinga. Idėja, kad atomai gali turėti papildomus komponentus, numato šiuolaikinį siekį analizuoti vis giliau ir giliau. Ir idėja, kad šie papildomi komponentai įprastomis sąlygomis negali egzistuoti kaip pavieniai objektai, o gali būti randami tik kaip sudėtingesnių objektų dalys, gali būti realizuota šiandienos kvarkuose ir gliuonuose, amžiams įkalintuose atomų branduolių viduje.

Svarbiausia, kad Platono apmąstymuose rasime idėją, kuri mūsų meditacijai yra esminė – tai idėja, kad pasaulis savo gilumine sandara įkūnija grožį. Tai gyvybę įkvepianti Platono hipotezių dvasia. Jis teigia, kad pačios fundamentaliausios pasaulio struktūros dalelės – jo atomai – yra grynų idėjų, kurias be pašalinės pagalbos gali atrasti ir aiškiai suformuluoti Protas, įsikūnijimas.

PRIEMONIŲ EKONOMIJA

Grįžtant prie virusų: kur *jie* išmoko savo geometrijos?

Tai tas atvejis, kai paprastumas įgyja rafinuotą pavidalą, arba, jei kalbėsime tiksliau, kai paprastos taisyklės pagimdo akivaizdžiai sudėtingas struktūras, kurios, kiek pagalvojus, virsta tobulai paprastomis. Reikalas tas, kad virusų DNR, kurioje slypi visa informacija apie visas šių organizmų gyvybines funkcijas, yra labai riboto dydžio. Siekiant sutaupyti statybinės medžiagos kiekį jos ilgio sąskaita, verta savo produktą gaminti iš paprastų, vienodų mažų detalių, surenkamų vienodu būdu. Šią melodiją jau girdėjome: „paprastos, identiškos dalys, identiškai sujungtos“ – ir tai kaip tik nuskambėjo Platono kūnų apibrėžtyje! Dalis sukuria visumą, todėl virusui nebūtina „žinoti“ apie dodekaedrus arba ikosaedrus – pakanka tik apie trikampius, taip pat vieną ar dvejetą taisyklių, kaip juos jungti tarpusavyje. Tik itin įvairiapusiškiems, nereguliariems ir netgi iš pirmo žvilgsnio atsitiktiniams kūnams – pavyzdžiui, žmonėms – būtinos išsamesnės surinkimo instrukcijos. Kai informacija ir ištekliai riboti, simetrija atsiranda kaip numatytoji struktūra.

JAUNASIS KEPLERIS IR SFERŲ MUZIKA

Prabėgus dviem tūkstantmečiams po Platono darbų, jų įkvėptas jaunasis Johanesas Kepleris atrado savo pašaukimą. Čia centre taip pat atsidūrė skaičius 5. Kepleris, vienas iš pačių pirmųjų ir pačių aistringiausių Koperniko heliocentrinės Saulės sistemos garbintojų, pamėgino suvokti Saulės sistemos sandarą. Tuo metu buvo žinomos šešios planetos: Merkurijus, Venera, Žemė, Marsas, Jupiteris ir Saturnas. Skaičius „šeši“, kaip pamatysite toliau, yra labai arti penkių. Sutapimas? Kepleris taip nemanė. Kas galėjo būti parankiau Kūrėjui, nei galimybė kurti visatą iš idealių formų geometrinių objektų?

Kopernikas, kaip ir Ptolemėjas, savo astronominę teoriją grindė apskritiminiu judėjimu. Tai buvo dar viena grožio klaida, kuriai pritarė (ir kurią iš esmės padarė) Platonas ir Aristotelis. Tik pati tobuliausia figūra – apskritimas – gali būti verta Kūrėjo. Buvo įsivaizduojama, kad planetos laikosi ant dangaus sferų. Kopernikas ir Ptolemėjas laikėsi skirtingo požiūrio į tai, kas turi būti šių sferų centre (Saulė ar Žemė), tačiau jie abu, kaip ir jaunasis

Kepleris, laikė jų egzistavimą savaime suprantamu dalyku. Taigi, Kepleris manė, kad egzistuoja šešios didžiosios sferos, kurių centre yra Saulė. Jis paklausė savęs: kodėl jų šešios? Ir kodėl jos kaip tik tokio dydžio?

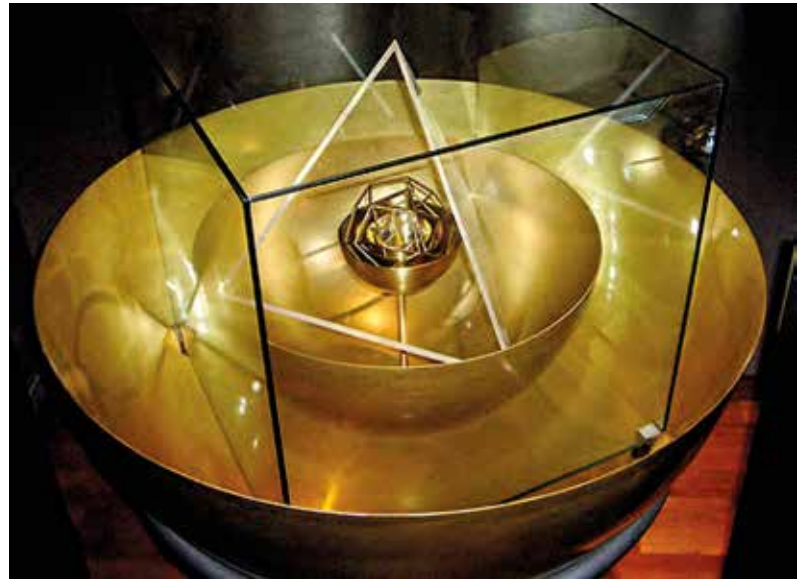
Kartą, skaitydamas įvado į astronomiją paskaitą, Kepleris išvydo atsakymą. Galima apibrėžti bet kurį Platono kūną aplink kiekvieną iš pirmųjų penkių sferų ir įkomponuoti jį į kitą. Tokiu būdu penki Platono kūnai gali tarpininkauti tarp šešių sferų! Tačiau ši sistema veiks tik tada, jeigu sferos bus atitinkamo dydžio. Tokiu būdu Kepleris galėjo numatyti santykinius atstumus tarp įvairių planetų ir Saulės. Įsitikinęs, kad jam pavyko atskleisti Dievo planą, Kepleris paskelbė apie savo atradimą entuziazmo kupinoje knygoje *Mysterium Cosmographicum (Kosmografijos paslaptis)*, kurioje gausu teiginių, panašių į šį:

> *Jaučiuosi pakerėtas ir užvaldytas neapsakomo susižavėjimo dieviškuoju dangiškosios harmonijos spektakliu.*

Arba:

> *Pats Dievas buvo toks mielas, jog ėmė tuščiai leisti laiką ir pradėjo žaisti su ženklais, siųsdamas pasauliui savo palankumo įrodymus; todėl man kilo mintis, kad visa gamta ir maloningasis dangus yra simboliškai išreikšti geometrijos mene.*

Tai išties nuostabi sistema, kurią vaizdžiai iliustruoja šis puikiai sudarytas modelis (9 pav.). Akivaizdu, kad Kepleris uždavė sau tą patį Klausimą, kurį uždavėme ir mes, ir nusprendė, jog jam pavyko į jį atsakyti. Pasaulis *tikrai* įkūnija grožį, beveik taip pat, kaip numatė Platonas. Jis pasiryžo itin smulkiai aptarti šių besisukančių sferų skleidžiamą muziką – ir parašė partitūrą!



9 PAV. PLATONO KŪNAI ĮKVĖPĖ KEPLERĮ SUKURTI ŠIAME PAVEIKSLĖLYJE PAVAIZDUOTĄ MODELĮ, ATSPINDINTĮ SAULĖS SISTEMOS DYDĮ IR FORMĄ. PLANETOS JUDA KARTU SU BESISUKANČIOMIS DANGIŠKOMIS SFEROMIS, O INTERVALUS TARP JŲ VALDO PLATONO KŪNŲ PAVIRŠIAI, ĮSITERPĘ TARP SFERŲ KAIP PASTOLIAI.

Keplerio entuziazmas padėjo jam keliauti per gyvenimą, kupiną tiek asmeninių, tiek profesinių negandų. Jis gyveno šalia siautulingų politinių ir religinių karų verpetų, kurie nusirito per Vidurio Europą po Reformacijos. Jo motina buvo apkaltinta raganavimu. Ir jo sąžiningas uolus triūsas, pagrįstas jo paties atradimais stengiantis tiksliai apibūdinti planetų judėjimą, baigėsi jaunystės svajonių žlugimu. Juk planetos brėžia ne apskritimus, o elipses (Pirmasis Keplerio dėsnis), o Saulė yra ne elipsės centre (specialistams: viename jos židinyje, kuris visoms planetoms yra bendras). Galų gale, brandesniame ir tikslesniame Keplerio Gamtos atvaizde būta ir gilesnių grožybių, tačiau jos labai skyrėsi nuo jo jaunystės svajonių, o ir pačiam autoriui neteko jų išvysti savo akimis.

ILIUSTRACIJA E. SALVADORO DALÍ PAVEIKSLE *PASKUTINĖ VAKARIENĖ* RITUALAS VYKSTA DODEKAEDRO VIDUJE.

GILIOS TIESOS

Didysis danų fizikas ir filosofas Nilsas Boras (1885 – 1962), vienas iš kvantinės teorijos pradininkų ir papildomumo principo, kurį aiškinsimės vėliau šioje knygoje, autorius, buvo susižavėjęs idėja, kurią pavadino „gili tiesa“. Ji iliustruoja Liudvigo Vitgešnteino (Ludwig Wittgenstein) teiginį, kad visa filosofija gali (o veikiausiai ir turi) būti perteikiama juokaujama forma.

Pasak Boro, eilinius teiginius išsekina jų tiesioginė prasmė, o teisingo teiginio priešybė dažniausiai yra melagingas teiginys. Tačiau gilūs teiginiai turi po paviršiumi paslėptą prasmę. Galite atpažinti gilią tiesą iš jai būdingo bruožo – gilios tiesos priešprieša taip pat yra gili tiesa. Šia prasme blaivi išvada, skelbianti, kad „pasaulis, deja, nėra sutvarkytas pagal matematinius principus, kaip manė Platonas“, išreiškia gilią tiesą. Nors, žinoma, ją išreiškia ir priešingas teiginys:

Pasaulis sutvarkytas pagal matematinius principus, kaip spėjo Platonas.

DALÍ *PASKUTINĖ VAKARIENĖ*

Manau, kad šį mūsų apmąstymų skyrių tinka užbaigti moderniojo meno kūriniu, kuriame tarsi skamba jo svarbiausios temos.

Spalvotoje iliustracijoje E puikuojasi Salvadoro Dalí šedevras *Paskutinė vakarienė*, apimantis daugybę slaptų geometrinių temų. Pati keisčiausia ir labiausiai stulbinanti iš jų – keletas didelių, tačiau neišbaigtų penkiakampių, grėsmingai dunksančių virš pavaizduotos scenos. Atrodo aišku, kad jie visi turi susieiti į dodekaedrą, kuris aprėpia ne tik vakarieniautojus, bet ir žiūrovą. Ir tuo mums tarsi leidžiama suprasti, jog turime prisiminti Platono idėją, kad ši forma įrėmina visatą.

PLATONAS II

IŠSILAISVINIMAS IŠ OLOS

Mūsų Klausimas apie grožį iš dalies priklauso nuo ryšio tarp fizinės realybės ir to, kaip šią realybę suvokiame. Jau aptarėme, kaip veikia klausa, o vėliau pakalbėsime ir apie regą.

Tačiau į šį Klausimą galima pažvelgti ir kitu – santykio tarp fizinės realybės ir aukščiausiosios realybės – aspektu. Arba, jeigu aukščiausios realybės idėja verčia jus jaustis nejaukiai (ir tai savaime suprantama), tada verčiau aptarkime tik bendras perspektyvas – kaip siejame giluminę fizinės tikrovės prigimtį su savo viltimis ir svajonėmis. Ką visa tai reiškia, jeigu iš viso tai ką nors reiškia? Jeigu pakylame virš eilinio suvokimo lygio, šie klausimai – svarbiausi pasaulio grožio priėmimo (arba atmetimo) elementai.

Platonas labai seniai pateikė kai kuriuos atsakymus į šiuos klausimus. Jo atsakymai veikiau buvo pagrįsti mistine nuojauta ir abejotina logika, nei mokslu. Vis dėlto, jie tapo ir tebėra daugelio mokslinių darbų įkvėpimo šaltinis. Dar turėsime ne vieną progą vėl pažvelgti į juos. Jie daro didžiulę įtaką ne tik mokslui, bet ir filosofijai, menui, religijai. Alfredas Northas

Whiteheadas (Nortas Vaithedas) rašė:

> *Pats patikimiausias bendras Europos filosofinės tradicijos apibūdinimas – ją sudaro serija išnašų, skirtų Platonui.*

Taigi, aplankykime Platono olą, kurioje rasime mistinį jo pasaulėžiūros branduolį, slypintį mistiškuose paveiksluose.

OLOS ALEGORIJA

Platono *Olos alegorij*a pateikta pačiame reikšmingiausiame jo darbe *Valstybė*.

Jis įdėjo ją, kaip ir daugelį kitų savo minčių, į Sokrato, jo garbinamo mokytojo, lūpas. Sokratas pasakoja apie Olą Glaukonui, vyresniajam Platono broliui, kuris taip pat buvo vienas iš Sokrato mokinių. Ši scena ir joje dalyvaujančių veikėjų sudėtis pabrėžia ypatingą Olos svarbą Platono samprotavimuose.

Štai kaip Sokratas pristato olą Glaukonui:

> **Sokratas:** „Dabar palygink mūsų žmogiškąją prigimtį išprusimo ir neišprusimo atžvilgiu su štai kokia būsena. Įsivaizduok žmones olą primenančiame požeminiame būste. Per įėjimą į olą plačiai krinta šviesa. Tų žmonių kojos ir kaklas iš pat mažens surakinti grandinėmis, todėl jie negali pasijudinti iš vietos ar pasukti galvos į šalį ir visą laiką mato tik tai, kas yra priešais juos. Užpakalyje jų toli aukštumoje dega liepsna, ir jos šviesa patenka į olą. Tarp liepsnos ir kalinių aukštai eina kelias; palei tą kelią įsivaizduok nedidelę sienelę, panašią į fokusininkų priešais publiką pastatytą užtvarą, virš kurios jie rodo savo stebuklus.“
> **Glaukonas:** „Įsivaizduoju.“
> **Sokratas:** „Įsivaizduok, kad už šios sienelės žmonės neša visokius daiktus, kyšančius virš sienelės, – žmonių ir gyvulių akmenines ir medines statulas ir kitokius daiktus. Vieni nešdami kalbasi, kiti tyli.“
> **Glaukonas:** „Keistas vaizdas ir keisti kaliniai!“
> **Sokratas:** „Jie panašūs į mus.“

Esmė paprasta ir aiški: kaliniai mato tik tikrovės projekciją, o ne pačią tikrovę. Jie atpažįsta tik projekciją, todėl laiko ją savaime suprantamu dalyku. Tai jų pasaulis. Tačiau mes neturėtume jaustis viršesni už šiuos tamsybėje tūnančius kalinius, nes mūsų pačių padėtis, anot Sokrato (kitaip tariant, Platono) niekuo nesiskiria. Žodžiai „jie panašūs į mus“ nugriaudžia tarsi perkūnas.

Žinoma, pasakojimas apie olą *neįrodo* tokios padėties – tai, galų gale, tik istorija. Tačiau ji priverčia mus susimąstyti apie logišką galimybę, kad tikrovė yra kažkas daugiau, nei galime pajausti savo juslėmis. Ir ši itin prieštaringa istorija meta mums iššūkius: „Nepaisyk apribojimų“, „Ieškok būdų pažvelgti į daiktus ir reiškinius iš skirtingų pusių“, „Abejok savo juslėmis“, „Nepasikliauk autoritetais“.

Platono tikrovės vizija, slypinti už pasaulio regimybių, puikiai perteikta spalvotoje iliustracijoje F, kurioje atvaizduota kosminė Olos versija (76 p.).

Turiu pažymėti, kad Platonas, kaip politiškas mąstytojas, buvo utopinis reakcionierius. Jis nemanė, kad šios nusistovėjusią tvarką griaunančios idėjos turi būti visuotinai priimtos. Jo raginimas mąstyti laisvamaniškai nėra rekomendacija, skirta visiems. Tai tik patarimas mažai grupei rinktinių sergėtojų, kurie turi būti filosofai, atsakingi už pasaulio valdymą. Veikiausiai savo darbus jis ir skyrė šiems rinktiniams skaitytojams!

AMŽINYBĖS VIZIJA. SĄSTINGIO PARADOKSAS

Platono vizija, kurioje pasaulio tikrovė suvokiama kaip regimybė, sujungia du minties srautus. Į vieną iš jų, į pitagorininkų „visi daiktai yra skaičiai“, jau niurktelėjome. Kaip jau matėme, keletas gražių atradimų suteikia šiai

ILIUSTRACIJA F. NORINČIUOSIUS PAŽINTI TIKROVĖS ESMĘ PLATONAS RAGINA PAŽVELGTI UŽ REGIMŲJŲ REIŠKINIŲ RIBŲ.

pasaulėžiūrai tam tikrą pagrindą. Platono atomų teorija, kurią aptarėme ankstesniame skyriuje, buvo dar vienas bandymas tokia pačia dvasia (kuriam trūko tik įrodymų ar tikslumo).

Antrasis srautas, vertinant šiuolaikiškai, buvo iš tikrųjų filosofinis. Tai dalis *metafizikos*, arba to, kas yra „už fizikos“. (Šio žodžio kilmė įdomi. Kai buvo surinkti Aristotelio darbai, tos knygos, kurios ėjo po *Fizikos*, graikiškai buvo apibūdintos τὰ μετὰ τὰ φυσικά („tai, kas eina po fizikos“), turint omenyje jų seką. Pagrindinė šių knygų tema – pirminiai būties principai. Metafizikoje tokios temos, kaip būtis, erdvė, laikas, pažinumas ir tapatybė, nagrinėjamos ne eksperimentuojant ir stebint, o remiantis gryna argumentacija, kaip matematikoje. Šie įmantrūs, nors ir migloti intelektiniai ieškojimai ir buvo praminti metafizika.)

Štai ištrauka tipiškų metafizinių samprotavimų, priklausančių Parmenidui ir aprašytų žymaus XX a. filosofo ir matematiko Bertrano Raselo. Joje aiškinama, kodėl niekas niekada nesikeičia (!):

> *Kai mąstai, mąstai apie kažką; kai vartoji vardą, tai turi būti kažkieno vardas. Todėl tiek minčiai, tiek kalbai reikalingi už jų ribų esantys objektai. O kadangi tu gali mąstyti apie daiktą ir kalbėti apie jį tik tam tikru metu, viskas, apie ką galima mąstyti arba kalbėti, turi egzistuoti visais laikais. Todėl niekas negali keistis, nes kitimas neatsiejamas nuo daiktų, kurie atsiranda arba liaujasi egzistavę.*

Nepaisant šios neįveikiamos logikos, psichologiškai ne itin paprasta įtikinti save, kad niekas niekada nesikeičia. Jeigu kitimas – iliuzija, ji ganėtinai įtikinama.

Pavyzdžiui, viskas atrodo taip, tarsi daiktai judėtų. Pirmas žingsnis įveikiant šią iliuziją – atmesti naivų tikėjimą regimybėmis. Parmenido mokinys Zenonas Elėjietis buvo tokios ardomosios veiklos meistras. Jis išrado keturis paradoksus, turėjusius parodyti, kad naivi judėjimo idėja yra beviltiškai supainiota.

Pats žinomiausias iš jų – Achilo ir vėžlio paradoksas. Achilas, Homero apdainuotas *Ilijados* herojus, buvo žinomas kaip karys, garsėjęs ne tik nepaprasta jėga, bet ir gebėjimu greitai bėgti. Mums siūloma įsivaizduoti lenk-

tynes tarp Achilo ir paprasto vėžlio – kad vaizdinys atrodytų konkretesnis, kaip pavyzdį panagrinėkime 50 jardų (4,572 m) nuotolį. Vėžliui suteikiamas dešimties jardų pranašumas. Galima tikėtis, kad Achilas tikrai nugalės. „Netiesa!“ – sako Zenonas. Jis teigia, kad norėdamas aplenkti vėžlį Achilas turi iš pradžių jį pavyti. O tai didelė problema – iš tikrųjų, tai be galo didelė problema. Tarkime, kad vėžlys startuoja iš taško *A*. Achilas nubėgs iki taško *A*, bet, kol jis tai padarys, vėžlys jau bus pasiekęs tašką *A'*. Tada Achilas pasieks tašką *A'*, tačiau vėžlys jau bus atsidūręs taške *A"*. Matote, į kur tai veda? Kad ir kiek kartotume šią procedūrą, Achilas niekada iš tikrųjų nepavytų vėžlio.

Judėjimo neigimas, kurį siūlo Parmenidas, gali sujaukti protą. Tačiau dar blogiau, įrodinėja Zenonas, jį priimti. Tai ne sujaukia protą, o veda prie tikros beprotybės.

Bertranas Raselas parašė apie Zenoną tokius žodžius:

> *Jis sugalvojo keturis argumentus, kurie visi – be galo subtilūs ir giliaminčiai, tačiau dėl vėlesnių filosofų paviršutiniškumo jis buvo traktuojamas tik kaip sumanus apgavikas, o jo argumentai visi iki vieno paskelbti sofizmais. Po dviejų tūkstantmečių nuolatinio neigimo šie sofizmai buvo reabilituoti ir tapo matematikos renesanso pagrindu.*

Iš tikrųjų, kaip pamatysime kiek vėliau, fizikinis atsakymas Zenonui radosi tik kartu su Niutono mechanika ir joje įkūnyta matematika.

Šiandien, remiantis kvantine teorija, atrodo, įmanoma sutikti su Parmenidu, tačiau tuo pačiu pripažįstant ir regimybes. Kitimas iš tiesų gali būti tik regimybė. Šį šokiruojantį teiginį pagrįsiu mūsų meditacijos pabaigoje.

Tačiau kol kas pratęskime šį pasakojimą ir grįžkime prie istorinės įvykių eigos.

IDEALAS

Pagal Platono Idealų teoriją šios dvi srovės – Pitagoro harmonijos ir tobulumo suvokimas ir Parmenido nekintama tikrovė – teka drauge. (Platono teoriją visuotinai priimta vadinti idėjų teorija, tačiau manau, kad „idealas“

labiau tinka tam, ką Platonas turėjo omenyje, todėl vartosiu šį žodį.)

Idealai – tobuli objektai, o realūs objektai – tai jų netobulos kopijos. Taigi, pavyzdžiui, egzistuoja Ideali katė. Tikrieji gyvūnai – tai katės tokiu mastu, kokiu joms būdingos šios Idealios katės savybės. Savaime aišku, kad Ideali katė niekada nenugaišta ir niekada nė kiek nesikeičia. Ši teorija įkūnija Parmenido metafiziką: egzistuoja idealų pasaulis, giliausias tikrovės sluoksnis, kuris yra amžinas ir nekintamas ir kuris teikia šaltinį visko, ką galime įvardyti arba apie ką galime kalbėti. Ir jis sukurtas pagal Pitagorą: operuodami matematinėmis sąvokomis, kaip antai skaičiais arba Platono kūnais, užmezgame glaudų ryšį su šiuo amžinų, tobulų idealų pasauliu.

Egzistuoja trečias, „požeminis“, srautas, kuris taip pat neabejotinai įsilieja į Idealų teoriją. Tai orfizmo* kulto srautas. Galima tvirtinti, kad tai – rimtas graikų mitologijos aspektas. Orfizmo elementai, susiję su slaptais ritualais, pranyko istorijos miglose (tokia visų paslapčių lemtis!), ir čia jie neturėtų mūsų jaudinti. Tačiau pats svarbiausias šio kulto ypatumas – sielos nemirtingumo doktrina, kuri turėjo (ir, žinoma, vis dar turi) tauraus emocinio žavesio. Štai kaip šią doktriną apibūdina *Wikipedia*:

> *Žmogaus siela yra dieviška ir nemirtinga, tačiau pasmerkta (tam tikrą laiką) ištverti einančių vienas paskui kitą kūniškų gyvenimų „sielvartingą ciklą“ per metempsichozę, arba reinkarnaciją.*

Šios idėjos grakščiai įsilieja į Idealų teoriją. Kiekvienas mūsų iš prigimties yra susijęs su Idealų pasauliu. Ta mūsų dalis, kuri su juo sąveikauja, yra mūsų siela, ir ji amžina. Kol gyvename Žemėje, mūsų dėmesį yra užvaldžiusios regimybės, ir jeigu neperžengiame jų ribų, galime tik miglotai suvokti Idealus, ir mūsų siela snaudžia. Tačiau, pasitelkdami filosofiją, matematiką ir tinkamą dozę misticizmo (paslaptingas orfizmo ceremonijas), galime ją pažadinti. Ola egzistuoja, tačiau egzistuoja ir išėjimas iš jos.

---

* Filosofinė religinė doktrina, susiformavusi Trakijoje, Graikijoje, VIII a. pr. Kr., klestėjusi VI a. pr. Kr.; jos pradininku laikomas mitinis asmuo Orfėjas. Orfizmas, susijęs su mistiniu Dioniso ir Orfėjo kultu, skelbia žmogaus prigimties dualizmą (kovą gėrio su blogiu ir nemirtingos sielos siekį išsivaduoti iš kūno pančių), akcentuoja pomirtinį gyvenimą ir metempsichozę (reinkarnaciją). *Red. pastaba*.

IŠSILAISVINIMAS

Platonas taip apibūdina išsilaisvinimo procesą:

Sokratas: „<...> pažiūrėk, kas būtų, jeigu juos išlaisvintų iš grandinių ir pagydytų nuo tos beprotybės, jeigu viskas vyktų natūraliai. Jei vienas iš jų būtų išlaisvintas ir būtų priverstas atsistoti, sukinėti galvą ir vaikščioti, visa tai jam sukeltų skausmą, ir šviesos apakintas jis negalėtų matyti tų daiktų, kurių šešėlius matė iki tol. Kaip manai, ką jis pasakytų, jei kas jam primintų, kad iki šiol jis matydavo tik niekus, o dabar yra daug arčiau tikrovės ir regi daug tikresnius dalykus, ir, rodydamas jam kiekvieną pranešamą daiktą, priverstų jį atsakyti, kas tai per daiktas? Ar manai, kad jis nesutriktų ir anksčiau matytų daiktų nelaikytų tikresniais už dabar rodomus?“

Glaukonas: „Jam jie atrodytų realesni.“

Sokratas: „Jeigu norėtų matyti, kas ten, viršuje, jis, manau, pirmiausia turėtų priprasti. Iš pradžių jam būtų lengviausia matyti šešėlius, paskui – žmonių ir daiktų atspindžius vandenyje, o vėliau jau ir pačius daiktus, be to, jam būtų lengviau naktį pamatyti žvaigždes ir mėnulį danguje, netgi patį dangų, negu dienos metu – saulę ir jos šviesą.“

Glaukonas: „Be abejo.“

Pažymėtina, kad Platonas (per Sokratą) apibūdina išsilaisvinimą kaip aktyvų procesą, mokymosi procesą, į kurį būtina įsitraukti su didele atodaira. Toks požiūris gerokai skiriasi nuo žymiai populiaresnių, nors, mano nuomone, kur kas mažiau įkvepiančių idėjų, pagal kurias išganymas pasiekiamas per išorinę malonę arba atsižadėjimą.

Jeigu išsilaisvinimas pasiekiamas per įsitraukimą į paslėptą realybę, kaip galime jį pasiekti? Štai čia yra du keliai, vidinis ir išorinis.

Keliaudami vidiniu keliu, kritiškai įvertiname savo idėjas ir mėginame nukrapštyti nuo jų tuščios regimybės apnašas, kad pasiektume jų idealią reikšmę (kitaip tariant, Idealą). Tai filosofinis ir metafizinis kelias.

Eidami išoriniu keliu, kritiškai žvelgiame į regimybes ir mėginame nugrandyti nuo jų komplikacijas, kad prisikastume iki jose slypinčios esmės. Tai mokslo ir fizikos kelias. Kaip ir tikėjomės ir kaip pamatysime vėliau, išorinis kelias iš tiesų veda į išsilaisvinimą.

IŠSIVADAVIMAS NUO PROJEKCIJOS: ŽVELGIMAS Į PRIEKĮ

Esminė Platono nuojauta buvo tiksli – iš tikrųjų ji buvo žymiai tikslesnė, nei jam tuo metu atrodė. Mūsų natūraliai įgyta pasaulėžiūra – tik miglota projekcija tokio pasaulio, koks jis iš tikrųjų yra.

Mūsų netobulos juslės priima tik menką dalelę pavyzdžių iš pasaulio mums siūlomo gausybės rago sklindančios informacijos. Naudodamiesi mikroskopu galime prasiskverbti į mikrokosmoso pasaulį, kupiną mažyčių keistų būtybių, kurių vienos mums draugiškos, o kitos – priešiškos. Materijos viduje egzistuoja dar daugiau mums svetimų elementų, veikiančių pagal keistas kvantinės mechanikos taisykles. Naudodamiesi lęšiniais teleskopais, atrandame didžiules kosmoso erdves, šalia kurių Žemė panaši į nykštuką, ir aptinkame jose neaprėpiamas tamsias, (iš pažiūros) tuščias erdves, nubarstytas milijardais milijardų įvairių saulių ir planetų. O naudodamiesi radijo imtuvais galime „pamatyti“ nematomas erdvę užpildžiusias spinduliuotes ir priversti jas mums tarnauti. Ir taip toliau...

Tai, kas tinka mūsų juslėms, pasakytina ir apie mūsų sąmonę. Nelavinama ir be pašalinės pagalbos, ji negali teisingai įvertinti mums pažįstamos tikrovės turtingumo, jau nekalbant apie tą tikrovę, kurios dar nepažįstame – apie nežinomą nežinomybę. Lankome mokyklą, skaitome knygas, naršome po internetą, naudojamės sparčiąja atmintimi, kompiuterių programomis ir kitais įrankiais, kurie padeda mums tvarkytis su sudėtingomis idėjomis, išspręsti visatą valdančias lygtis ir vizualizuoti jų padarinius.

Ši pagalba juslėms ir vaizduotei atveria suvokimo duris, leisdama mums ištrūkti iš Olos.

POSŪKIS Į ATOTRŪKĮ NUO GYVENIMO

Tačiau Platonas, nieko nežinodamas apie tokią ateitį, pabrėžė vidinio kelio svarbą. Čia jis paaiškina, kodėl:

Sokratas: „Dangaus skliauto puošmenomis reikia naudotis kaip pavyzdžiais, kad pažintume tai, kas nematoma, panašiai kaip radus puikiai nupieštus ir užbaigtus Dedalo ar kurio kito meistro ar dailininko kūrinius. Koks nors geometrijos žinovas pamatęs juos pripažintų, jog jie puikiai sukurti, bet jam atrodytų juokinga tyrinėti juos rimtai, kad juose surastų tikrą lygybę, dvigubumą ar kokius nors kitus santykius."

Glaukonas: „Tikrai būtų juokinga!"

Sokratas: „Ar manai, kad tikras astronomas, žiūrėdamas į žvaigždžių judėjimą, nebūtų įsitikinęs tuo pačiu? Argi jis nemanytų, kad dangaus ir žvaigždžių kūrėjas dangų ir jame esančias žvaigždes sukūrė kuo geriausiai, bet dėl santykių tarp dienos ir nakties, paros ir mėnesio, mėnesio ir metų, žvaigždžių ir visų šių dalykų bei vienų žvaigždžių su kitomis argi jam neatrodytų kvaila manyti, kad visi tie dalykai visada vyksta vienodai ir nepatiria jokių nukrypimų, nors jie yra kūnai ir matomi, ir visokiais būdais ieškoti juose tiesos?"

Glaukonas: „Tavęs paklausius, ir man taip atrodo."

Sokratas: „Taigi, astronomiją – kaip ir geometriją – tyrinėsime keldami problemas, bet paliksime nuošalyje dangaus reiškinius, jeigu iš tikrųjų užsiimdami šiuo mokslu norėsime protingąjį sielos pradą, kuris iki šiol buvo nenaudingas, padaryti naudingą."

Galime apibendrinti šį vienašalį dialogą žodžiu „nelygybė". Jis tiesiog patvirtina, kad realybė neprilygsta idealui. Realybė yra žymiai mažiau:

Realu < Idealu

Meistras, kuriantis fizinį pasaulį iš idealų pasaulio – tai menininkas, ir, beje, puikus menininkas. Kita vertus, Meistras – tai netalentingas kopijuotojas, kurio kūriniai atspindi jam prieinamų medžiagų maišalynę. Meistras tapo plačiu teptuku ir sulieja detales. Fizinis pasaulis – tai nevisavertis amžinos tikrovės, kurios turime siekti, atvaizdas.

Kitaip tariant, Platonas rekomenduoja nusigręžti nuo pasaulio. Jeigu tavo teorijos gražios, tačiau nevisiškai sutampa su stebėjimais – ką gi, tuo blogiau stebėjimams.

DVI ASTRONOMIJOS RŪŠYS

Kodėl Platonas, ieškodamas galutinės tiesos, pasuko nuo fizinio pasaulio į vidų? Be abejonės, viena iš svarbiausių priežasčių buvo ta, kad jis pernelyg mylėjo savo teorijas ir negalėjo susitaikyti su jų galimu žlugimu. Ši paprasta žmogiška silpnybė vis dar tarpsta mumyse – ji plačiai paplitusi politikoje, įprasta sociologijoje ir netgi jokia retenybė fizikoje.

Tačiau pačiu svarbiausiu jo samprotavimų šaltiniu tapo Gamtos tyrinėjimai, ypač – astronomija, tema, apie kurią užsimenama anksčiau pateiktame dialoge.

Turėti tikslų kalendorių antikinio pasaulio valstybėms, kurių ekonomika buvo grindžiama žemės ūkiu, o ypač toms, kurios turėdavo kliautis drėkinimo sistemomis, buvo labai svarbu. Taip pat kalendorius buvo svarbus, ir ne atsitiktinai, religiniams tikslams, nes ritualai būdavo atliekami tam tikru konkrečiu laiku, kad dievai užtikrintų palankias sąlygas per sėją ir pjūtį. Visiems šiems dalykams buvo būtina astronomija. Be jos neišsiversdavo ir astrologai, mėgindavę išpranašauti žmonių ir pasaulio likimą. Senovės babiloniečiai buvo ypač gerai įgudę nuspėti įvairius astronominius įvykius. Jie mokėjo apskaičiuoti Saulės padėties pokyčius per saulėtekį ir saulėlydį, pavasario ir rudens lygiadienius, per saulėgrąžą, numatyti Mėnulio ir Saulės užtemimus. Jų metodas buvo paprastas ir veik nepriklausė nuo teorijos. Jie sukaupė šimtmečius trukusių kruopščių stebėjimų rezultatus, atkreipė dė-

mesį į dangaus kūnų elgesio dėsningumus (periodiškumą) ir ekstrapoliavo šiuos dėsningumus į ateitį. Kitaip tariant, jie darė prielaidą, kad dangaus kūnų elgesio ateities ciklai atkartos jų ankstesnį elgesį, nes tokie pasikartojimai buvo periodiškai stebimi praeityje. „Dideli duomenys“ šiandien išgyvena klestėjimo laikotarpį, tačiau šios koncepcijos šaknys siekia gilią praeitį – nes, iš esmės, tai senovės Babilonijos astronomų sugalvotas metodas.

Tais laikais, kai rašė Platonas, babiloniečių darbai buvo įžengę į klestėjimo stadiją, ir labai tikėtina, kad jo žinios apie juos buvo ganėtinai miglotos. Bet kuriuo atveju jų „aukštyn kylančios“ analizės, pagrįstos duomenų pertekliumi ir menku teoriniu išmanymu, principas radikaliai skyrėsi nuo Platono tikslų ir metodų.

Platonui, kaip jau matėme, visų svarbiausia buvo žmogaus siela – jos kelias į išmintį, tyrumą ir transcendentinį idealą. Taigi, kuriant planetų judėjimo teoriją visų svarbiausia, kad ši teorija būtų graži, nors ir nevisiškai tiksli. Svarbiausias tikslas – identifikuoti Idealus, kurie įkvėpė Meistrą. Kompromisai, kurių jis nepajėgė išvengti dėl statybinės medžiagos netobulumo – tai jau antraeilis dalykas.

Svarbiausi, o tuo pačiu ir patys paprasčiausi astronominio periodiškumo pavyzdžiai – tai reguliari dienos ir nakties bei metų laikų kaita, priklausoma nuo danguje stebimo žvaigždžių judėjimo ir Saulės padėties kitimo. Šiandien suprantame, kad šie ciklai susiję su 24 valandas trunkančiu Žemės apsisukimu aplink savo ašį ir 365 dienų trukmės jos apskriejimu aplink Saulę. Abu judėjimai labai artimi apskritiminiam judėjimui pastoviu greičiu, todėl stebimi reiškiniai gali būti apibūdinti (su nuostabia aproksimacija) pasitelkus ypač gražią teoriją, kuri skamba taip:

Pati tobuliausia geometrinė figūra – apskritimas. Ši uždara kreivė, kurios visi taškai vienodai nutolę nuo centro, išsiskiria iš kitų geometrinių figūrų. Bet kurios kitos figūros pavienės dalys gali skirtis viena nuo kitos, todėl tokia figūra, žvelgiant iš tam tikrų taškų, neatrodys nei proporcinga, nei graži. Taip pat ir pats tobuliausias judėjimas yra apskritiminis judėjimas pastoviu greičiu. Be to, apskritiminis judėjimas pastoviu greičiu gali būti tiek nekintamas, kiek apskritai judėjimas gali būti pastovus, nes jis kiekvieną momentą įgauna vieną ir tą pačią formą. Iš šių samprotavimų, pagrįstų principu „iš viršaus į apačią“, galime padaryti išvadą, kad judėjimo Idealas –

tai apskritiminis judėjimas pastoviuoju greičiu. O žvelgdami į dangų aptinkame, kad derindami du tokius idealius judėjimus, galime ganėtinai tiksliai apibūdinti regimąjį Saulės ir žvaigždžių judėjimą.

Iš pirmo žvilgsnio tai – stulbinama sėkmė. Gautas rezultatas visiškai atitinka Pitagoro, aptikusio fiziniame pasaulyje egzistuojančius slaptus skaitmeninius ir geometrinius santykius, atradimų dvasią. Didingumu ir taurumu jis pranoksta ankstesnius atradimus, nes Saulė ir žvaigždės sklinda tiesiai iš Meistro rankų, tuo tarpu paprasti mirtingieji meistrai kuria muzikos instrumentus.

Deja, vos pamėginę peržengti šio pirmojo atradimo ribas, iš karto susiduriame su begale keblumų. Pasirodo, kad regimą planetų ir Mėnulio judėjimą apibūdinti žymiai sunkiau. Jeigu remsimės metodu „iš viršaus į apačią“, regimybes turėsime traktuoti idealaus judėjimo požiūriu (t. y. pagal tolygų apskritiminį judėjimą). Matematinės krypties astronomai į šią problemą reagavo hipotetine prielaida, kad apskritiminės planetų trajektorijos taip pat juda apskritiminėmis trajektorijomis. Ši sistema vis dar atrodė netobula, todėl jie įvedinėjo naujus apskritiminius judėjimus į apskritiminių orbitų apskritimines trajektorijas. Turint pakankamą kiekį tokių sumaniai vienas prie kito priderintų ciklų, buvo galima atkurti regimybes. Tačiau tokiose sudėtingose, aiškiai dirbtinėse sistemose būdavo prarandama pradinė tyrumo ir grožio perspektyva. Pavykdavo gauti arba grožį, arba tiesą, tačiau ne viena ir kita drauge.

Platonas atkakliai siekė grožio ir buvo dėl jo pasiryžęs kompromisui tikslumo atžvilgiu – o kalbant dar tiksliau – visiškai šio atsisakyti. Ši panieka faktams, pridengta išdidumo skraiste, išduoda giluminę savikliovos stoką ir tam tikrą išsekimą. Tai troškimo gauti viską iš karto atsisakymas, sutuokiant grožį su tikslumu, Realybę su Idealu. Platonas parodė tą nežemišką kelią, o jo mokiniai nukeliavo juo dar toliau. Turint omenyje tai, kad pasaulyje tuo metu vyko karai, viešpatavo skurdas, ligos ir artėjo klasikinės graikų civilizacijos žlugimas, nežemiško gyvenimo potraukį tais tamsiais laikais nesunku pateisinti.

Aristotelis, Platono įpėdinis ir varžovas, tam tikrais atžvilgiais buvo labiau atsidavęs Gamtos mokinys. Jis su savo mokiniais rinko biologinius pavyzdžius, akylai stebėjo įvairius gamtos reiškinius, sąžiningai ir išsamiai

fiksavo šių stebėjimų rezultatus. Deja, nuo pat pradžių sutelkę dėmesį į labai sudėtingus objektus ir problemas, Aristotelis ir jo mokiniai pražiūrėjo skaidrų geometrijos ir astronomijos paprastumą. Jie neieškojo ir net nesitikėjo rasti matematinių idealų tarp šių išsiraičiusių Tikrovės šakų. Ypač daug dėmesio jie skyrė medžiagos aprašymui ir organizacijai, nesistengdami siekti nei grožio, nei tobulumo. Atsigręžę į fiziką ir astronomiją Aristotelio sekėjai lygiai taip pat apribojo savo siekius. Vėlesni (ir ankstesni) mokslininkai reikalaudavo tikslių lygčių, o jie tenkindavosi aptakiais žodiniais apibūdinimais.

OBJEKTYVUS SUBJEKTYVUMAS: PROJEKCINĖ GEOMETRIJA

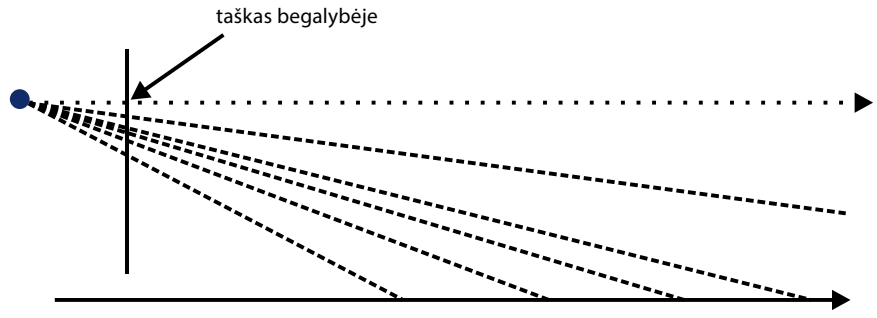
Kai po daugelio šimtmečių išaušo Renesanso epocha, naujai kuriama kultūra vėl atrado Platoną. Ji priėmė pastarojo paliktą priesaką ieškoti Idealo, tačiau atmetė jo nežemiškumą.

Iš prastuomenės kilę dailininkai ir meistrai patraukė šiuo keliu. Iššūkis, kurį jie priėmė, buvo elementarus: kaip dvimačiame paveiksle atvaizduoti objektų geometriją trimatėje erdvėje? Tai buvo konkreti, praktinė užduotis. Tais laikais, kai fotografija dar neegzistavo, įspūdingais privačiais turtais disponavę mecenatai norėdavo turėti paveikslus, galėjusius papasakoti būsimoms kartoms, kaip iš tikrųjų atrodė jie ir jų turtai.

Iš pirmo žvilgsnio gali pasirodyti, kad tai neturi nieko bendra su Platono troškimu prasiskverbti pro paviršinę daiktų regimybę į už jos slypintį gilesnį realybės sluoksnį. Tačiau viso meninės perspektyvos meno paskirtis ir yra teisingai perteikti paviršinę regimybę!

Vis dėlto, idėja, kad daiktų regimybės įvaldymas priartina mus prie jų esmės, turi tam tikros prasmės. Suvokdami, kad viena ir ta pati vieta gali atrodyti skirtingai priklausomai nuo taško, iš kurio ji stebima, mokomės atskirti atsitiktinumus, kurie priklauso nuo stebėjimo vietos, nuo paties stebimo daikto savybių. Traktuodami subjektyvumą objektyviai, mes jį įvaldome.

Tačiau pakaks samprotauti bendrybėmis. Jau patys pirmieji žingsniai šiame darbe atskleidžia keletą nuostabių staigmenų. Supaprastinkime problemą iki jos plikos esmės, atvaizduodami drobės ir kraštovaizdžio skerspjūvį taip, kad jie atrodytų kaip tiesės (žr. 10 pav.).



10 PAV. TAŠKAI IŠILGAI HORIZONTALIOS LINIJOS (GRINDŲ) PROJEKTUOJAMI TIESĖS SEGMENTE IŠILGAI VERTIKALIOS LINIJOS (DROBĖS). HORIZONTALI LINIJA BEGALINĖ, KO NEĮMANOMA PASIEKTI TIKROVĖJE, VIS DĖLTO PROJEKTUOJAMA Į REALŲ, BAIGTINĮ „BEGALYBĖS TAŠKĄ“ DROBĖJE.

Taškai ant mūsų maksimaliai supaprastinto peizažo – horizontalios plokštumos, kuri susiveda į liniją skerspjūvyje – projektuoja žiūrovui šviesą išilgai tiesių. Šios tiesės paveikslėlyje parodytos brūkšninėmis linijomis. Judėdami šiomis tiesėmis iki jų sankirtos su drobe (kurios skerspjūvis parodytas kaip vertikali vientisoji linija) nustatysime, kur skirtingi kraštovaizdžio taškai atsiras paveiksle.

Kaip matote, toliau esantys taškai drobėje projektuojami aukščiau pagal vertikalę. Tačiau atidžiau pažvelgę į vis labiau ir labiau tolstančius kraštovaizdžio taškus pamatysime, kad intervalai tarp šių vertikaliai drobėje išsidėsčiusių taškų mažėja. Juos jungiantys šviesos spinduliai artėja prie horizontalios ribos, kuri paveikslėlyje pavaizduota kaip taškinė linija. Ši linija nėra susijusi su jokia faktine kraštovaizdžio vieta – ir vis dėlto tam tikrame taške ji kerta drobę.

Tiesiai prieš mūsų akis įvyko konceptualus stebuklas: sugavome amžinybę! Žvelgdami į kraštovaizdį matome, kad egzistuoja horizontas. Horizontas nėra fizinis objektas, tai – abstrakcija. Jis simbolizuoja mūsų regėjimo ribą ir yra nutolęs nuo mūsų begaliniu atstumu. Vis dėlto, horizonto atvaizdas drobėje neabejotinai tikras. Tai unikalus, ypatingas taškas – taškas begalybėje.

Dar daugiau stebuklų išvysime ir drobę, ir joje esantį kraštovaizdį (tiek plokštumą, tiek lygumą) sugrąžinę į dviejų matmenų erdvę. Kad būtų paprasčiau, tarkime, kad ir drobė, ir lyguma yra statmenos viena kitos atžvilgiu.

Dabar turime įsivaizduoti kraštovaizdyje daug tiesių. Kiekviena jų nusidriekia iki horizonto ir kiekviena jų projektuoja drobėje atitinkamą tašką begalybėje. Vis dėlto, galima pastebėti, kad lygiagrečios linijos plokštumoje sueina į vieną tašką horizonto linijoje. Tai vaizdžiai parodyta 11 pav.

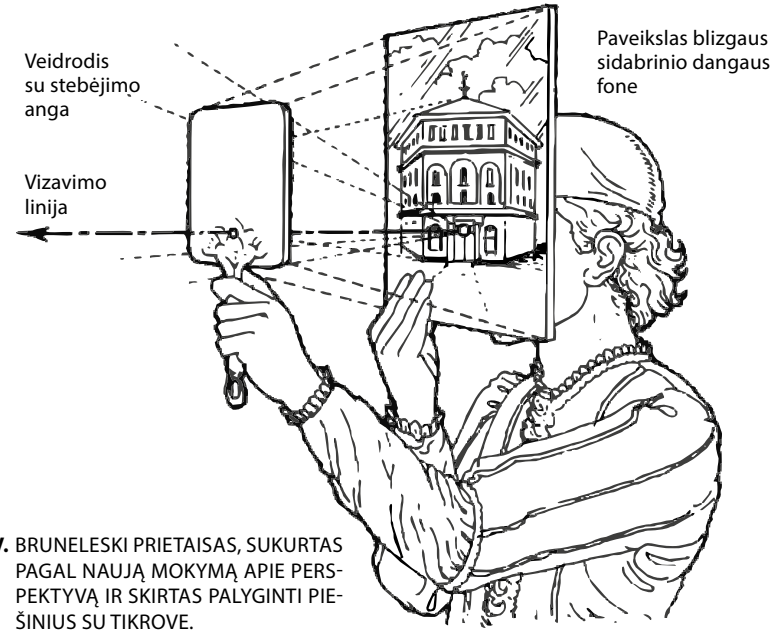
11 PAV. LYGIAGRETĖS SUSIBĖGA HORIZONTE Į VIENĄ „IŠNYKIMO TAŠKĄ“. VOS ATKREIPĘ DĖMESĮ Į ŠĮ REIŠKINĮ PRADĖSITE JĮ PASTEBĖTI VISUR APLINK SAVE.

Šį tašką vadiname lygiagrečių šeimos „išnykimo tašku“. Jeigu kalbėsime drobei apibūdinti tinkama kalba, galime teigti, kad *lygiagrečios linijos susitinka begalybės taške*.

Čia mistinė poezija virsta paprastu meninės realybės aprašymu.

Skirtingos lygiagrečių šeimos susilieja skirtinguose „išnykimo taškuose“, kurie visi kartu apibrėžia horizontą. Suprojektuotas į drobę, horizontas sudaro horizontalią liniją, kuri perteikia jį kaip taškų begalybėje rinkinį. Kitaip tariant, konceptualusis horizontas projektuojamas į drobę kaip reali linija begalybėje.

Šie ir kiti į juos panašūs atradimai tapo įkvėpimo ir džiaugsmo šaltiniu Bruneleski, vienam iš pirmųjų Renesanso epochos dailininkų, mokslininkų ir inžinierių. Šias įžvalgas jis pavertė galinga realistinio piešimo technika. Vienam žinomam eksperimentui jis pritaikė projekcinę geometriją, kad sukurtų tikslų Šv. Jono baptisterijos Florencijoje atvaizdą, rodantį, kaip šis pastatas atrodytų, jeigu į jį žvelgtume nuo įėjimo į gretimą katedrą, kuri tuo metu dar tik buvo statoma. Kaip parodyta 12 pav., jis padarė taip, kad



12 PAV. BRUNELESKI PRIETAISAS, SUKURTAS PAGAL NAUJĄ MOKYMĄ APIE PERSPEKTYVĄ IR SKIRTAS PALYGINTI PIEŠINIUS SU TIKROVE.

ILIUSTRACIJA G. PERSPEKTYVOS PAJAUTOS DŽIAUGSMAS PIETRO PERUDŽINO PAVEIKSLE *KRISTUS ĮTEIKIA RAKTUS ŠV. PETRUI*.

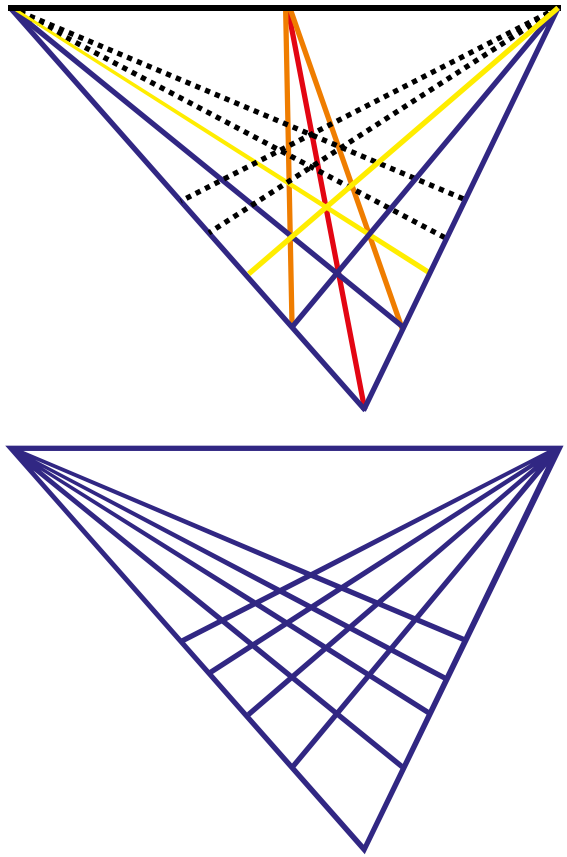
žiūrovas galėtų palyginti piešinį su tikrąja baptisterija, kurios atspindys buvo matomas veidrodyje. Tikrojo objekto atvaizdas atsiranda veidrodį patraukus į šalį, o stebėtojui piešinyje paliekama nedidelė skylė.

Ši originali demonstracija padarė milžinišką įspūdį tuomečiams dailininkams – jie entuziastingai priėmė Bruneleski techniką ir energingai suskato ją tobulinti. Neilgai trukus džiaugsmingas perspektyvos triumfas padovanojo pasauliui tokius šedevrus, kaip antai Pietro Perudžino *Kristus įteikia raktus šv. Petrui* (žr. spalvotą iliustraciją G). Čia perspektyva atlieka svarbų vaidmenį, suteikdama paveikslui ypatingos tvarkos, harmonijos ir itin reikšmingo katalikų bažnyčiai įvykio iškilmingumo pojūtį. Ši freska yra Siksto koplyčioje Vatikane.

Nėra geresnio būdo suprasti atradusio perspektyvą ir su ja eksperimentuojančio menininko džiaugsmą, nei jį išgyventi kartu su juo viename iš pačių paprasčiausių kūrinių. Spalvotoje iliustracijoje H parodžiau, kaip vyksta procesas, kuriuo sekdami – perteikdami tikslią perspektyvą – galite nupiešti grindis, padalytas į kvadratus, kurie, matomi tiek iš priekio, tiek iš viršaus, driekiasi iki begalinio horizonto. Viskas, ko jums reikia – tai pieštukas, patikros liniuotė ir trintukas. („Patikros liniuotė“ – terminas, reiškiantis „liniuotė be ilgio vienetų padalų“. Žinoma, tiks ir paprasta liniuotė – tiesiog nekreipkite dėmesio į padalas!)

Konstravimo procesas parodytas viršutinėje spalvotos iliustracijos dalyje. Iš pradžių nubrėžiama juodos spalvos linija – tai horizontas. Pradedame nuo vieno apatinio kvadrato mėlynomis kraštinėmis. Žinoma, jis neatrodo kvadratinis, nes žiūrime į grindis įstrižai. Pratęstos priešingos „kvadrato“ kraštinės susitinka horizonto linijoje, išnykimo taškuose. Šios kraštinių tąsos taip pat mėlynos spalvos. Kitaip tariant, štai nuo ko pradedame: viena grindų plytelė ir horizontas. Sunkiausia nupiešti visus kitus vienodus grindų dangos kvadratus taip, kaip jie turėtų atrodyti žiūrovui tikrovėje (perspektyvoje).

Svarbiausias pastebėjimas šioje vietoje – kvadratų įstrižainės taip pat sudaro lygiagrečių linijų šeimą. Ši šeima taip pat susieina horizonte, savame išnykimo taške. Kad nustatytume išnykimo taško vietą, jau egzistuojančio kvadrato įstrižainę galime pratęsti raudona spalva. O po to grįšime atgal nuo išnykimo taško, brėždami naujas linijas oranžine spalva ir taip pažymėdami



ILIUSTRACIJA H. GRAŽI GEOMETRINĖ KONSTRUKCIJA KAIP PERSPEKTYVINIO PIEŠINIO PAGRINDAS.

gretimų kvadratų įstrižaines! Nustatę šių įstrižainių padėtį pamatysime, kad oranžinių ir mėlynų linijų sankirtos – tai gretimų kvadratų viršūnės. Geltonos linijos, nubrėžtos per šias viršūnes ir atitinkamus išnykimo taškus, tokiu būdu sudarys tų kvadratų kraštines. Dabar galime tęsti: geltonų „kraštinių“ sankirtos su oranžinėmis „įstrižainėmis“ – tai naujų kvadratų viršūnės... Šį užsiėmimą galima tęsti iki begalybės, kol prarasite kantrybę ar kol atbuks jūsų pieštukas – arba kol jūsų kvadratai susitrauks iki atomo dydžio.

Kad užbaigtumėte šį darinį, galite tiesiog ištrinti įstrižaines ir (jeigu jums patinka) nuspalvinti visas linijas vienoda spalva, kaip ir apatiniame piešinyje. Sumažinimas dėl perspektyvos šiame paveikslėlyje didžiulis, tarsi žiūrėtume į grindis skruzdėliuko akimis – iš labai arti ir iš labai mažo aukščio. Jis leidžia geriau pamatyti, kaip gali skirtis savo išvaizda vienodos figūros, kaip antai kvadratai. Žinoma, galite paimti knygą ir apžiūrėti paveikslėlį skirtingais rakursais – pamatysite skirtingus regimuosius kvadratų dydžius, tačiau sankirtų tinklelis visada išliks vienodas.

Esu sudaręs šį darinį daugybę kartų, bet išvydęs šias iš kvadratinių plytelių sudėliotas grindis kiekvienąkart vis dar pajuntu jaudulį. Tai mažytis, tačiau tikras kūrybinis aktas.

Patiriu tuos pačius jausmus, kuriais mėgaujasi bet kuris Meistras.

Pajutau, kad šių esminių perspektyvos idėjų įvertinimas atvėrė man akis. O formuluojant mintį tiksliau, šios idėjos dar labiau suartino mano akis su mano vidine sąmone. Dažnai (ypač miesto aplinkoje) atrandu daugybę rinkinių (fiziškai) lygiagrečių linijų, subėgančių tolyje į skirtingus išnykimo taškus. Kai esu šiems dalykams pasirengęs, mano patirtis prasiplečia ir tampa gyvesnė. Viliuosi, kad panašius jausmus patirsite ir jūs. Pasitelkdami išlavintą vaizduotę, peržengsime neišlavintų juslių olos ribas.

PERSPEKTYVOS KLAUSIMAI: RELIATYVUMAS, SIMETRIJA, INVARIANTIŠKUMAS, PAPILDOMUMAS

Daugelis esminių šiuolaikinės fundamentinės fizikos idėjų didžiumai žmonių visiškai nežinomos. Pristatytos fragmentiškai, ištrauktos iš jų natūraliai

aplinkai būdingo konteksto, jos gali pasirodyti jiems abstrakčios ir grėsmingos. Dėl šios priežasties tie iš mūsų, kurie mėgina pristatyti šias idėjas plačiajai auditorijai, dažnai pasitelkia į pagalbą metaforas ir analogijas. Surasti metaforas, kurios tiktų originalioms idėjoms ir būtų lengvai suvokiamos – užduotis ne iš lengvųjų. Dar sunkiau padaryti tai tokiu būdu, kad būtų galima spręsti apie jų grožį. Per daugelį metų man teko ne kartą susigrumti su šia problema, ir dabar su džiaugsmu pristatau sprendimą, kuris suteikė man tikro pasitenkinimo jausmą.

- *Projekcinė geometrija*. Tai meninis Renesanso epochos išradimas, kuris apima ne tik metaforas, bet ir tikrus didžių, nuostabių ir nepaprastai vaisingų idėjų *modelius*.
- *Reliatyvumas* – tai idėja, skelbianti, kad vienas ir tas pats objektas gali būti tiksliai ir be jokių nuostolių atvaizduotas daugybe skirtingų būdų. Šiuo atžvilgiu reliatyvumas – tai projekcinės geometrijos esmė. Galime nupiešti vieną ir tą pačia sceną pačiais įvairiausiais rakursais. Kiekvienu atveju skirtingai išdėstysime dažus drobėje, tačiau skirtingi paveikslai perteiks tą pačią informaciją apie tą patį objektą, tik ji bus kitaip užkoduota.
- *Simetrija* – tai idėja, glaudžiai susijusi su reliatyvumu, tačiau dėmesys čia labiau sutelkiamas į objektą, o ne į stebėtoją. Pavyzdžiui, jeigu piešiamą objektą sukame, tada bet kuriuo atitinkamu rakursu jis atrodys vis kitaip. Tačiau jo projekcinis apibūdinimas, kitaip tariant, visuma vaizdų, matomų visais įmanomais rakursais, išliks tokia pati (nes dailininkai gali perkelti savo molbertus į kitą vietą, kad kompensuotų sukimąsi). Apibendrintai galima teigti, kad objekto sukimas – tai jo projekcinio apibūdinimo *simetrija*. Sukdami galime pakeisti objektą nekeisdami jo projekcinio apibūdinimo. Kaip dar ne kartą pabrėšime tolesniuose šios knygos puslapiuose, *pokytis be pokyčio* – tai simetrijos esmė.
- *Invariantiškumas* – tai reliatyvumo priešybė. Daugelis objekto aspektų keičiant perspektyvą gali būti atvaizduojami skirtingai, tačiau kai kurios savybės išlieka bendros žvelgiant į jį bet kuriuo rakursu. Pavyzdžiui, objekto tiesės bet kokiu rakursu visada atrodys kaip

tiesės (nors jų kryptis ir padėtis drobėje keisis). Ir jeigu objekte susikerta trys tiesės, jų atvaizdai žvelgiant iš bet kurios perspektyvos susitiks viename taške. Visiems vaizdams bendros savybės vadinamos *invariantiškomis*. Invariantiškos savybės nepaprastai svarbios, nes nulemia tas objekto savybes, kurios išlieka bet kurioje perspektyvoje.
- *Papildomumas* – tai reliatyvumo sustiprinimas. Tai vienas iš giluminių kvantinės teorijos principų, tačiau jo, kaip būdo prasiskverbti į daiktų prigimtį, svarba peržengia fizikos ribas. (Manau, kad papildomumas – tai tikras metafizinis praregėjimas, kuris išties labai retas.)
  - Pačiu paprasčiausiu lygmeniu papildomumas reiškia, kad gali egzistuoti daugybė skirtingų požiūrių į objektą, kurie iš principo lygiaverčiai, tačiau tam, kad galėtumėte objektą stebėti (arba jį nupiešti ar apibūdinti), turite pasirinkti kažkurį konkretų iš jų.
  - Jeigu tai būtų visa papildomumo esmė, jis būtų tik nereikšmingas reliatyvumo papildas. Kvantinės teorijos atskleistas naujoviškumas skelbia, kad, apskritai kalbant, dviem kvantiniams portretininkams būtų *neįmanoma* nupiešti vieną ir tą patį objektą vienu ir tuo pat metu skirtingais rakursais. Nes kvantiniame pasaulyje turime atsižvelgti į tai, kad stebėjimas – tai aktyvus procesas, per kurį sąveikaujame su stebimu objektu.
  - Pamėginkime, pavyzdžiui, pamatyti elektroną. Kad mums tai pavyktų, turime jį apšviesti arba apšvitinti rentgeno spinduliais. Tačiau šviesa perduoda elektronui energiją ir impulsą, tad atitinkamai gali pakeisti jo padėtį, kurią kaip tik ir ketinome nustatyti!
  - Ėmęsi atitinkamų atsargumo priemonių ir kiek pasikrapštę su elektronu, galime atlikti savo matavimus taip, kad gautume tam tikrus teisingos informacijos aspektus apie mūsų tiriamą objektą. Tačiau kitus aspektus teks paaukoti, nes jie bus sunaikinti stebėjimo procese. Atlikę kitus parengiamuosius darbus ir ėmęsi kitų atsargumo priemonių, galėsime dar kartą pasirinkti

tarp to, ką stebėti, ir to, ką paaukoti, tačiau neišvengsime būtinybės rinktis. Vaizduodami kvantinį pasaulį, turime pasirinkti vieną iš visų galimų perspektyvų ir dirbti siekdami jos. Jeigu kitas tapytojas taip pat dirba apdorodamas mūsų elektroną taip, kaip jam patinka, siekdamas savo tikslų, jis iškreips mūsų viziją ir sugriaus mūsų piešinį, o mes sunaikinsime jo piešinį.

- Stiprioji papildomumo forma, perkelianti jį už reliatyvumo ribų, skamba taip: egzistuoja daugybė vienodai patikimų požiūrių į vieną ir tą patį objektą – juos galima pavadinti perspektyvomis plačiąja šio žodžio prasme – tačiau tarpusavyje jie nesuderinami. Kvantiniame pasaulyje tuo pačiu metu galime realizuoti tik vieną perspektyvą. Kvantinis kubizmas negali egzistuoti.

Šios didžios idėjos – reliatyvumas, simetrija, invariantiškumas, papildomumas – sudaro šiuolaikinės fizikos esmę. Jos taip pat turėtų tapti svarbiausia šiuolaikinės filosofijos ir religijos tema, nors kol kas taip nėra. Visame šiame kontekste jos kartais apsireiškia keistomis ir abstrakčiomis formomis, kurios gali išmušti iš vėžių. Jeigu taip nutinka, pagalvokite apie nuostabią priemonę – mintimis grįžkite prie projekcinės geometrijos, kur vėl galėsite pamatyti jas, įkūnytas materialiuose, meniškai gražiuose vaizduose.

NIUTONAS I

METODAS IR BEPROTYBĖ

Klasikinė mokslo revoliucija buvo ne pavienis istorinis įvykis, o įvykių prisodrintas laikotarpis, trukęs apytiksliai nuo XVI a. vidurio iki XVIII a. pradžios. Jis pasižymėjo stulbinama pažanga daugelyje sričių, o labiausiai – fizikoje, matematikoje ir astronomijoje. Renesanso menininkų-inžinierių, kaip antai Filipo Bruneleski ir Leonardo da Vinči, energija, smalsumas ir išradingumas išpranašavo jos dvasią, tačiau pačiu svarbiausiu jos dokumentu įprasta laikyti Mikalojaus Koperniko knygą *De Revolutionibus Orbium Coelestium (Apie dangaus sferų sukimąsi)*. Šiame darbe Kopernikas iškėlė svarius astronominių stebėjimų matematine analize pagrįstus argumentus, kad Žemė – ne visatos centras, o aplink Saulę besisukantis palydovas. Šią išvadą daugelis laikė prieštaraujančia sveikam protui, jau nekalbant apie bažnyčios kosmologines doktrinas, kurios buvo stipriai veikiamos Platono ir Aristotelio idėjų. Tačiau nuo matematikos niekur nepasislėpsi. Galiausiai triumfavo radikalūs mąstytojai, kurie, užuot stengęsi apriboti jos

įtaką, nusprendė remtis jos tikslumu. Revoliucinių Galilėjaus, Keplerio ir Dekarto darbų pasiekė kulminacija tapo Izaoko Niutono sintezė – intelektinis singuliarumas, į kurį sutelkta ši mūsų meditacijos dalis.

ANALIZĖ IR SINTEZĖ

Atmetus daugybę konkrečių atradimų, mokslinė revoliucija buvo ambicijų revoliucija ir, jeigu įsigilinsime į jos esmę, *skonio* revoliucija. Naujųjų mąstytojų netenkino apibendrintas tikrovės aprašymas iš paukščio skrydžio Aristotelio stiliumi. Nors ir gerbdami paukščius, jie teigė, kad ne mažesnės pagarbos nusipelno ir požiūris iš skruzdėlės perspektyvos. Mokslininkai daugiau nesiekė atmesti jokių detalių trokšdami pritaikyti tam tikrą aukštesniojo proto požiūrį, kaip tai darė Platonas. Jie reikalavo stebėjimo, matavimo ir tikslaus apibūdinimo pasitelkus geometriją, lygtis ir, kai tik įmanoma, sistemingai taikant matematiką.

Štai kaip Niutonas atskleidžia naujo požiūrio esmę:

> *Kaip matematikoje, taip ir gamtos filosofijoje sunkių klausimų nagrinėjimas taikant Analizės metodą turi visada eiti pirma Komponavimo metodo <...> Tokiu būdu galime pereiti nuo sudėtingų dalykų prie pavienių dalių ir nuo judėjimo prie jį sukėlusių jėgų; ir, apskritai tariant, nuo padarinių prie priežasčių <...> O Sintezė – tai prielaida, kad priežastys buvo aptiktos ir nustatytos kaip principai, kuriais aiškinami iš jų išplaukiantys reiškiniai ir patvirtinami paaiškinimai.*

Panagrinėkime šią galingą metodo formuluotę išsamiau ir praplėskime jos kontekstą.

REIKALAUJAMA TIKSLUMO

Skruzdėlei tenka rūpintis tuo, kaip nuodugniai išstudijuoti konkrečios vietovės topografiją, tuo tarpu paukščiai gali laisvi nardyti po faktiškai atvirą erdvę. Į dangų spoksanti skruzdėlė atsitrenks į gulinčią ant kelio kliūtį arba įkris į duobę, o paukštis, gilindamasis į žemės paviršiaus detales, galiausiai įsirėš į uolą. Lygiai taip pat egzistuoja ir įtampa tarp *tikslumo* ir *ambicingumo* tikslų – viena vertus, sakyti tik tiesą, kita vertus, tiesiog būtina pakalbėti apie daug ką.

Anksčiau aptarėme Platono pasirinkimą: atsisakyti tikslumo ir visas jėgas skirti ambicijų patenkinimui. Jam tai buvo sąmoningas sprendimas, paskatintas vilties pasitelkus intelektines ir dvasines galias atrasti geresnį pasaulį, kurio netobula kopija yra mūsų tikrovė. Pitagoras atrado nuostabius, tačiau subjektyviai suvokiamus, o dėl to stokojančius tikslumo, muzikinės harmonijos dėsnius. Panašu, kad astronomijoje, kaip jau aptarėme anksčiau, buvo užkoduoti aiškūs, bet ne itin tikslūs dėsniai. Tik pačios matematikos – mūsų lango į Idealų pasaulį – dėsniai, Platono požiūriu, galėjo būti vienu metu ir aiškūs, ir visuomet teisingi.

Ši įtampa tarp Realaus ir Idealaus pasiekė G. Orwello (D. Orvelo) „dvejamintės“* lygį Izaoko Niutono pirmtako Johaneso Keplerio darbuose. Jau esame užsiminę apie Keplerio jaunatvišką susižavėjimą Saulės sistemos modeliu, pagrįstu Platono kūnais. Nors tiek pat (kitaip tariant, visiškai) klaidinga, Keplerio koncepcija moksliniu požiūriu pasiekė aukštesnį lygį, nei Platono samprotavimai veikale *Timajas*. Nes Kepleris, ne taip kaip Platonas, mėgina mąstyti tiksliai ir konkrečiai. Merkurijaus sfera palaiko apibrėžtą aplink ją oktaedrą, kuris įrėžtas į Veneros sferą. Toliau dar turime ikosaedrą, dodekaedrą, tetraedrą ir kubą, atitinkamai interpoliuotus tarp Veneros ir Žemės, Žemės ir Marso, Marso ir Jupiterio, o galiausiai – tarp Jupiterio ir Saturno. Ši schema teikia konkrečias skaitmenines prognozes apie planetų orbitų santykinius dydžius, kurias Kepleris lygino su jų stebimosiomis vertėmis. Dermė tarp jų nebuvo tiksli, tačiau pakankamai artima, kad įtikintų

* G. Orwelo (1903 – 1950) romane *1984-ieji* pavartotas naujadaras. *Red. pastaba*.

Keplerį pasirinkus teisingą kelią. Pajutęs įkvėpimą, jis drąsiai ėmėsi gludinti savo modelį ir lyginti jį su tikslesniais duomenimis, kad aiškiau išryškintų sferų muziką.

Tokiu būdu Keplerio modelis tapo jo legendinės astronomo karjeros pradžia. Atlikęs kruopščius skaičiavimus, jis atrado dėsningumus planetų orbitose – savo įžymųjį trejetą planetų judėjimo dėsnių, kurie iš tiesų buvo tikslūs. Keplerio planetų judėjimo dėsniai atliko svarbų vaidmenį Niutono dangaus mechanikoje – tą aptarsime skyriuje *Niutonas III*.

Kepleris mėgavosi ir pagrįstai didžiavosi šiais savo atradimais, nors jie, deja, ardė jo paties gražios dangaus sferų sistemos pagrindą, palaikomą Platono kūnų. Siekdamas atiduoti duoklę rafinuotai tiksliems Tycho Brahės stebėjimams, Kepleris atrado, kad Marso orbita ne apskritimo, o elipsės formos. Sudie, dangiškosios sferos!

Pats Kepleris savo darbais sugriovė savojo modelio konceptualųjį pagrindą, ir šio modelio apytikris suderinamumas su stebėjimų rezultatais neatlaikė išbandymo tikslesniais duomenimis. Tačiau Kepleris niekada neapleido savo idealiosios sistemos. Vėliau, 1621 m., jis parengė papildytą *Kosmografijos paslapčių* leidimą. Jame teisingi dėsniai pateikiami išnašose, kurios „pasikasa“ po tekstu kaip šalta kryžminė apklausa, demaskuojanti pernelyg fantazuoti linkusį liudytoją. Simbolis ar modelis? Ambicijos ar tikslumas? Atsisakęs rinktis, Kepleris vėl pasidavė Platono gundymui iškelti savo teorinį Idealą virš jam prieštaraujančios tikrovės.

Niutonui toks atotrūkis buvo lemtingas. Tikrovės neapibūdinančios teorijos jam buvo tik hipotezės anapus priimtinumo ribų:

> *Viskas, kas išvedama ne iš reiškinių, turi būti vadinama hipoteze; ir hipotezėms, tiek metafizinėms, tiek fizinėms, tiek pagrįstoms okultinėmis, tiek mechaninėmis savybėmis, eksperimentinėje filosofijoje nėra vietos.*

Apibūdinimas, kurį pateikia teorija, taip pat turi būti tikslus. Mokslo istorikas ir filosofas Alexandre'as Koyre (Aleksandras Koirė) laikė šį *standartų sugriežtinimą* pačiu revoliucingiausiu Niutono laimėjimu, tapusiu mokslinės revoliucijos kertiniu akmeniu:

> *Kad būtų padarytas galas „daugmaž“ pasauliui, privalumų ir juslinio suvokimo bei mūsų kasdienio gyvenimo vertinimų pasauliui, ir kad jo vietą užimtų (Archimedo) preciziškumo, tikslių matavimų ir griežto apibrėžtumo visata.*

Pasiekti šiuos aukštus realizmo ir tikslumo standartus nelengva! Platonas skelbė, kad jie vienas kitą paneigia, tad praktiškai netgi Kepleris turėdavo tenkintis arba vienu, arba kitu. Šviesai ir mechanikai skirtuose savo darbuose Niutonas parodė, kad šiuos standartus *galima* pasiekti – ir tuo būdu sukūrė modelius, kurie buvo tokie puikūs teoriniu požiūriu, jog mes, jo sekėjai, iki šiol semiamės iš jų įkvėpimo. Norint prisitaikyti prie šių standartų, būtina suvaldyti savo pirmalaikes ambicijas, ir Niutonas tą pripažino:

> *Paaiškinti visą gamtą – pernelyg sunki užduotis ne tik bet kuriam žmogui, bet ir bet kuriai pavienei epochai <...> Žymiai geriau padaryti mažai, tačiau tinkamai, o visa kita palikti tiems, kurie ateis po mūsų, nei aiškinti visus reiškinius spėliojant, nebūnant galutinai įsitikinus savo teisumu.*

AMBICIJOS PUOSELĖJIMAS

Ir vis dėlto pats Niutonas buvo be galo ambicingas. Jo smalsumas nusidriekė įvairiomis kryptimis, ir daugybėje jo užrašų galima aptikti hipotezių, aprėpiančių begalę pasaulyje egzistuojančių dalykų. Skaityti Niutoną – tai įkvepianti ir tuo pačiu metu alinanti veikla, nes idėjos – ryškios ir sąmojingos – lekia virtine. Jis išsamiai stebėjo, kaip vyksta fermentacijos procesai, kaip susitraukia raumenys, domėjosi medžiagų virsmais, aprašytais senoviniuose alchemikų tekstuose ir tuomečiuose chemijos vadovėliuose.

Savo ambicingumą ir tikslumo siekį Niutonas stengėsi suderinti dvejetu

pagrindinių būdų. Vienas jų buvo protinio darbo metodas, kitas – pristatymo triukas.

Man patinka galvoti apie jo *metodą* kaip apie atrankos procesą – tam tikrą darvinistinę kovą dėl išlikimo idėjų pasaulyje. Niutonas visada stengėsi „įdarbinti“ savo spėliones, išvesdamas iš jų rezultatus, kuriuos galėdavo palyginti su savo stebėjimais. Kai kurios jų šį išbandymą ištverdavo arba palikdavo gyvybingų palikuonių, tuo tarpu kitos žlugdavo.

Niutono užrašuose labai daug idėjų, kurios baigėsi šnipštu ir niekada nebuvo paskelbtos. Garsus Niutono pareiškimas –

> *Nežinau, kaip mane įvertins pasaulis, tačiau aš save matau kaip vaiką, kuris, žaisdamas su draugais pajūryje, rado gražiau nugludintų nei kiti akmenėlių ir margesnių geldelių, o neaprėpiamas tiesos vandenynas, nusidriekęs prieš mane, liko neištirtas –*

dažnai laikomas jam būdingo kuklumo įrodymu. Man taip neatrodo. Niutonas nebuvo kuklus. Jis buvo doras. Tik jis vienintelis žinojo, kiek daug neišgvildentų idėjų paliko ant savo stalo.

Kiti Niutono spėjimai išliko, tačiau nesuvešėjo tiek, kad atitiktų jo deklaruotus standartus. Juos jis slapta ištraukdavo į dienos šviesą pasitelkdamas vieną triuką.

Šis Niutono *triukas* pavergia savo skaidrumu. Jis tiesiog deda klaustuką kiekvieno tokio teiginio gale. Tokiu būdu savo hipotetinius teiginius jis paverčia klausimais. Paskutinis Niutono mokslinis darbas – tai faktiškai iš 31 klausimo sudarytas klausimynas, papildantis paskutinį jo veikalo *Opticks (Optika)* leidimą.

Iš pradžių klausimai trumpi, provokuojantys, dažniausiai formuluojami su neiginiu. Štai pirmasis iš jų:

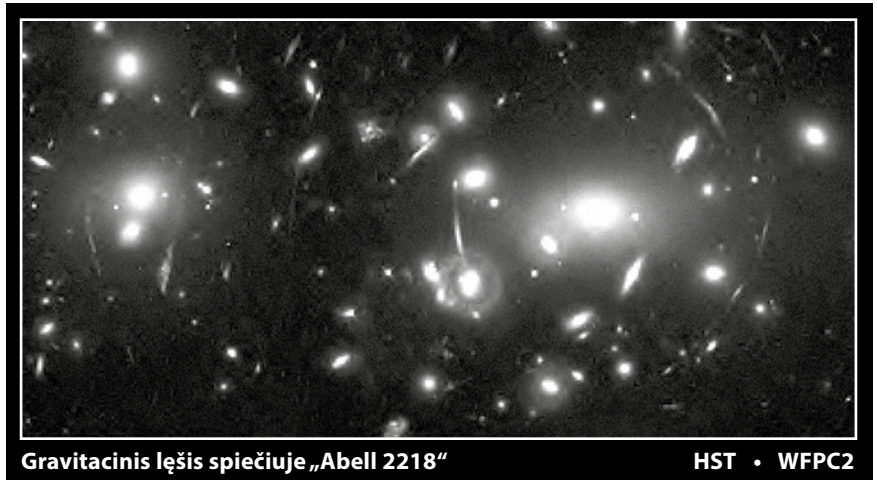
> *Ar neveikia kūnai šviesos per atstumą ir ar jie, taip veikdami, nedeformuoja jos spindulių; ir ar nebus šis veiksmas stipriausias esant mažiausiam atstumui?*

Šis klausimas, kaip ir daugelis kitų, iš tikrųjų buvo tyrinėjimų tema. Ir, kaip ir daugelis kitų, jis pasirodė esąs ganėtinai vaisingas. Galime įžvelgti jame prielaidą, kad iš Saulės ir tolimų galaktikų sklindantys šviesos spinduliai išlinksta, t. y. svarbaus XX a. fizikų atradimo prielaidą.

Nors neatrodo, kad jis pats būtų smulkiai išnagrinėjęs šią problemą, nesunku pritaikyti šviesai Niutono suformuluotą visuotinės traukos dėsnį – laikyti, kad ji sudaryta iš materialiųjų dalelių, kaip visada teigė Niutonas. Pagal šią idėją šviesos dalelių orbitos sutaps su planetų orbitomis ir skries tuo pačiu greičiu. (Gravitacijos jėga proporcinga masei, o apskritai jėga yra lygi masei, padaugintai iš pagreičio. Taigi skaičiuojant pagreitį dėl traukos jėgos į masę neatsižvelgiama.) Niutonas žinojo apie Olės Riomerio (Ole Rømer) astronominį šviesos greičio nustatymą ir juo rėmėsi veikale *Optika*, kuriame teigia, kad šviesos kelionė nuo Saulės iki Žemės trunka nuo septynių iki aštuonių minučių. Vadinasi, Niutonas galėjo įvertinti, kiek Saulė savo trauka gali deformuoti šviesos spindulį. Tai labai silpnas poveikis, kuriam išmatuoti Niutono laikais dar nebuvo sukurta tinkamų priemonių. Einšteinas apskaičiavo Saulės šviesos spindulių išlinkimą – iš pradžių tik apytiksliai, kaip kad būtų galėjęs apskaičiuoti Niutonas, o vėliau, 1915 m., pasitelkęs savo naują bendrojo reliatyvumo teoriją, kuria remdamasis gavo du kartus didesnį rezultatą. Jo prognozes patikrino tarptautinė ekspedicija per 1919 m. Saulės užtemimą, kai pavyko nustatyti šalia Saulės disko esančių žvaigždžių padėčių iškraipymus. Šios ekspedicijos, apvainikavusios įprastų europietiškų vertybių sugrįžimą po Pirmojo pasaulinio karo, sėkmė tapo sensacija ir išgarsino Einšteiną visame pasaulyje.

Žymiai didesnė masės ir atstumo įtaka tolimų galaktikų šviesai sklindant pro kitas, arčiau mūsų esančias, galaktikas – dėl to susidaro įspūdingi gravitaciniai lęšiai. Tolimų galaktikų vaizdas kartais iškraipomas iš jų sklindančiai šviesai keliaujant per tarpžvaigždinės medžiagos gravitacinius laukus. Panašiai atrodo šiaudas, kurio atvaizdas lūžta, kai į jį žiūrima per vandenį. Pavyzdžiui, 13 pav. parodyti skliautai – tai iškreiptas labai tolimo galaktikų spiečiaus vaizdas. Šios galaktikos yra 5 – 10 kartų toliau nei gravitacinio lęšio reiškinį sukėlęs spiečius.

Niutonui tikrai būtų patikęs toks kosminis jo pirmojo klausimo pagrįstumo įrodymas!



13 PAV. KŪNŲ GRAVITACINIAI LAUKAI PRIVERČIA ŠVIESĄ IŠSILENKTI, SUKURDAMI KOSMINIUS LĘŠIUS. ŠIOJE NUOTRAUKOJE GALITE PAMATYTI SMARKIAI IŠKRAIPYTUS GALAKTIKŲ ATVAIZDUS, PRIMENANČIUS SKLIAUTINIUS KUOKŠTELIUS.

ŽVALGYKIMĖS VISUR

Vėlesni klausimai sukelia vis platesnio masto diskusijas, kol paskutiniame 31 klausime klaustukas jau tik numanomas. Čia regime pačią didingiausią Niutono hipotezę ir jo paskutiniuosius žodžius apie šviesą ir Gamtą:

> *Ir kiek galėsime pasitelkę gamtos filosofiją pažinti, kas yra pirminė priežastis, kokia jos galia mums ir kokią naudą ji mums gali duoti, tiek mums bus aiški Gamtos šviesoje mūsų pareiga jai ir vienas kitam. Nėra jokių abejonių, kad jeigu netikrų dievų garbinimas nebūtų apakinęs stabmeldžių, jų moralinė filosofija būtų pažengusi toliau nei*

> *jų keturios pagrindinės dorybės; ir, užuot mokę apie sielų persikėlimą, garbinę Saulę ir Mėnulį bei mirusius herojus, jie būtų išmokę mus garbinti tikrąjį Kūrėją ir Geradarį, kaip kad darė Nojaus ir jo sūnų valdomi jų protėviai, kol nepagedo.*

Kai kam gali pasirodyti keista, kad šis iškiliausias mokslo revoliucijos veikėjas ryžosi gvildenti tokius teologijos ir etikos klausimus. Tačiau Niutonas žvelgė į pasaulį kaip į visumą.

Johnas Maynardas Keynes'as (Džonas Meinardas Keinsas), labiausiai išgarsėjęs darbais ekonomikos srityje eruditas, davė impulsą didžiulės apimties niekur neskelbtų Niutono raštų tyrimams. Keynes'sas apibendrino savo įspūdžius puikiame esė *Newton, the Man (Niutonas, Žmogus)*, kurią maloniai rekomenduoju perskaityti (žr. skyrių *Rekomenduojama literatūra*). Anot Keynes'o:

> *Jis žvelgė į visatą kaip į Visagalio sukurtą kriptogramą.*

Niutonas nelaikė Gamtos vieninteliu atsakymų į būties klausimus šaltiniu:

> *Filosofiją, tiek kontempliatyviąją, tiek aktyviąją, galima aptikti ne tik gamtoje, bet ir Šventajame Rašte, kaip antai Pradžios knygoje, Jobo knygoje, Psalmyne, Izaijo knygoje ir kt. Pažinę šią filosofiją pamatysime, kad Dievas pavertė Saliamoną didžiausiu filosofu pasaulyje.*

Niutonas tikėjo, kad senovės tautos buvo sukaupusios didžiulį žinių lobyną, kurį užšifravo ezoteriniuose tekstuose ir simboliuose, kaip antai pranašiškose Ezechielio vizijose ir Apreiškime Jonui, Saliamono šventyklos matmenyse ir simboliais perkrautuose alchemikų darbuose. Niutonas šiomis temomis parašė begalę gilių komentarų, apimančių milijonus žodžių, įskaitant ir vieną paskelbtą darbą – įmantrųjį daugiau nei 80 000 žodžių veikalą *The Chronology of Ancient Kingdoms Amended (Pataisyta senovės karalysčių chronologija)*, kuris savo neįkandamu genialumu nustelbė net *Finnegans*

*Wake (Finegano budynes)**. Niutonas taip pat praleido daug metų Kembridže, kur intensyviai eksperimentavo pats įsirengęs specialią laboratoriją. Šio darbo tikslas buvo suprasti ir patobulinti alchemijos meną.

Pabrėžtina, kad tiek studijuodamas Biblijos tekstus, tiek gilindamasis į alchemiją Izaokas Niutonas išliko Izaoku Niutonu. Keynes'as rašė:

> *Visi jo nepaskelbti ezoterikos ir teologijos darbai neatsiejami nuo kruopščių medžiagos studijų, griežto metodo ir kraštutinio teiginių blaivumo <...> Beveik visi jie parašyti per tą patį 25 metų laikotarpį, kurį jis paskyrė matematikos studijoms.*

Ir čia pridursiu vieną klausimą nuo savęs: gal nenatūralu suskaidyti mūsų pasaulio sampratą į dalis, kurių nemėginame sutaikyti?

Manau, kad į šį klausimą kaip tik ir atsako ši knyga.

BIOGRAFINĖS PASTABOS

Izaoko Niutono pasiekimai – tikras iššūkis eugenikos šalininkams ir vaikų auklėjimo teoretikams. Jo tėvas, taip pat vardu Izaokas, buvo neišsilavinęs, neraštingas, tačiau pasiturintis jomenas, vertęsis ūkininkavimu. Žmonės jį apibūdindavo kaip „pašėlusį ir ekstravagantišką žmogų". Jo motina Ana Eiskou priklausė nuskurdusių kaimo aristokratų giminei. Izaokas gimė per 1642 m. Kalėdas jau po tėvo mirties, neišnešiotas. Jis buvo toks mažytis, jog, pasak motinos, galėjęs „tilpti į kvortos talpos puodą". Kai berniukui buvo treji, motina dar kartą ištekėjo ir paliko jį (naujojo vyro reikalavimu) globoti močiutei, tačiau netrukus vėl tapo našle ir 1659 m. vaiką vėl susigrąžino į savo namus. Trumpai kalbant, Niutono kilmė buvo žema, o vaikystė – sunki.

Taigi, jaunojo Niutono plataus diapazono smalsume, kūrybiškume ir intelektinėse avantiūrose galima įžvelgti dieviškosios malonės kibirkštį.

* Džeimso Džoiso (James Yoyce, 1882 – 1941) eksperimentinis romanas. *Vert. pastaba.*

Dar būdamas vaikas jis stebėjo Saulės šešėlius, konstruodavo kruopščiai sukalibruotus saulės laikrodžius ir registruodavo, kaip kinta saulėtekio ir saulėlydžio laikas keičiantis metų laikams. Tokiu būdu jis tapo vietiniu laiko patikėtiniu ir valdovu kaime, kuriame laikrodžio niekas neturėjo. Jis taip pat konstruodavo ir leisdavo įmantrius aitvarus, o kartą labai išgąsdino visus kaimynus, prie kelių aitvarų pritvirtinęs žibintus ir naktį juos paleidęs į orą (sukeldamas vieną pirmųjų sąmyšių dėl NSO pasirodymo!).

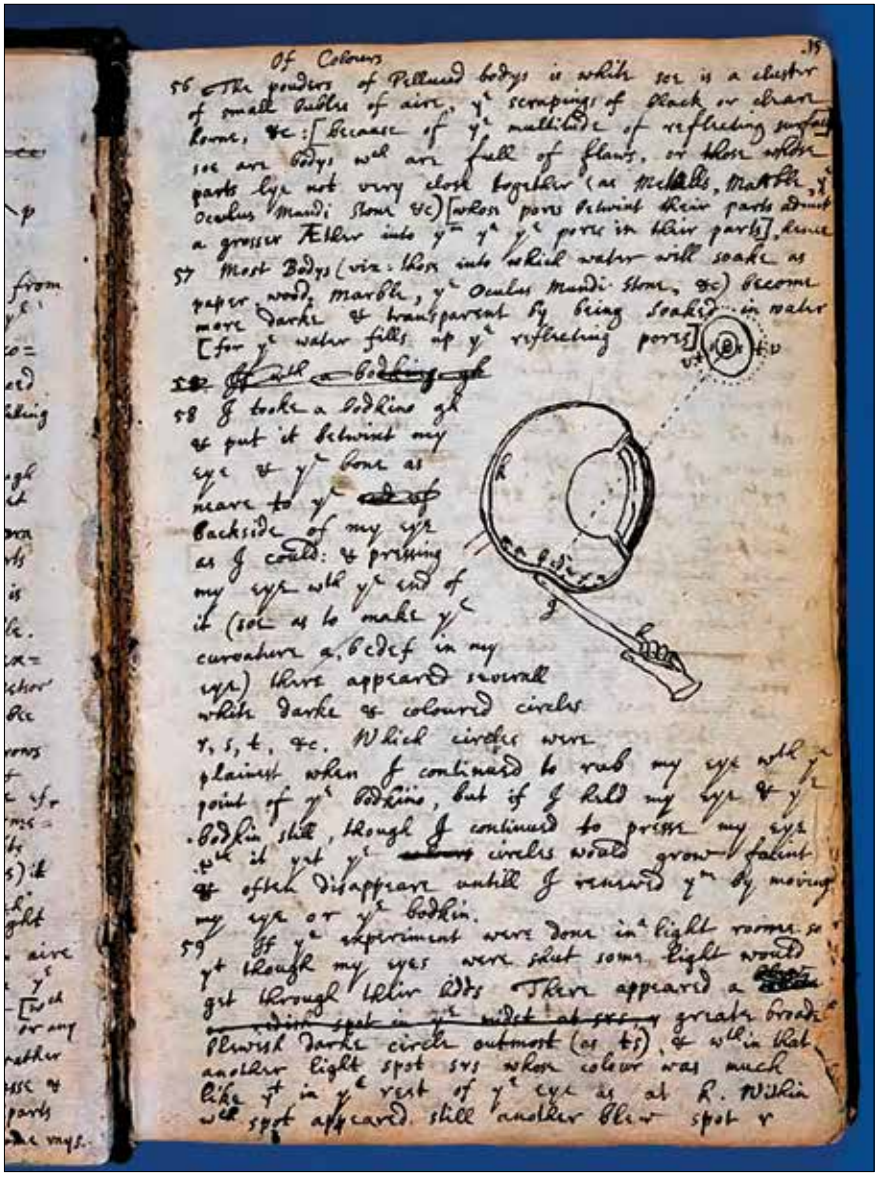
Aplinkiniai tikėjosi, kad jaunasis Izaokas taps ūkininku, tačiau ūkininkavimo jis nekentė ir su juo susijusius darbus dirbdavo vangiai. Kita vertus, jis buvo puikus mokinys vietinėje gramatikos mokykloje, ir Henris Stouksas (Henry Stokes), vietinis mokytojas, kažkaip sugebėjo įtikinti Aną ir universiteto vadovybę, kad Isaacas turi studijuoti Kembridže. Į Kembridžą jis buvo priimtas kaip „subsidiantas", kitaip tariant, kaip studentas, gaunantis finansinę paramą mainais už patarnavimus labiau pasiturintiems paskutiniojo kurso studentams.

1665 – 1666 m. Angliją nualino buboninis maras. Kembridžo universitetas užsidarė ir 22 metų amžiaus paskutiniojo kurso studentas buvo priverstas grįžti į šeimos ūkį Vulstorpe. Tuo metu Niutonas jau buvo padaręs svarbių atradimų matematikos (begalinės eilutės ir skaičiavimai), mechanikos (visuotinės traukos dėsnis) ir optikos (spalvų teorija) srityse. Štai kaip jis tai apibūdina:

> *Visa tai nutiko per dvejus maro metus, 1665 m. ir 1666 m., nes tuo laikotarpiu buvau pačiame jaunystės žydėjime ir mąsčiau apie matematiką ir filosofiją daugiau nei bet kuriuo kitu metu.*

Tikriausiai niekas taip neatskleidžia Niutono polinkio peržengti įprastumo ribas kaip eksperimentas, kurį jis atliko maždaug tuo metu aiškindamasis ryšį tarp išorinio pasaulio ir vidinio regimojo jo suvokimo. Toliau pateikiu šio eksperimento aprašymą, kurį sudaro tekstas ir piešinys (14 pav.):

> *Paėmiau ilgą plaukų smeigtuką [lazdelę buku galu] ir spaudžiau juo tarp akies ir kaulo, kiek įmanoma arčiau akies krašto. Spaudžiant smeigtuko galu (jo vieta pažymėta kreive a b c d e f) atsirado keletas*



14 PAV. ŠALTAKRAUJIŠKAS APRAŠYMAS PAVOJINGO BANDYMO, KURĮ NIUTONAS ATLIKO SU SAVO PATIES AKIMI, KAD GERIAU SUPRASTŲ ŠVIESĄ IR NUSTATYTŲ, AR JI GALI BŪTI MECHANINĖS PRIGIMTIES.

15 PAV. IZAOKAS NIUTONAS SAVO KLESTĖJIMO LAIKOTARPIU.

baltų, tamsių ir spalvotų apskritimų r, s, t ir c. Man toliau trinant akį smeigtuko galu šie apskritimai ėmė ryškėti, tačiau jeigu laikydavau smeigtuką tiesiai, tai nors ir toliau spausdavau akį, kontūrai susiliedavo ir dažnai išnykdavo, kol jų nesugrąžindavau judindamas akį arba smeigtuką.

Niutonas dirbo pašėlusiu tempu iki pat 1693 m. vidurio, kai po 25 metus trukusio ir veik neturinčio pavyzdžio susitelkimo į mokslą jį ištiko tai, ką dabar pavadintume psichoze. Nemiegodamas po kelias paras iš eilės, jis įsivaizduodavo, kad jo draugai rengia prieš jį sąmokslą (ir rašydavo jiems tulžingus laiškus), jį krėsdavo drebulys, jam susilpnėdavo atmintis ar tiesiog aptemdavo sąmonė. Niutonas rašė apie save: „...ypač esu sunerimęs dėl mane apėmusios maišaties, pastaruosius 12 mėnesių negaliu nei normaliai maitintis, nei miegoti, nei susigrąžinti ankstesnės sveikos mąstysenos.“ Šie

simptomai kankino Niutoną keletą mėnesių, o vėliau pamažu išnyko. Galimas daiktas, kad Niutono ligą sukėlė gyvsidabris, kuriuo jis galėjo apsinuodyti darydamas alcheminius bandymus su įvairiomis medžiagomis.

1694 m. jis išvyko iš Kembridžo eiti pareigų Karališkojoje monetų kalykloje Londone. Jo rūpestingi draugai, suorganizavę šią vietą, tikėjosi suradę jam sinekūrą. Niutonas tapo žymiai „normalesniu“ žmogumi ir per kitus 25 metus buvo puikus valstybės pareigūnas, tačiau audringų ieškojimų dienos nugrimzdo praeitin.

Manau, kad šis išraiškingas Niutono portretas (15 pav.) vienintelis perteikia jo dvasią ir jėgą. Jis labai anksti pražilo.

NIUTONAS II

SPALVA

Gamta šypsosi spalvomis.

Li Hantas (Leigh Hunt)

Iš to, kas pasakyta, taip pat akivaizdu, kad Saulės šviesos baltumas susideda iš visų spalvų, kuriomis dėl skirtingų lūžio kampų išsiskyrę minėtą šviesą sudarantys skirtingų rūšių spinduliai nuspalvina popierių arba bet kurį kitą baltą kūną, ant kurio krenta. Nes šios spalvos <...> yra nekintamos, ir kai visi šie spinduliai su tomis savo spalvomis vėl susimaišo, jie vėl atkuria tą pačią prieš tai buvusią baltą šviesą.

Izaokas Niutonas

Pirmosios citatos aiškinti nereikia – mes, žmonės, džiaugiamės spalvomis lygiai taip pat, kaip džiaugiamės matydami šypseną, tiesiog be priežasties. Antrosios citatos aiškinimas, kuriam skirtas visas šis skyrius, leis mums giliau pažvelgti į šviesos prigimtį ir užims svarbią mūsų meditacijos dalį, kad nušviestų Klausimą, į kurį ieškome atsakymo kartu.

ILIUSTRACIJA I. VAKARŲ KRIKŠČIONYBĖS IKONOGRAFIJOJE BALTA SPALVA YRA GALINGAS TYRUMO IR JĖGOS SIMBOLIS. APIE TAI TAURIAI BYLOJA FRA ANDŽELIKO FRESKA *KRISTAUS ATSIMAINYMAS*.

Patys gryniausi ir giliausi protai yra tie, kurie už viską labiausiai mėgsta spalvas.

Džonas Raskinas (John Ruskin), „Venecijos akmenys“

Tai mes – taigi, imkimės šviesos!

ŠVIESOS IŠGRYNINIMAS

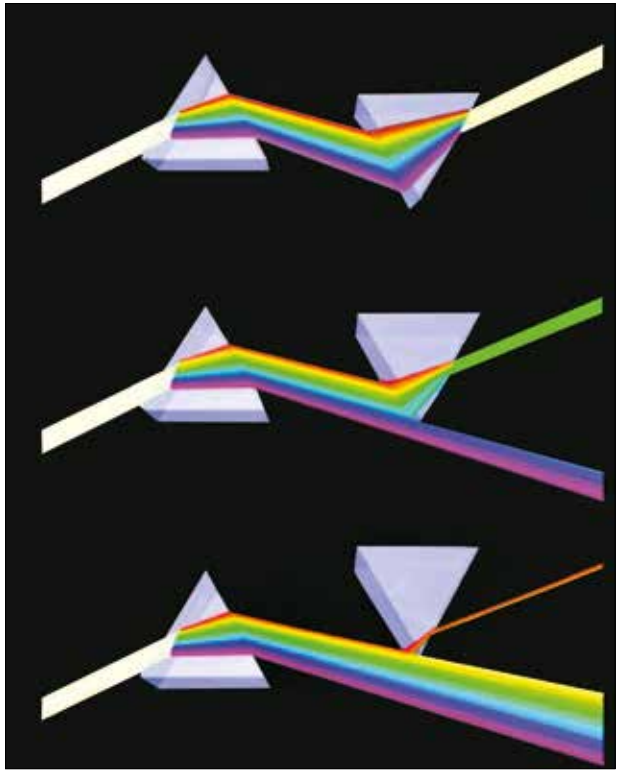
Balta spalva nuo seniausių laikų simbolizuoja grynumą. Senovės Egipte Izidę garbinę žyniai ir žynės rengdavosi tik baltais drobiniais drabužiais – į baltą drobę būdavo įvyniojamos ir pomirtiniam gyvenimui ruošiamos mumijos! Tai ir tradicinė vestuvių spalva, simbolizuojanti tyrų širdžių sąjungą. Krikščionybės simbolikoje ši spalva priskiriama Dievo Avinėliui, angelams ir triumfuojančiam Kristui (tą galite pamatyti spalvotoje iliustracijoje I).

Ši baltos spalvos ir tyrumo asociacija, regis, pagrįsta. Balta – tai pagrindinio natūralaus šviesos šaltinio, į zenitą įkopusios mūsų Saulės, šviesa. Balta spalva spindi patys ryškiausi paviršiai – pavyzdžiui, sniegas, geriausiai atspindintis Saulės šviesą.

Tačiau mokslinė analizė byloja visai ką kita.

Saulės šviesos pluoštui einant per stiklinę prizmę atsiranda vaivorykštė, arba, kaip sakome mes, spektras. Gamtoje panašų reiškinį stebime, kai Saulei apšvietus atmosferoje esančius vandens lašelius danguje atsiranda ištisinė spalvota juosta – natūrali vaivorykštė.

Iki Niutono darbų vyravo nuomonė, kad iš prizmių ar lietaus lašelių išeinančioje šviesoje spalvos atsiranda dėl to, jog sklisdama per šiuos objektus balta spalva praranda savo savybes. Daugelis žmonių manė, kad skirtingos spalvos – tai juodos spalvos (tamsos) ir baltos spalvos deriniai skirtingomis proporcijomis. Priklausomai nuo to, kokio ilgio kelią per prizmę įveikia, šviesa tam tikru mastu „sugenda“, todėl atrodo įvairiaspalvė. Ši idėja paperka savo paprastumu: kam reikia daug sudedamųjų dalių, kai pakanka dviejų (ar netgi vienos)?



ILIUSTRACIJA J. SPEKTRO SPALVAS, KURIOS ATSIRANDA PERLEIDUS BALTĄ ŠVIESĄ PER PRIZMĘ, GALIMA VĖL PAVERSTI BALTA SPALVA PANAUDOJUS DAR VIENĄ PRIZMĘ.

Kita vertus, Niutonas pareiškė, kad baltoji šviesa – o dar tiksliau kalbant, nuo Saulės sklindanti baltoji šviesa – tai daugybės esminių komponentų darinys. Pagal jo idėją, prizmė nesugadina baltosios šviesos. Anot jo, prizmė išskaido Saulės šviesą į atskirus komponentus – komponentus, kurie joje jau buvo.

Paprastas, tačiau gilios prasmės kupinas eksperimentas, kurį Niutonas išskyrė kaip *experimentum crucis (kritinis eksperimentas)*, kad patvirtintų savo idėją, leidžia pagrįsti šį teiginį – jis atvaizduotas spalvotoje iliustracijoje J. Spektro spalvos, į kurias prizmė išskaido baltąją šviesą, gali būti vėl surinktos į baltąją šviesą per antrąją prizmę. Jeigu surenkamas ne visas spektras, o tik jo dalis, tada iš prizmės išeina ne baltoji šviesa, o visą optinę sistemą perėjusių spalvų mišinys. Tuo atveju, kai šviesos šaltinis yra natūrali Saulės šviesa, o mėlynoji spektro dalis atkertama, išeinančioje šviesoje vyrauja žalia spalva. Jeigu per antrąją prizmę perleisime tik siaurą spektro spalvų pluoštą – pavyzdžiui, kaip parodyta spalvotoje iliustracijoje, tik raudonos spalvos spindulį – išėjęs spindulys bus tos pačios spalvos.

Svarbiausia šiame eksperimente yra tai, kad panaudojant antrąją prizmę galima apgręžti spinduliuotės skaidymą ir sugrįžti prie baltosios šviesos, savo savybėmis nesiskiriančios nuo pradinio šaltinio – Saulės šviesos. Iš paveikslėlio matyti, kad suderinus tik dalį spektro spalvų galima pasielgti ir kitaip. Tada gaunami ne baltosios, o tarpinių spalvų pluoštai. Trumpai kalbant, prizmė atlieka įeinančios į ją baltosios šviesos analizę.

Šį eksperimentą lengviau interpretuoti tariant, kad šviesa sudaryta iš fotonų (tiesa, šis terminas atsirado tik keliais amžiais vėliau, tačiau, kad nesupainiočiau skaitytojo, šviesos atomus vadinsiu fotonais).

Fotonai gali būti įvairiarūšiai – pavyzdžiui, skirtingos formos arba, tarkime, skirtingos masės – ir kiekvienai jų rūšiai stiklinės prizmės poveikis bus kitoks. Taigi prizmė, išlenkdama skirtingo kiekio skirtingų rūšių atomų trajektorijas, juos atskirs vieną nuo kito ir efektyviai surūšiuos. Kitaip tariant, ji veiks kaip šiuolaikinis prekybinis automatas, savarankiškai atskiriantis vieną nuo kitos skirtingos vertės monetas. Skirtingos fotonų rūšys nevienodai veiks ir jūsų akis, leisdamos pajusti skirtingas spalvas.

Niutonas neteikė pirmenybės nei šiam, nei kuriam nors kitam konkrečiam modeliui. Juk tai buvo tik hipotezės! Tačiau turėjo juos omenyje kaip

tolesnių eksperimentinių tyrinėjimų gaires.

Kokiu mastu galima išplėtoti šviesos pluošto rūšiavimo idėją? Kad gautume grynąją spektro spalvą, galime išskirti tik mažą spektro dalelę. Tokių išfiltruotų šviesos pluoštų komponentai, kad ir kas jie būtų, eidami per prizmę lūžta tuo pačiu kampu. Ar tikrai šis procesas suskaidė šviesą į jos pagrindines sudedamąsias dalis? O gal kiekvienoje šių dalių slypi papildomi komponentai, kuriuos galima aptikti ir toliau išgryninti?

Niutonas kaip įmanydamas „kankino“ išgrynintos šviesos ir spektro spalvų pluoštus pačiais įvairiausiais eksperimentais. Nukreipdavo juos į skirtingus atspindinčius paviršius, perleisdavo per lęšius ir prizmes, padarytas ne vien iš paprasto stiklo, bet ir iš įvairių skaidrių (arba pusiau skaidrių) medžiagų. Jis nustatė, kad naudojant prizmę visi šie procesai nedaro įtakos galutiniam šviesos suskaidymo į spektro spalvas rezultatui.

Geltona spektro spalva, atspindėta bet kurio paviršiaus, išlieka geltona; mėlyna spektro spalva išlieka mėlyna ir pan. Šviesą dažnai sugeria objektai, kuriuos laikome spalvotais. Pavyzdžiui, koks nors mėlynos spalvos objektas gali sugerti visas spektro spalvas, išskyrus artimas jo atspindimai mėlynai – kaip tik dėl to jis ir atrodo mums mėlynas. Tačiau niekada nebūna taip, kad geltona spektro spalva atsispindėtų kaip mėlyna spektro spalva arba kaip kuri nors kita spalva. Ji visada išlieka geltona.

Ta pati taisyklė galioja ir šviesos perėjimui *per* medžiagas (refrakcijai). Ir šiuo atveju spektro spalvos išlaiko savo vientisumą. Žinoma, paprastai skirtingos spalvos lūžta skirtingais kampais – juk kaip tik taip jas išskirsto prizmė – tačiau bet kuri konkreti medžiaga tam tikru būdu perlauš bet kurios konkrečios spektro spalvos spindulius.

Atlikdamas panašaus pobūdžio eksperimentus, Niutonas nustatė, kad iš spektro spalvų išgauti šviesos pluoštai yra grynos medžiagos su pastoviomis, atkuriamomis savybėmis. Ir kad baltos spalvos spektre nėra. Baltosios šviesos pluoštus visada galima suskaidyti į sudedamąsias spektro spalvas – jie visada yra skirtingų komponentų derinys. Ironiška, tačiau, nepaisant su ja siejamos simbolikos, baltoji šviesa niekada nebūna gryna.

(Čia tikslumo sumetimais turiu priminti, kad ne viskas taip paprasta. Tai, kad spektro spalvų negalima skaidyti į smulkesnius komponentus, nevisiškai tiesa. Iš tikrųjų galima – taikant dvilypį išskirstymą į *skirtingos*

poliarizacijos komponentus. Šį klausimą bus tikslinga aptarti vėliau, susietą su Maksvelo darbais. Nors tai ir įmanoma, ne taip paprasta padalyti vienos spektro spalvos spindulį į du poliarizuotus komponentus, todėl daugeliu atvejų galime šį skirtumą ignoruoti. Panaši ir medžiagų cheminių elementų situacija. Gryno cheminio elemento pavyzdys gali būti sudarytas iš izotopų, kuriuos vieną nuo kito atskirti nėra paprasta, tačiau įmanoma.)

Ir nors nė karto negirdėjau, kad Niutono darbas būtų taip apibūdinamas, manau, jog šį faktą tikrai dera pripažinti: tai, ką padarė Niutonas atlikdamas šiuos eksperimentus ir rašydamas savo veikalą *Optika*, padarė pradžią šviesos chemijai. Analizė, arba išgryninimas – pirmasis žingsnis į chemiją.

ŠVIESOS CHEMIJA

Dabar, kai jau išgryninome šviesą, esame pasirengę toliau gilintis į jos chemiją.

Kol kas mūsų analizė neprieštaravo mūsų pagrindinei idėjai, kad šviesa susideda iš fotonų ir kad skirtingų rūšių fotonų srautus stiklas išlenkia nevienodai, dėl ko juos ir galima išskirti perleidžiant per prizmę. Taigi, kiekviena spektro spalva – tai išgrynintas tam tikros rūšies fotonų rinkinys. Tokiu būdu identifikavome šviesos elementus.

Palyginkime šviesos chemiją su mums labiau pažįstamu, nors ir vėliau išsirutuliojusiu žymiai sudėtingesniu mokslu – medžiagų chemija, pradėdami nuo jų periodinių elementų lentelių, ir pamėginkime išsiaiškinti, kuo šios sritys panašios ir kuo skiriasi.

- Periodinėje šviesos lentelėje yra tik viena eilutė – vaivorykštė iš spektro spalvų. Jos elementai – tai spektro spalvos. Cheminių medžiagų periodinę elementų lentelę sudaro kelios eilutės, ir elementai joje išdėstyti stulpeliais, kurių kiekvienas reiškia, kad juose nurodyti elementai turi ne tik panašių, bet ir skirtingų savybių. Taip pat ji turi dvi pailgas, nevienodo dydžio iškyšas, kuriose nurodytos lan-

tanoidų (retųjų žemių) ir aktinoidų sekos – šių elementų cheminės savybės beveik nekinta.

- Šviesos periodinei lentelei galima suteikti apčiuopiamą fizinę formą. Ir iš tikrųjų, pakanka iš Saulės ar kito įkaitusio žėrinčio kūno sklindantį šviesos pluoštą perleisti per prizmę ir atvaizduoti plokštumoje – ir ją turime. Tuo tarpu periodinė cheminių elementų lentelė – tik mintinė abstrakcija. Gamtoje nėra ją atitinkančio objekto.
- Periodinė šviesos lentelė yra tolydi, tuo tarpu periodinė cheminių elementų lentelė – diskreti.
- Šviesos elementai vienas su kitu sąveikauja labai silpnai. Pažymėtina, kad susikertantys šviesos pluoštai laisvai prasiskverbia vienas per kitą tarpusavyje nesąveikaudami (kitaip tariant, jų sankirtoje nepažyra kibirkštys, erdvėje nelieka šviesos molekulių pėdsakų). Šiuo atžvilgiu kiekvienas šviesos elementas savo savybėmis primena „kilnias“ arba „inertines“ dujas iš medžiaginės chemijos.

Žvelgiant plačiau, abi chemijos rūšis reikia vertinti bendrai, kaip mokslą apie atomus ir jų sąveikas, ir nesvarbu, ar kalbama apie šviesos atomus, ar apie cheminės medžiagos atomus. Vertinant platesniu mastu, šviesos atomai jau nesielgia kaip inertinės dalelės. Nors jie vienas su kitu nėra linkę sąveikauti, pagal tam tikras taisykles jie tikrai jungiasi su medžiagos atomais. Šį klausimą žymiai išsamiau išnagrinėsime kiek vėliau ir dar labiau į jį įsigilinsime skyriuje *Kvantinis grožis I: sferų muzika*.

Didysis alchemikų tikslas buvo atrasti filosofinį akmenį, galėjusį, kaip daugelis jų tikėjo, paversti vienos rūšies atomus kita atomų rūšimi – pavyzdžiui, šviną paversti žymiai vertingesniu auksu. Šviesos atomai turi savo filosofinį akmenį – tai judėjimas! Jeigu judėsime link spektrinės grynosios šviesos pluošto, taip pat matysime jį kaip spektro šviesą, tik kitokios spalvos. Spalvos nuo raudonos slenka link mėlynos, todėl sakome, kad joms būdingas mėlynasis poslinkis. Lygiai taip pat, judėdami tolyn nuo šviesos pluošto arba pluoštui judant nuo mūsų, gausime raudonąjį poslinkį. Šių poslinkių dydžiai proporcingi reliatyviojo judėjimo greičiui ir labai maži, jeigu tik šis greitis nėra artimas šviesos greičiui. Šie poslinkiai pernelyg maži, kad Niutonas būtų galėjęs juos pastebėti. Daugeliu praktinių sumetimų jų galima nepaisyti. Tačiau iš tolimų galaktikų sklindančios šviesos raudonasis poslinkis – ypač šio poslinkio poveikis tamsiųjų ir šviesiųjų spektro linijų padėties kismui – teikia informaciją apie tai, kokiu greičiu šios galaktikos juda tolyn nuo mūsų, ir leidžia mums sudaryti visatos plėtimosi planą.

Idėjos, kad šviesa sudaryta iš pavienių dalelių arba, kaip esame įpratę jas vadinti, fotonų, istorija permaininga. Kaip jau minėjome, nors Niutonas ir simpatizavo šiai idėjai, „tuoktis“ su ja jis nepanoro (kiek paflirtavęs, neprisiekė mylėsiąs amžinai). Tačiau jo autoritetas buvo toks didelis, kad šviesos dalelių teorijos vyravo moksle beveik iki pat XIX a. vidurio, kai jas nurungė bangų teorijos. Pasirodžius Maksvelui su savo elektromagnetiniu šviesos prigimties aiškinimu, kurį išsamiai aptarsime vėliau, ėmė atrodyti, kad bangų teorijos triumfas neišvengiamas. Tačiau XX a., atsiradus kvantinei mechanikai, šviesos dalelių teorija vėl išėjo į sceną – ir šviesos atomai buvo oficialiai pavadinti fotonais. Niutono įprotis išlaikyti žaidime kuo daugiau galimų alternatyvų ir tuo pat metu neteikti pirmenybės nė vienai iš pasiūlytų hipotezių priartino mus prie šiuolaikinio papildomumo principo.

ANALIZĖS NAUDA

Spalvų prigimties sampratą Niutonas puikiai pritaikė praktiškai – patobulino teleskopo konstrukciją. Iki jo visi teleskopai turėjo du lęšius, kurie būdavo įtvirtinami priešinguose ilgo vamzdžio galuose. Visi jie veikė tokiu principu: nuo nutolusių objektų sklindanti šviesa būdavo surenkama, o po to sufokusuojama išgaunant padidintą šių objektų vaizdą. Kadangi skirtingų spalvų spinduliai kerta lęšius skirtingomis trajektorijomis, vienu metu tiksliai sufokusuoti visų skirtingų spalvų spindulius nepavykdavo, todėl vaizdas per teleskopą būdavo kiek susiliejęs. Ši problema vadinama *spalvine aberacija*. Niutonas pasiūlė vietoj lęšių šviesos spindulių surinkimui naudoti įgaubtą atspindintį veidrodį (reflektorių) ir, pritaikęs šią idėją, sukonstravo keletą teleskopų. Jo veidrodiniai teleskopai sumažindavo spalvinę aberaciją,

o ir jų gamyba buvo ganėtinai paprasta. Iš esmės, ir dauguma šiuolaikinių teleskopų yra veidrodiniai.

Šviesos analizė tapo nepaprastai vaisingu mokslinių atradimų šaltiniu. Iš daugelio pavyzdžių, kuriuos čia galima paminėti, apsistosiu ties vienu, nesunkiai apibūdinamu. Šis atradimas buvo ne tik nepaprastai svarbus, bet ir išsiskyrė iš kitų poetiškumu. (Apie kitus atradimus pakalbėsime kiek vėliau.)

Į Saulės šviesos sukurtą spektrą žiūrinčiam žmogui susidaro tolygios jo intensyvumo gradacijos įspūdis. Tačiau jeigu naudojama labai kokybiška prizmė, šviesą skaidanti itin tiksliai, spektre galima pastebėti gausybę įdomių smulkmenų. Josephas von (Džozefas fon) Fraunhoferis, tyrinėjęs Saulės šviesos spektrą XIX a., tame spektre, kuris iki tol atrodė nepertraukiamas, aptiko ne mažiau kaip 574 tamsių linijų. Šių linijų atsiradimo priežastis nebuvo aiški iki pat XIX a. vidurio, kai Robertas Bunsenas (Bunzenas) ir Gustavas Kirchhoffas (Kirchhofas) pademonstravo, kad tokias pačias linijas galima gauti ir Žemėje. Jeigu priešais įkaitusį šviesos šaltinį pastatysime indą su tam tikru kiekiu šaltų dujų, šios dujos sugers dalį šviesos. Dujos, apskritai kalbant, šviesą sugeria labai selektyviai – ištraukia iš jos tik tuos komponentus, kurie yra siaurose spektro juostose. Atliekant per dujas perleistos šviesos spektrinę analizę sugertų spalvų joje neaptinkama – jų vietoje matomos tamsios linijos.

Skirtingų rūšių dujos (pavyzdžiui, dujos, sudarytos iš skirtingų cheminių elementų) sugeria skirtingas spektro spalvas. Taigi, jeigu nežinome, iš ko sudarytos kokios nors dujos, galime nustatyti jų sudėtį stebėdami, kokią šviesą jos sugeria! Mūsų apibendrintos chemijos kalba, kurią išvertė Bunsenas su Kirchhoffu, žinia, kurią siunčia Fraunhoferio tamsiosios linijos, byloja štai ką: konkrečios medžiagos atomas sąveikauja tik su tam tikrais šviesos elementais, kitaip tariant, jis sugeria tik tam tikrus šviesos elementus, tam tikras spalvas, o likusias spalvas ignoruoja. Taip pat egzistuoja ir atvirkštinis efektas, kai įkaitintos dujos spinduliuoja savo ypatingų spalvų šviesą, spektre sukurdamos šviesias linijas. Kalbant apskritai, šios tamsios ir šviesios linijos – tai pirštų atspaudai, pagal kuriuos galima atpažinti jas palikusias medžiagas.

Taigi, analizuodami kokios nors žvaigždės šviesą ir lygindami tos šviesos šviesias ir tamsias linijas su linijomis, stebėtomis įvairiose dujose laboratorinėmis sąlygomis, astronomai gali nustatyti, iš kokių medžiagų ta žvaigždė susideda (taip pat sužinoti daug kitų smulkmenų apie jos atmosferą, iš kurios ir sklinda mūsų regima šviesa). Šis metodas greitai tapo ir iki mūsų dienų išliko astronomijos kasdiene duona. Iš esmės, jis leido mums išsiaiškinti, kad žvaigždės sudarytos iš tų pačių medžiagų ir paklūsta tiems patiems fizikos dėsniams, kuriuos stebime čia, Žemėje.

Normanas Lokjeras (Lockyer) ir Pjeras Žansenas (Pierre Janssen) atliko daugybę Saulės vainiko stebėjimų, kurių paslaptingi rezultatai iš pradžių privertė suabejoti šia išvada, tačiau galiausiai ją tik dar tvirčiau pagrindė. 1868 m. per Saulės užtemimą jie pastebėjo jos vainiko spektro šviesoje ryškią liniją, kurios ankščiau nebuvo tekę matyti jokiose žemiškos kilmės dujose. Buvo nuspręsta, kad šios linijos šaltinis – naujas, iš esmės nežemiškos kilmės, elementas, pavadintas „kuroniu“. Tačiau 1895 m. du chemikai iš Švedijos, Peras Cleve (Klevė) ir Nilsas Langletas, taip pat su jais nesusijęs Williamas Ramsay (Viljamas Ramzėjus) aptiko, kad tokią pačią liniją išspinduliuoja ir dujos, sklindančios iš urano rūdos. Tokiu būdu buvo atkurti giminystės saitai tarp dangaus ir žemės. Naujasis elementas buvo pavadintas (ar veikiau pervadintas) *heliu*, senovės graikų Saulės dievo Helijo garbei.

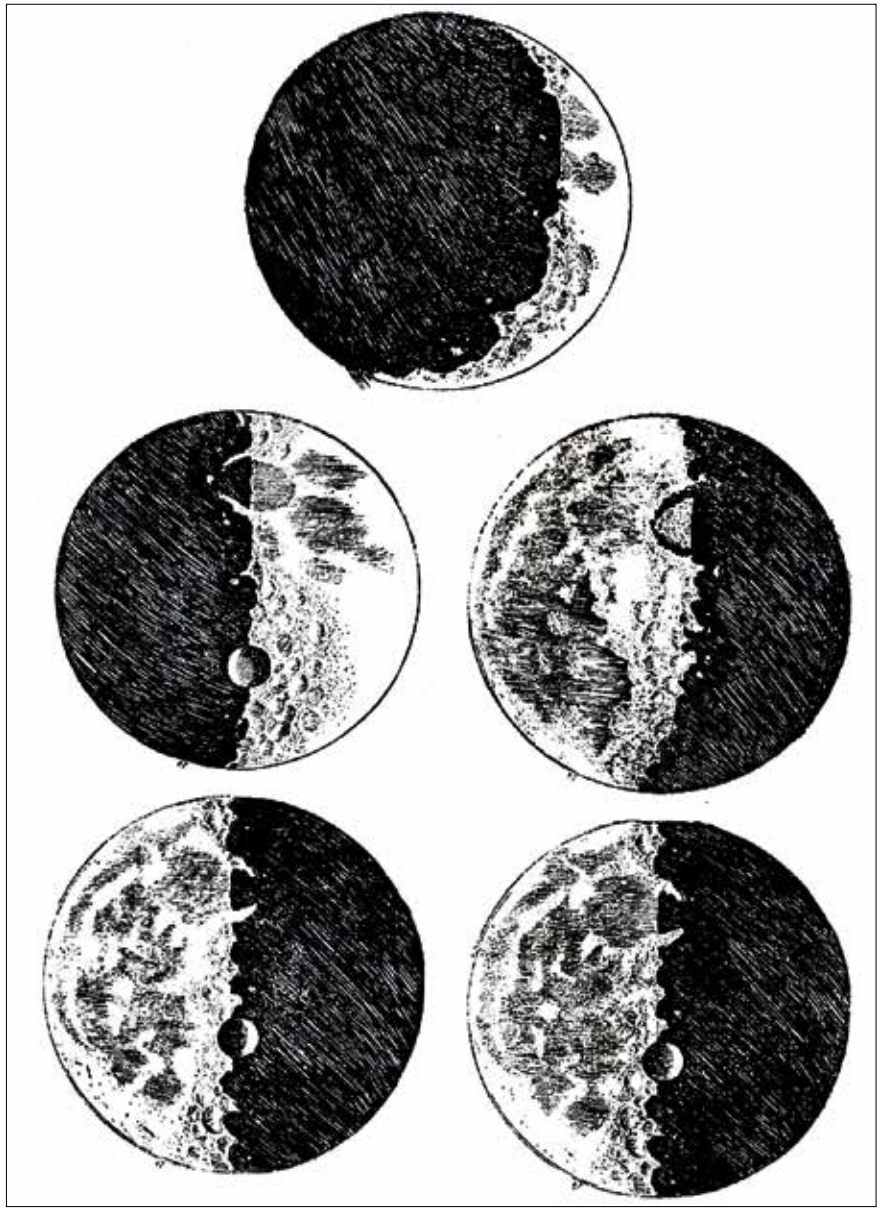
NIUTONAS III

DINAMIKOS GROŽIS

Pagrindiniai Niutono mechanikos dėsniai – tai dinamikos dėsniai, kitaip tariant, dėsniai, apibūdinantys pasaulio pokyčius laike. Dinamikos dėsniai skiriasi nuo geometrijos taisyklių arba skyriuose apie Pitagorą ir Platoną aptartų dėsnių, kurie apibūdina pavienius objektus arba santykius.

Dinamikos dėsniai kviečia mus išplėsti grožio paieškas. Turime galvoti ne tik apie tą pasaulį, kuris yra, bet ir – tai visų svarbiausia – apie žymiai didesnį, įsivaizduojamą pasaulį to, *kas gali nutikti*. Niutono mechanikos pasaulis – tai *galimybių* pasaulis.

Ši išplėstinė grožio paieška atveria aukso telkinį Niutono kalne (17 pav.). Tačiau prieš leisdamiesi į šią kelionę, turime jai šiek tiek pasiruošti.



16 PAV. KELETAS NUOSTABIŲ GALILĖJAUS PIEŠINIŲ, VAIZDUOJANČIŲ PER TELESKOPĄ STEBĖTĄ MĖNULĮ.

ŽEMĖ PRIEŠ KOSMOSĄ

Niutono tiesioginiai įpėdiniai paliko gamtos filosofijai didelę nebaigtą užduotį.

Galilėjus į savo veikalą *Sidereus Nuncius (Žvaigždžių pasiuntinys)* sudėjo daugybę Mėnulio eskizų, kuriuose atvaizdavo jį tokį, kokį matė per savo pirmąjį 20 kartų didinantį astronominį teleskopą, kurį pats ir sukonstravo. Šviesos ir šešėlių dėmės aiškiai rodo, kad Mėnulio paviršius ganėtinai nelygus (16 pav.).

Tuo metu, kai Galilėjus priartino dangaus skliautą prie žemės, Kopernikas privertė Žemę judėti kaip vieną planetą iš daugelio į ją panašių dangaus kūnų, o Kepleris atrado tikslius su planetų judėjimu susijusius dėsningumus. Nors šių dėsningumų detalės mums nėra labai svarbios, pateiksiu čia trejetą Keplerio dėsnių, padėsiančių man išskirti du esminius dalykus.

- Kiekvienos planetos orbita – tai elipsė, kurios viename židinyje yra Saulė.
- Linija, jungianti planetą su Saule (planetos spindulys), per lygius laiko tarpus apibrėžia lygius plotus.
- Kiekvienos planetos apskriejimo aplink Saulę kvadratas (planetinių „metų“ trukmė) yra proporcingas ilgosios elipsės ašies kubui.

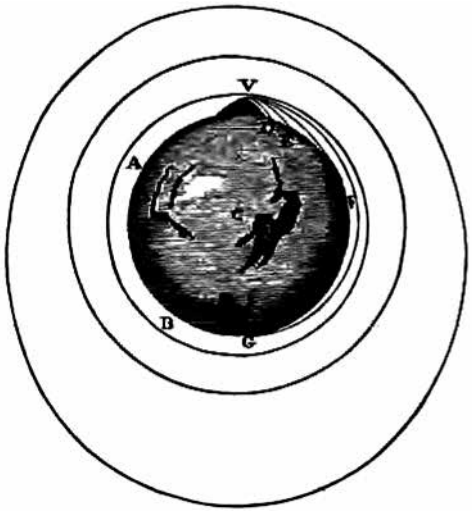
Pirmoji svarbi aplinkybė – šie trys dėsniai *nėra* dinamikos dėsniai. Jie apibūdina nusistovėjusius santykius, bet ne kitimo taisykles. Antra – tai planetų judėjimo taisyklės. Jos nieko nepasako apie judėjimą, kurį stebime arčiau savo namų, kuris labiau susijęs su mūsų žemiškąja patirtimi. Tai tolimi mums pranešimai iš kitokios konceptualios visatos – nors pati Žemė irgi planeta!

Taigi, liko neįvykdyta didžioji užduotis – suvienyti Žemę su kosmosu. Kokie bendri dėsniai valdo šias dvi iš pažiūros panašias sritis?

NIUTONO KALNAS

Niutono veikale *Matematiniai gamtos filosofijos pagrindai* galima rasti daugybę geometrinių brėžinių, keletą lentelių su skaičiais ir tik vieną piešinį (17 pav.). Manau, kad tai pats gražiausias piešinys visoje mokslinėje literatūroje.

Akivaizdu, jog vertinti jį kaip puikų braižybos meno pavyzdį būtų pernelyg drąsu. Grožio šiam piešiniui suteikia mūsų vaizduotę išlaisvinančios idėjos. Tai kvietimas atlikti mintinį eksperimentą, kuris leidžia daryti prielaidą, kad krentantys į Žemę objektai ir orbitomis skriejantys dangaus kūnai kosmose elgiasi vienodai, kitaip tariant, jis leidžia įsivaizduoti, kad egzistuoja visuotinė traukos jėga.



17 PAV. NIUTONO KALNAS – DIDIS MINTINIS EKSPERIMENTAS.

Stovėdami kalno viršūnėje horizontaliai – kitaip tariant, lygiagrečiai Žemės paviršiui – sviedžiate akmenį. Jeigu akmenį paleisite mažu greičiu, prieš nukrisdamas ant žemės jis pralėks mažą atstumą. Jeigu akmenį mesite stipriau ir suteiksite jam didesnį pagreitį, jis nulėks toliau. Iš tikrųjų joks mirtingasis negalėtų paleisti akmenį tokia jėga, kad šis nuskrietų ganėtinai didelį atstumą Žemės perimetru. Niekis – juk tai mintinis eksperimentas, kuriame fizinę jėgą galima pakeisti protine jėga. Meskite stipriau. Savo proto akimis – kaip ir anksčiau pateiktame piešinyje – pamatysite, kad trajektorijos galinis taškas pradeda slinkti artyn jos pradinio taško.

Ir tada, jeigu paleisite akmenį dar stipriau, turėsite pritūpti – priešingu atveju, akmuo smogs jums į pakaušį! Išsisukę nuo smūgio išvysite,

kaip akmuo pakartoja savo skrydį, nes dabar jis skrieja apskritimine orbita. (Aerodinaminis pasipriešinimas? Nesijaudinkite, juk tai tik mintinis eksperimentas!) Galite mintimis persikelti ant įsivaizduojamų kalnų viršūnių ir pritaikyti tą pačią logiką, kad pamatytumėte kūnų gebėjimą skrieti orbita aplink Žemę bet kokiu atstumu nuo paviršiaus, veikiant Žemės sunkio jėgai.

Galite įsivaizduoti iš tiesų aukštą kalną ir iš tiesų didelį akmenį... ir kai tas akmuo išeis į orbitą, galėsite pavadinti jį Mėnuliu.

Šiame piešinyje pavaizduotą kūną vadinu Žeme, nors veikiau tai apibendrintas jos atvaizdas, su veik neapibrėžtomis paviršiaus detalėmis ir neproporcingai dideliu kalnu. O reikalas iš esmės yra tas, kad šiam kūnui *nebūtina* būti Žeme. Tokį patį mintinį eksperimentą galima pritaikyti Saulei ir aiškinti, kokiu būdu Saulės sunkio jėga išlaiko planetas jų orbitose. Arba Jupiteriui, aiškinant, kaip jo trauka išlaiko jų orbitose Galilėjaus mėnulius.

Tarp skirtingų kūnų veikiančios Visuotinės traukos idėja nukelia šį eksperimentą gerokai toliau už taško, kuriame mes (arba Niutonas) turime teisę ekstrapoliuoti panašią kasdienę patirtį – į Žemę krentantį akmenį, išlaisvinusią mūsų vaizduotę. Mintiniai eksperimentai nieko neįrodo! Tačiau jie padeda atrasti vaisingus būdus, leidžiančius atlikti išsamesnius tyrimus. Jeigu įsivaizduojamas mintinio eksperimento rezultatas atrodo logiškas, tai gerai. Jeigu jis gražus, dar geriau. Ir išvis bus puiku, jeigu gausite daugiau, nei tikėjotės. Niutono kalnas visa tai leidžia.

Daugelis žino garsiąją legendą, greičiausiai kilusią iš kokių nors prisiminimų, kuriuos Niutonas atsainiai užrašė būdamas senyvo amžiaus, ir teigiančią, esą jis pradėjo mąstyti apie visuotinės traukos egzistavimo galimybę po to, kai pamatė netoli savo namų Vulstorpe nuo obels krentantį obuolį. Jo paties užrašuose nėra nė žodžio apie jokį obuolį, o tik šios eilutės:

> *Pradėjau mąstyti apie gravitaciją, nusidriekusią iki Mėnulio orbitos ir toliau (supratęs, kaip įvertinti jėgą, su kuria rutulys sukasi sferos viduje ir slegia sferos paviršių), remdamasis Keplerio planetų sukimosi periodiškumo dėsniu <...> priėjau prie išvados, kad jėga, išlaikanti planetas jų orbitose, turi būti atitinkamai lygi jų atstumų nuo centrų, aplink kuriuos jos skrieja, kvadratui: tuo remdamasis, palyginau jėgą, kuri reikalinga tam, kad Mėnulis išliktų savo orbitoje, su gravitacijos*

jėga Žemės paviršiuje ir nustačiau, jog jos puikiai viena kitą atitinka.

Ar krentantis obuolys iš tiesų paskatino Niutoną taip mąstyti, ar ne, pats savaime šis reiškinys negalėjo suteikti itin daug peno apmąstymams. Manau, kad kažkas, kas yra labai artima Niutono kalnui, kaip tik ir tapo tuo skatuliu, kuris visuotinės traukos jėgą pavertė Niutonui įtikinama vizija.

Taip pat manau, kad egzistuoja ganėtinai tikėtinas kelias, prasidėjęs nuo minties apie obuolį, kaip nuo vidinio nušvitimo blyksnio, galiausiai išsirutuliojusio iki mintinio Kalno eksperimento. Ši mintis paprasta, tačiau labai graži. Jeigu pagalvosime apie Žemės įtaką, „nusidriekusią iki Mėnulio orbitos“, kaip apie trauką, kuria galima paaiškinti Mėnulio skriejimą orbita, padarysime prielaidą apie ryšį tarp dviejų judėjimo rūšių, kurios atrodo labai skirtingos. Gravitacija, kurią galime stebėti Žemėje (pavyzdžiui, žiūrint į obuolius) – tai *kritimo* link Žemės centro procesas. Mėnulio judėjimas orbita aplink Žemę – tai, sprendžiant iš pirmo žvilgsnio, visiškai kitoks reiškinys. Tačiau mintinio Kalno eksperimento esmė – parodyti, kad judėjimas orbita yra nuolatinio kritimo procesas, tačiau (vertinant jį akmens požiūriu) nukreiptas į nuolat judantį taikinį! Ir galite šiame piešinyje pamatyti, kad kiekviename apskritiminės orbitos taške akmens greičio kryptis yra lygiagreti Žemės paviršiui (kitaip tariant, lokaliai „horizontali“), o vidinės orbitos, esančios apskritiminės orbitos viduje, linksta paviršiaus link. Iš užimamos pozicijos (nuo Niutono kalno viršūnės) matydami, kad judėjimas orbita – tai tam tikra kritimo forma, galime susieti Mėnulį su obuoliu.

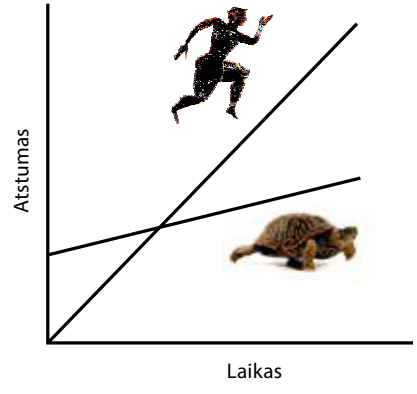
LAIKAS KAIP MATMUO

Net ir patys geriausi mintiniai eksperimentai nieko neįrodo. Prieš mus nusidriekia kelias, vedantis nuo Niutono kalno vaizdinio prie tikslios matematinės teorijos, kurios jis ir siekė. Tai kelias per naują matmenį – per laiką, įsivaizduojamą kitaip.

Niutono kalno piešinyje pavaizduotos kreivės – tai trajektorijos. Kiekviena jų – tai visuma taškų, kuriuos užima kūnas (išmestas akmuo) per einančius vienas po kito laiko momentus. Žinoma, patys savaime jie nėra nei kūnai erdvėje, nei fiziniai objektai tiesiogine žodžio prasme. Tačiau trajektorijos apibūdina geometrinius objektus ir – kaip pamatysime vėliau – yra judėjimo fizikos suvokimo pagrindas. Kad tinkamai jas įvertintume, suteikime joms prieglobstį.

Pavienė trajektorija turi savyje tam tikros informacijos apie pavienio kūno judėjimą, tačiau remdamiesi vien tik kreive negalėsime nustatyti, kada kūnas kirto skirtingus šios kreivės taškus. Kad atkurtume trūkstamą informaciją, ant kreivės taškų galime išdėstyti laiko žymes. Tačiau toks būdas bus nepatogus, jeigu norėsime stebėti kelias trajektorijas vienu metu, nes kiekvienas laiko tarpas atitiks ištisą taškų kratinį, po vieną ant kiekvienos trajektorijos, ir jų išsidėstymas bėgant laikui keisis. Žymiai geresnis sprendimas – žiūrėti į laiką kaip į dar vieną matmenį. Trajektorijos puikiai jaučiasi išplėstinėje konceptualiojoje visatoje – erdvėlaikyje. Kad greičiau prisikastume prie šio iš principo naujo vaizdinio esmės, panagrinėkime gerokai paprastesnę nei Niutono kalnas situaciją, o būtent Zenono Achilo ir vėžlio lenktynių paradoksą. Visų pirma, atkreipkime dėmesį į tai, kad čia trajektorijos erdvėje pateikiamos kaip dvi iš dalies sutampančios tiesės – ne itin informatyvu! Persikėlę į stebėjimo punktą erdvėlaikyje, galime dar kartą įsivaizduoti lenktynes tarp Achilo ir vėžlio taip, kad susidarytume aiškesnę nuomonę ir apie jų rungtynes ir, jei jau to ėmėmės, apie patį judėjimą.

18 PAV. BĖGANT LAIKUI (DEŠINĖJE) IR ACHILAS, IR VĖŽLYS JUDA BĖGIMO TAKU (PIEŠINYJE ŠIS JUDĖJIMAS PAVAIZDUOTAS AUKŠTYN NUKREIPTOMIS PASVIROMIS TIESĖMIS). ACHILO TRAJEKTORIJA KYLA AUKŠTYN STATESNIU KAMPU, NES PER TAM TIKRĄ LAIKO TARPĄ JIS ĮVEIKIA DIDESNĮ ATSTUMĄ. ČIA LAIKAS TAPO TOKIU PAČIU VISAVERČIU MATMENIU PAGRINDU KAIP IR ATSTUMAS (KITAIP TARIANT, ERDVĖ).



Jeigu norime sinchronizuoti abiejų trajektorijų apibūdinimus, pravartu įvesti laiką kaip atskirą dydį – naują matmenį – ir sudėlioti taškus, žyminčius abiejų veikėjų padėtį bet kuriuo momentu. Tai padaryta 18 pav.

Šiame paveikslėlyje loginė Zenono argumento struktūra puikiai atskleista, ir paradoksas išnyksta. Erdvėlaikyje yra dvi trajektorijos – kreivės, kurių viena statesnė už kitą, ir joms nieko kita nebelieka, kaip susikirsti! (Galite kiek pasismaginti fiksuodami laiką, per kurį Achilas pasiekia vėžlio starto tašką, o po to laiką, per kurį Achilas pasiekia tašką, iki kurio nukeliavo vėžlys, kol Achilas buvo jo starto taške... Tokiu būdu atkursite originalią Zenono formuluotę ir išsklaidysite ją gaubiančius neaiškumo debesis.)

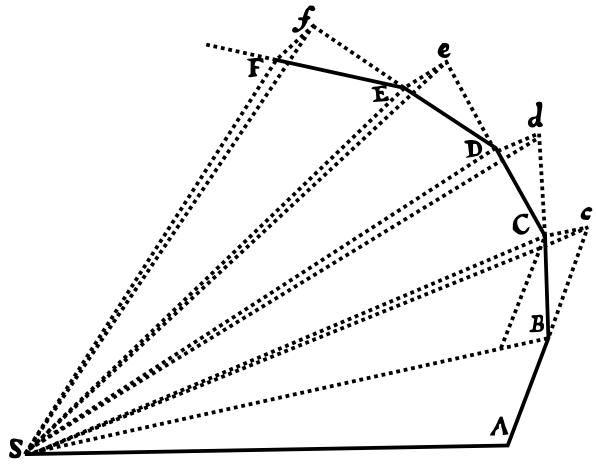
Galime grįžti prie trajektorijų pradine prasme, suprojektuodami erdvėlaikio trajektorijas horizontaliai atstumo koordinačių ašyje, taip nutylėdami visą informaciją apie laiką.

Nuo Niutono kalno paleisto akmens trajektorijos jau buvo nubraižytos dvimatėje erdvėje, todėl jų erdvėlaikio versijos turi atgyti trimatėje erdvėje. Šiame trimačiame erdvėlaikyje apskritiminės orbitos išsiplėtoja į spirales.

Pasitelkę matematinę vaizduotę galite išdėstyti šią schemą ir kitaip: paimkite įprastą dvimatę (arba trimatę) erdvę ir įsivaizduokite, kad tai erdvėlaikis! Tokiu būdu įprastos geometrinės kreivės virsta dinamiškomis trajektorijomis. Arba, kitaip tariant, laikome jas taško *judėjimu* erdve. Niutonas išsamiai išplėtojo šią esminę mintį. Jam tai buvo konceptuali esmė to, ką šiandien vadiname skaičiuote. Niutonas, atradęs šį būdą, pavadino jį *išvestinių metodu*. Taikant šį metodą, kreivės (ir kiti geometriniai objektai) laikomos ne baigtiniais objektais, o esybėmis, bėgant laikui susikūrusiomis per tolygų jų be galų mažų komponentų kitimą.

JUDĖJIMO ANALIZĖ

19 pav. – tai svarbiausia schema iš Niutono *Matematinių gamtos filosofijos pagrindų*, rodanti, kaip analizuojamas judėjimas. Kepleris išplėtojo planetų judėjimą apibūdinančius matematikos dėsnius, tačiau neišvedė šių dėsnių



19 PAV. NIUTONO JUDĖJIMO ANALIZĖ. NUOKRYPIAI NUO JUDĖJIMO TIESE ATSIRANDA DĖL JĖGŲ POVEIKIO.

iš gilesnių fizikinių principų. Šiame paveikslėlyje, taikydamas savo ypatingą analizės metodą – objektų išskaidymą į mažas daleles – Niutonas iškilmingai atskleidžia vidinę Keplerio dėsnių prasmę.

Orbita išskaidoma į daugybę pavienių etapų, kurių kiekvienam tenka labai trumpas laiko intervalas. Tai ne fizikinė, o matematinė idealizacija, tad galime sumažinti šiuos etapus tiek, kiek patinka. Per pakankamai mažą intervalą orbita gali būti aproksimuota kaip tiesė, o objekto greitis, kalbant apytikriai, yra pastovus. Vienas iš Niutono judėjimo dėsnių skelbia, kad kūnas, kurio neveikia išorinės jėgos, išlaiko turėtą greitį (judėjimo būseną) – kitaip tariant, kad jis toliau judės ta pačia kryptimi ir tuo pačiu greičiu. Šioje schemoje matome orbitinių segmentų punktyrinių linijų tąsas, rodančias kelią, kuriuo keliautų kūnas, jeigu staiga pradingtų jį veikianti jėga. Tačiau faktinė orbita skiriasi nuo šių ekstrapoliacijų kaip tik tuo, kad egzistuoja kūną veikianti jėga.

Išsamiai matematiškai išnagrinėję šią problemą galime nustatyti, kokia jėga reikalinga, kad būtų išlaikyta duotoji orbita. Pasinaudodamas Keplerio atrastais dėsningumais (trys dėsniai, apie kuriuos kalbėjome anksčiau) Niutonas tai padarė planetų orbitų atžvilgiu. Pasitelkęs šią analizę, jis priėjo išvadą, kad ši jėga nukreipta į Saulę ir silpnėja proporcingai atstumo iki Saulės kvadratui.

Negalime neatkreipti dėmesio į tai, kad iš esmės ši analizė yra matematinis pagrindinių Niutono mintiniame kalno eksperimente figūruojančių sąvokų realizavimas.

NIUTONO ANAGRAMA

Judėjimo išskaidymas į be galo mažas dalis atsižvelgus į jėgas, lemiančias bet kurį nuokrypį nuo „normalaus“ judėjimo (judėjimo pastoviuoju greičiu) – tai Niutono mechanikos esmė. Nenorėdamas dalytis savo paslaptimis, tačiau aistringai trokšdamas įtvirtinti savo pranašumą, Niutonas paskelbė šią anagramą:

6a cc d æ 13e ff 7i 3l 9n 4o 4q rr
4s 8t 12u x

Jos sprendinys* – frazė lotynų kalba:

Data æquatione quotcunque fluentes quantitates involvente, fluxiones invenire; et vice versa.

Vladimiras Arnoldas, garsus XX a. matematikas ir aistringas Niutono darbų tyrinėtojas, paslaugiai siūlo tokį jos vertimą:

Diferencialines lygtis spręsti naudinga.

* *Sprendinyje yra papildoma t – Niutonas nenorėjo, kad užduotis būtų pernelyg lengva.*

O štai išsamesnis vertimas, apibendrinantis mūsų diskusiją:

Judėjimo analizė aptariant smulkiausias jo dalis – geras dalykas. Ji leidžia nustatyti jėgas pagal trajektorijas arba trajektorijas pagal jėgas.

PASAULIO SISTEMA

Iš Keplerio planetų judėjimo dėsnių išvestu visuotinės traukos dėsniu Niutonas rėmėsi numatydamas įspūdingą naujų padarinių kategoriją. Tai buvo iš jo analizės išplaukianti sintezė. Štai nepilnas šių padarinių sąrašas:

- Visuotinę traukos jėgos prigimtį jaučiame Žemėje. Atsižvelgdami į Mėnulio judėjimą, jo dydį. Kaip ji kinta priklausomai nuo padėties Žemėje.
- Jupiterio ir Saturno palydovų ir mūsų Mėnulio judėjimas.
- Kometų judėjimas.
- Potvynių ir atoslūgių (kurie susiję su Mėnulio ir Saulės traukos jėga) priežastys ir jų pagrindinės savybės.
- Žemės forma: ji šiek tiek suplota.
- Lėtas Žemės ašies svyravimas maždaug 1° kas 72 metai. „Ekvinokcijų procesijos“ padarinius pastebėjo dar senovės Graikijos astronomai, tačiau anksčiau nei jie, nei kas nors kitas nė iš tolo nesugebėjo jų paaiškinti.

Visi šie atradimai buvo kiekybiniai, ir kai kuriuos jų buvo galima pakankamai preciziškai patikrinti. Visus juos buvo galima patvirtinti nuodugnesniais stebėjimais ir sudėtingesniais apskaičiavimais be jokių principinių pakeitimų.

Trečiąją savo *Matematinių gamtos filosofijos pagrindų* knygą, kurioje išdėstė savo sintezės esmę, Niutonas pavadino *The System of the World (Pasaulio sistema)*. Nieko panašaus anksčiau parašyta nebuvo. Ėmęsis kai kurių

didžiųjų kosmologijos problemų, Niutonas taikydamas matematinius principus išsprendė jas lig tol negirdėtu ir potencialiai neribotu tikslumu.

Realu *ir* idealu.

DINAMIKOS GROŽIS

Niutono dinamikos dėsniai atskleidžia fizinio pasaulio grožį, tačiau šis grožis labai skiriasi nuo to, kurio siekė Pitagoras ir Platonas. Dinamikos grožis ne toks akivaizdus, ir norint jį suvokti reikia lakesnės vaizduotės. Tai dėsnių, o ne objektų grožis, kurį galima pajusti juslėmis.

Palyginę Platono kūnais pagrįstą Keplerio Saulės sistemos modelį su Niutono pasaulio sistema, galime pamatyti skirtumą. Keplerio modelyje pati Saulės sistema – gražus objektas, įkūnijantis tobulą simetriją. Jos elementai – tai sferos, kurias dalijasi penki idealūs Platono kūnai. Niutono sistemoje realiosios planetų orbitos atspindi pradinį Dievo sumanymą, galbūt kiek iškraipytą laiko (išsamiau apie tai toliau). Dievas savo užmojus veikiausiai grindė kitokiais sumetimais, nei matematinė mistika, todėl niekas nesitiki atrasti grožį tikrosiose orbitose – ir jo ten nė neieško. Gražios ne pačios orbitos, o visų galimų orbitų pagrindą sudarantys bendrieji principai ir tų orbitų visuma. Tai Niutono kalno grožis, kurį dar labiau išryškina detalus išplėtojimas.

SUPAPRASTINIMAS SKATINA AUGIMĄ

Niutono analizės ir sintezės metodas turi ir kitą pavadinimą – redukcionizmas (supaprastinimas). Sakoma, kad sudėtingas objektas arba daiktas buvo „supaprastintas“ iki kažko ne tokio sudėtingo, jeigu buvo įrodyta ar manoma, kad galima sudėtingesnius objektus analizuoti per jų sudedamąsias dalis, o po to susintetinti jų elgesį iš šių pavienių dalių elgesio.

Redukcionizmas – prastas pavadinimas, ir ne tik todėl, kad pats žodis „redukcionizmas“ skamba blogai. Šio žodžio pirminė prasmė verčia manyti, kad jei remdamiesi analizės ir sintezės metodu supratote kokį nors reiškinį ar daiktą, tai kažkokiu būdų jį supaprastinote. Kad puikus ir sudėtingas objektas dabar virto „tik“ pavienių dalių suma. Jei jau apie tai prakalbome – ir kai paliečiamas žmogus, tai pradeda trikdyti – galimas daiktas, kad jūs pats ir tie, kuriuos mylite, esate „tik“ molekulių rinkiniai, funkcionuojantys tam tikra numatyta tvarka, kitaip tariant, besielgiantys pagal tam tikras matematikos taisykles.

Romantizmo epochos poetai ir dailininkai, reaguodami į Niutono „redukcionistinio“ mokslo triumfą, išreiškė susirūpinimą dėl jam būdingo motyvo „tik“. Džonas Kitsas (John Keats), pats lyriškiausias iš visų lyrikų, rašė:

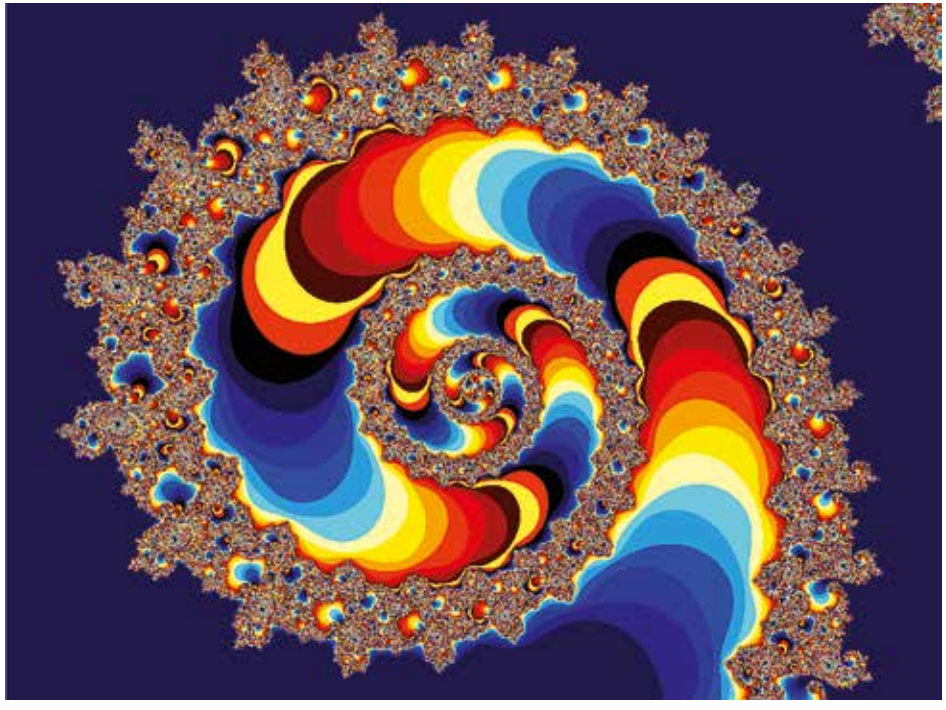
Argi ne visi stebuklai išsisklaido,
Vos paliesti šaltos filosofijos?!
Kartą danguje pasirodė nuostabi vaivorykštė:
žinome jos raštą, jos audinį; dabar ji įtraukta į
Įprastų dalykų katalogą.
Filosofija pakirps angelui sparnus,
Įveiks visus stebuklus taisyklėmis ir linijomis,
Išvalys nuo vaiduoklių ir nykštukų orą bei olas,
Išpins vaivorykštės pynę…[*]

Viljamas Bleikas (William Blake) protestavo prieš redukcionistinio požiūrio siaurumą (spalvota iliustracija K). Šis dirbančio Izaoko Niutono paveikslas puikiai perteikia prieštaringus autoriaus jausmus mokslininko atžvilgiu. Bleiko Niutonas – tai ypač susikaupęs, įnikęs į darbą žmogus antžmogio kūnu. Kita vertus, jis žvelgia prigesusiu žvilgsniu žemyn, pasimetęs tarp abstrakcijų, tiesiogine prasme nusigręžęs nuo neįprasto, spalvų kupino peizažo. Vis dėlto Bleikas (kaip ir Kitsas) pripažino, kad pasaulį valdo matematinė tvarka (spalvota iliustracija L). Čia sudėtingoje Bleiko

* John Keats, *Lamia*, laisvas ištraukos vertimas. *Vert. pastaba*.

ILIUSTRACIJA K. TAIP VILJAMAS BLEIKAS ĮSIVAIZDAVO DIRBANTĮ IZAOKĄ NIUTONĄ.

ILIUSTRACIJA L. BLEIKO ATVAIZDUOTAS PASAULIO SUKŪRĖJAS IR ĮSTATYMŲ LEIDĖJAS URIZENAS (JURIZENAS).



ILIUSTRACIJA M. TAISYKLINGIEJI FRAKTALAI SUDAROMI PAGAL PAPRASTAS, GRIEŽTAS MATEMATIKOS TAISYKLES. ŠIS SUDĖTINGAS VAIZDAS SUKURTAS PASITELKUS TRUMPĄ KOMPIUTERIO PROGRAMĄ.

mitologijos iliustracijoje atvaizduotas Urizenas* – dualistinė Tėvo figūra, tuo pačiu metu ir suteikianti gyvenimą, ir jį suvaržanti. Sunku nepastebėti tam tikro panašumo į ankstesnį paveikslą. Ar Niutonas yra Urizeno aiškintojas, ar jo reinkarnacija?

Geras paveikslas gali žymiai veiksmingiau žadinti emocines reakcijas nei pamokomos gražbylystės. Prieš mus išties „paveikslas, vertas tūkstančio žodžių“. Atsivertę spalvotą iliustraciją M pamėginkite keletą akimirkų nekreipti dėmesio į užrašą. Tiesiog pasimėgaukite nepaprastai įspūdingu abstrakčiojo meno kūriniu.

Na, o dabar perskaitykite užrašą po šia iliustracija (jeigu to dar nepadarėte). Argi žinojimas to, kad šį paveikslą galima „redukuoti“ iki grynos matematikos, atima iš jo grožį? O mano ir, tikiuosi, jūsų, požiūriu, atradimas, kad paprasta matematika gali užkoduoti šią struktūrą, tik *prideda* jai grožio. Žinoma, ji vis tiek atrodo kaip paveikslas. Tačiau dabar taip pat galite savo vidine akimi pažvelgti į šį paveikslą iš kitos perspektyvos – kaip į idėjų įkūnijimą. Jis vienu metu ir realus, ir idealus.

Ir priešingai, paveikslo grožis sustiprina matematikos grožį. Sekti programos kūrimo logiką nematant, ką iš jos galima gauti – ne pats linksmiausias užsiėmimas. O kai matote išeitinius duomenis, tas pats procesas virsta intelektualiu ieškojimu, leidžiančiu siekti tobulybės.

Tai, kas realu, siekia tapti idealiu, o tai, kas idealu – realiu.

Kalbant apibendrintai apie šį fraktalinį meną – supratimas nesumenkina patirties, o veikiau atveria alternatyvius požiūrius. Pasitelkę papildomumo dvasią, galime mėgautis bet kuria iš alternatyvų paeiliui, jeigu negalime mėgautis jomis visomis iš karto.

Beje, galiu drąsiai kirsti lažybų, kad Kitsas taip ir neįveikė vaivorykštės mokslinės teorijos. Jeigu jis būtų su ja susidorojęs, dabar skaitytume jo eilėraščius, šlovinančius vaivorykštės grožį! Juk Džonas Kitsas parašė ir šias eilutes:

* Urizenas (sin. Jurizenas) – sudėtingoje Viljamo Bleiko mitologijoje įkūnija įprastinį mąstymą ir ribotumą. Jis dažniausiai vaizduojamas kaip barzdotas žilas senis su architekto įrankiais, kuriais konstruoja visatą ir ją suvaržo. *Red. pastaba*.

Kai šitą kartą pasiglemš tamsa,
Kitų skausmus maldysi nemari,
Kalbėsi žmogui: „Grožis – tai tiesa,
Tiesa – tai grožis“, – viskas, ką užgimęs
Žinai pasauly ir žinot turi.[*]

PRADŽIA

Dinaminiame požiūryje į pasaulį egzistuoja dar vienas aspektas, priartinęs Niutoną prie Dievo ir iškėlęs klausimų, į kuriuos iki šiol nerasta atsakymų.

Dinamikos dėsniai – tai judėjimo dėsniai. Jie susieja pasaulio būseną vienu metu su jo būsenomis visais kitais momentais. Jeigu žinome, kokia yra būsena vienu metu, galime numatyti ateitį arba ekstrapoliuoti į praeitį. Konkrečiai kalbant, jeigu mums žinoma visų dalelių padėtis, greitis ir masė tam tikru momentu, taip pat tarp jų sąveikaujančios jėgos, Niutono mechanika leidžia mums apskaičiuoti, kokia bus jų padėtis ir greitis (ir masė, kuri nekinta) bet kuriuo kitu momentu. Šie dydžiai nulemia pasaulio būseną, nes Niutono mechanikoje jie išsamiai apibūdina medžiagą.

Esama tam tikrų praktinių sunkumų, kurie trukdo realiai atlikti šiuos apskaičiavimus, ir tą gali patvirtinti bet kuris žmogus, tyrinėjantis oro sąlygas. Pasaulyje egzistuoja galybė dalelių, todėl visiškai nerealu nustatyti jų visų koordinates ir greitį. Net jei ir sugebėtumėte tą padaryti ir jeigu tiksliai žinotumėte visus veikiančių jėgų dėsnius, būtini apskaičiavimai išgąsdintų bet kurį protą, kurį tik įmanoma įsivaizduoti. Negana to, svarbiausias chaoso teorijos rezultatas yra įrodymas, kad mažos klaidelės palei visą liniją – pirminėmis sąlygomis, jėgų sąveikos dėsniuose arba skaitmeniniuose skaičiavimuose – ilgainiui linkusios virsti didelėmis klaidomis.

Jeigu atmesime praktinius sunkumus, esminė mintis būtų tokia: jums reikia atskaitos taško! Dinaminės lygtys nėra savarankiškos. Kalbant mums įprastu žargonu, joms būtinos tam tikros *pradinės sąlygos*. Kad galėtumėte

* Vertė Kornelijus Platelis. *Vert. pastaba.*

pradėti pasaulio elgesio skaičiavimus dinaminėmis lygtimis, iš pradžių turite nustatyti pasaulio būseną tam tikru laiko momentu kaip įvesties duomenis.

(Žinoma, jeigu jus dominantis objektas nėra toks didelis kaip visas pasaulis ir jei galite veiksmingai išskirti jį iš visumos, jums reikia žinoti tik šio išskirto posistemio būseną. Kad būtų paprasčiau, ir toliau kalbėsiu apie „pasaulį“.)

Pasaulio aprašymą galima padalyti į dvi dalis:

1. Dinaminės lygtys.
2. Pradinės sąlygos.

Iš Saulės sistemos, kur visos planetos sukasi aplink Saulę beveik apskritomis orbitomis, visos beveik vienoje plokštumoje, visos viena kryptimi, reguliarumo ir tvarkos Niutonas savo veikalo *Matematinių gamtos filosofijos pagrindų* baigiamojoje dalyje *General Scholium (Bendras pamokymas)* daro prielaidą, kad pradinės sąlygos išdėstytos apgalvotai:

> *Tokia grakšti sistema, sudaryta iš Saulės, planetų ir kometų, negalėjo atsirasti be protingos ir galingos būtybės plano ir įsikišimo.*

Šiandien turime kur kas žemiškesnių, fizikiniais duomenimis pagrįstų idėjų apie Saulės sistemos kilmę, tačiau giluminiai klausimai liko neišspręsti. Nors Niutono mechaniką, kaip fundamentalią teoriją, išstūmė kitos teorijos, ši jos savybė išliko. Vis dar turime dinamines lygtis ir joms vis dar būtinos pradinės sąlygos. Mūsų pasaulio apibūdinimas padalytas į dvi dalis: dinamiką ir pradines sąlygas. Pirmajai pagrįsti turime nuostabią teoriją, o pastarąją galime apibūdinti remdamiesi tik empiriniais stebėjimais ir neišbaigtomis, daugmaž patikimomis hipotezėmis.

Kad pamatytume tikrovę „Dievo akimi“, kaip esminį dalyką, išskleidę visą visatą erdvėlaikyje prieisime prie Parmenido nekintamo Vienio klausimų šiuolaikinių formų. Didis XX a. fizikas ir matematikas Hermannas Weylis (Hermanas Veilis), kurio knygos įnešė ganėtinai didelį indėlį į mano išsilavinimą, suformulavo tai tokiu būdu, kad ėmiau laikyti šias eilutes vertomis užimti garbingą vietą tarp pačių nuostabiausių ir giliausių pasaulinės

literatūros fragmentų:

> *Objektyvusis pasaulis tiesiog yra, jis* ***nėra atsitiktinumas****. Tik mano sąmonės įdėmiam žvilgsniui, lėtai slenkančiam mano kūno gyvybės linija, atgimsta ši pasaulio dalis kaip erdve skriejantis atvaizdas, nuolat kintantis laike.*

Jeigu Parmenidas ir Weylis teisūs – jei erdvėlaikis kaip visuma yra pirminė tikrovė, tada turime siekti esminio jos visybės apibūdinimo. Ir šiame apibūdinime neliks vietos pradinėms sąlygoms.

MAKSVELAS I

DIEVO ESTETIKA

Tikrai šiuolaikinė fizika atsirado 1864 m., kai Džeimsas Klerkas Maksvelas (James Clerk Maxwell) paskelbė straipsnį *A Dynamical Theory of the Electrodynamic Field (Elektromagnetinio lauko dinaminė teorija)*. Jame pirmą kartą buvo pateiktos lygtys, kurios vis dar naudojamos ir dabartinėje Pagrindų teorijoje.

Šios – Maksvelo – lygtys daug ką pakeitė.

Erdvę, ligi tol tik talpyklą, Maksvelo lygtys pavertė medžiagine terpe – savotišku kosminiu vandenynu. Buvusi tuštuma prisipildė skysčių, kurie valdo pasaulį.

Maksvelo lygtys leido mums visai kitaip pažvelgti į šviesos prigimtį ir išpranašavo netikėtų spinduliuotės formų – naujų „šviesos“ rūšių – egzistavimą. Jos tiesiogiai atvedė prie radijo išradimo ir įkvėpė keletą kitų svarbių technologijų.

Maksvelo lygtys žymi ir didžiulį postūmį link atsakymo į mūsų Klausimą, nes demonstruoja pasaulyje giliai įsikūnijusias gražias idėjas. Jų grožis

išteka iš daugelio šaltinių: iš jų atradimo būdo, iš jų formos ir iš jų galios įkvėpti kitas nuostabias idėjas.

- Grožis kaip įrankis: Maksvelui matematinio grožio jausmo valdoma vaizduotė ir žaidimas buvo svarbiausi atradimų įrankiai, ir jis įrodė, kad šie įrankiai iš tiesų veikia!
- Grožis kaip patirtis: Maksvelo lygtis galima perteikti vaizdais, srautų kalba. Šiuo pavidalu jos primena savotišką šokį. Aš pats dažnai jas įsivaizduoju kaip sąvokų šokį erdvėlaikyje, ir tai išties didžiulis malonumas. Netgi iš pirmo žvilgsnio Maksvelo lygtys sužadina grožio ir pusiausvyros jausmą. Kaip ir tradiciškesnių meno formų poveikį, šį įspūdį lengviau patirti nei paaiškinti. Paradoksalu, bet yra žodis, įvardijantis meną, kurio negalima apibūdinti žodžiais – „neapsakomas“. Kiekvienas, patyręs neapsakomą Maksvelo lygčių grožį, nusiviltų, jeigu paaiškėtų, kad jos neteisingos. Panašioje padėtyje atsidūrė ir Einšteinas, paklaustas, ar negalėtų būti įrodyta, kad jo bendroji reliatyvumo teorija klaidinga. „Tada man būtų gaila gailestingojo Dievo!“ – atsakė jis.
- Grožis ir simetrija: gilus Maksvelo lygčių supratimas, kuriam prireikė kelių dešimtmečių po jų atradimo, leido atsirasti papildomam, intelektualiai tikslesniam požiūriui į grožį. Tai labai *simetriška* lygčių sistema – tiksliai matematine šio žodžio prasme, kaip aptarsime vėliau. Pamokos, kurias mums suteikia Maksvelo lygtys – kad *lygtys* gali demonstruoti simetriją ir kad Gamtai patinka taikyti tokias lygtis – veda mus prie Pagrindų teorijos, o galbūt dar toliau.

Taigi, atverkime savo sąmonę jų dvasiai!

ATOMAI IR TUŠTUMA?

Niutono fizika ištuštino erdvę, tačiau tai jo nedžiugino. Jo visuotinės traukos dėsnis postuluoja traukos jėgas, kurios veikia tiesiogiai, be jokios delsos,

tarp kūnų, pasiskirsčiusių po erdvę. Be to, šių jėgų didumas priklauso nuo tarpų tarp kūnų, tad jos mažėja proporcingai atstumo tarp jų kvadratui. Tačiau jeigu erdvė, kurioje kūnų nėra, yra tiesiog *niekas*, tada kokiu būdų jėga perduodama? Kaipgi ji peršoka šią prarają? Kodėl jėgos dydis priklauso nuo to, kiek šio „nieko“ yra tarp kūnų?

Niutonas jautė, kad jo sukurta teorija veda prie šių klausimų, tačiau atsakymų į juos jam rasti nepavyko. Ir ne todėl, kad per mažai stengėsi – savo niekur neskelbtuose užrašuose Niutonas prirašė ištisus puslapius pastabų apie alternatyvias traukos idėjas, tačiau nė viena jų neprilygo dėsniui, kurį jis pats privačioje korespondencijoje vadino absurdu:

> *Manyti <...> kad kūnas gali veikti kitą kūną per atstumą vakuume, perduodamas veiksmą ir jėgą kitam kūnui be kažkieno kito tarpininkavimo, mano įsitikinimu, yra toks absurdas, kurio joks žmogus, gebantis kompetentingai vertinti filosofinius dalykus, negali nė įsivaizduoti.*

Niutonas, nors ir nuogąstaudamas, ėmė naudoti tuštumą savo darbuose apie šviesą. Jo šviesos dalelės juda tiesiomis trajektorijomis erdve, kai nėra jokios medžiagos, ir tai labai primena senovės atomizmo doktriną, kurią poetiškai apibūdino Lukrecijus, rašęs, kad šviesa ir šiluma, pasiekianti mus iš Saulės, susideda iš mažų dalelių.

> *Savaime egzistuoja saldumas, savaime egzistuoja kartumas, savaime egzistuoja spalva, gamtą sudaro tik du dalykai:*
> *Tai, visų pirma, atomai, o antra, tuštuma...*

Tačiau pačioje veikalo *Principia* pabaigoje randame šias tikėjimą, o gal veikiau begalinį ilgesį, išreiškiančias eilutes, kurios atrodo, tarsi būtų paimtos iš kitos knygos:

> *O dabar reikėtų šį tą daugiau pasakyti apie tam tikrą, itin subtilią, dvasią, prasiskverbiančią į visus kietuosius kūnus ir tyliai juose glūdinčią; veikiamos šios dvasios jėgos, kūnų dalelės sąveikauja,*

traukdamos viena kitą mažais atstumais, ir susilietusios susijungia; įelektrinti kūnai veikia dideliais atstumais, tiek atstumdami, tiek pritraukdami gretimas daleles; šviesa yra spinduliuojama, atspindima, perlaužiama, išlenkiama ir įkaitina kūnus; sužadinami visi pojūčiai, ir gyvūnų kūnų dalys juda, nes joms įsako valia, o būtent šios dvasios virpesiai, kurie persiduoda raumenims nervų siūleliais iš išorinių juslių organų ir iš smegenų. Tačiau šių dalykų neįmanoma išaiškinti keliais žodžiais, ir mes neturime sukaupę pakankamai eksperimentų, kad galėtume tiksliai apibūdinti ir pademonstruoti šios įelektrintos ir lanksčios dvasios veikimo dėsnius.

Per vėlesnius dešimtmečius tuštumos idėja pagrįsta fizika išgyveno vieną mokslinį triumfą po kito. Tikslesni Mėnulio judėjimo, potvynių ir atoslūgių, taip pat kometų judėjimo stebėjimai idealiai atitiko daugelį tikslių Niutono dėsniais pagrįstų apskaičiavimų. Nuostabu, tačiau tiek elektrinės jėgos (veikiančios tarp krūvį turinčių kūnų), tiek magnetinės jėgos (veikiančios tarp magnetinių polių) buvo išmatuotos pagal tą patį modelį kaip ir traukos jėga: jos sąveikauja tuščioje erdvėje ir mažėja proporcingai atstumo kvadratui. (Taigi, atstumui padidėjus du kartus jėga susilpnėja keturis kartus, o atstumui padidėjus tris kartus ji susilpnėja devynis kartus ir pan.)

Niutono sekėjai netrukus pamiršo apie jo dvejones. Jie tapo labiau „niutoniški“ nei pats Niutonas. Jo paties neigiamas požiūris į tuštumą galiausiai buvo priskirtas filosofiniams ar netgi teologiniams prietarams ir dažniausiai nejaukiai nutylimas. Naujieji ortodoksai siekė apibūdinti visas fizikines jėgas, o galiausiai ir cheminius procesus tokiu pat būdu, kaip kad Niutonas apibūdino gravitaciją, kitaip tariant, kaip jėgas, veikiančias per atstumą ir nuo šio priklausančiu stiprumu. Kad galėtų taikyti naudingus tokių dėsnių padarinius, su matematika susiję fizikai nukaldino įmantrius matematinius instrumentus. Atrodė, jog pakanka sugalvoti dar keletą jėgą apibūdinančių dėsnių – ir visa ši istorija bus užbaigta.

TUŠTUMA ANULIUOTA

Maiklas Faradėjus gimė Anglijoje. Jis buvo trečias vaikas neturtingoje, netradicinę krikščionybę išpažinusioje šeimoje. Jo tėvas buvo kalvis. Maiklas taip ir neįgijo formalaus išsilavinimo. Būdamas paauglys, septynerius metus dirbo knygrišio pameistriu Londone. Tada jį sužavėjo kai kurios jam į rankas pakliuvusios knygos, ypač tos, kuriose buvo kalbama apie saviugdą ir mokslą. Lankydamas žinomo anglų chemiko Hamfrio Deivio (Humphry Davy) viešąsias paskaitas ir kruopščiai vesdamas užrašus, Faradėjus atkreipė į save Deivio dėmesį ir buvo priimtas į darbą šio asistentu. Netrukus jis pats pradėjo daryti atradimus... Ir pateko į istoriją.

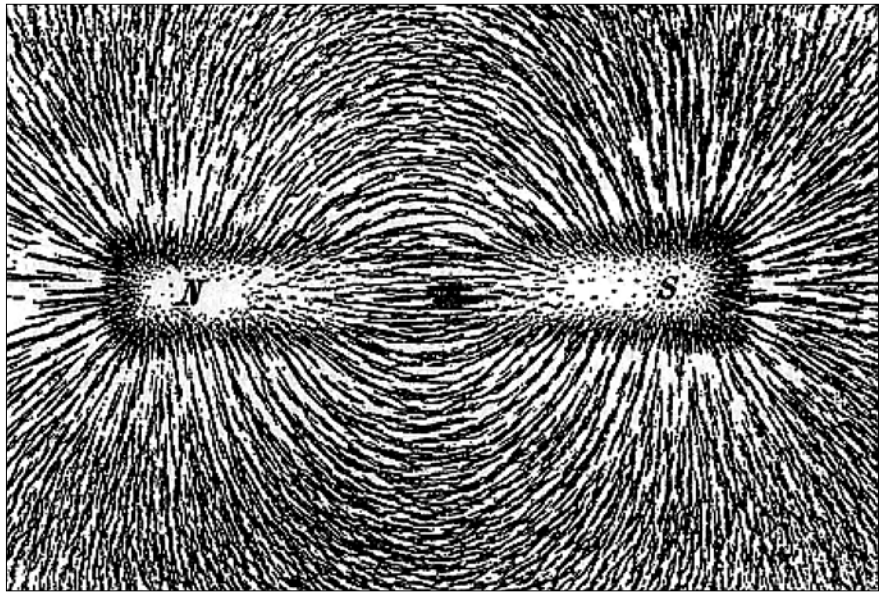
Matematikoje Faradėjus ne itin pasistūmėjo į priekį. Šiek tiek išmanė algebrą ir įgijo paviršutiniškų trigonometrijos žinių, tik tiek. Nepasirengęs suvokti tuo metu egzistavusių („niutoniškų“) matematinių elektros ir magnetizmo teorijų, Faradėjus išplėtojo nuosavas sąvokas ir vaizdinius. Štai kaip Maksvelas apibūdino jo darbo rezultatus:

Faradėjus savo proto akimi matė jėgų linijas, skersai ir išilgai raižančias erdvę, o matematikai regėjo traukos jėgos, veikiančios per atstumą, centrus; ten, kur šie matė tik atstumą, Faradėjus įžvelgė medžiaginę terpę; Faradėjus ieškojo toje terpėje vykstančių realių reiškinių esmės, tuo tarpu kiti džiūgavo ją atradę per atstumą veikiančioje jėgoje.

Čia pagrindinė sąvoka – *jėgų linijos*. Jų prasmę lengviau suvokti iš vaizdų nei iš žodžių – žr. 20 pav.

Geležies drožlės, laisvai judančios ant popieriaus lakšto, laikomo virš strypinio magneto, sudaro nuostabią konfigūraciją. Veikiamos magneto, jos išsidėsto linijomis ir virsta visą erdvę užpildančia kreivių sistema. Tai ir yra Faradėjaus (magnetinės) jėgos linijos.

Tuštuma pagrįsta per atstumą veikiančių jėgų teorija lengvai paaiškina šią demonstraciją: geležies drožlės paklūsta jėgai, sklindančiai iš abiejų magneto polių ir veikiančiai per tuščią erdvę, todėl atitinkamai išsirikiuoja. Jėgos linijos – tai netikėtai pasirodantis, beveik atsitiktinis šalutinis gilesnių ir paprastesnių esminių principų veikimo produktas.



20 PAV. FARADĖJAUS JĖGOS LINIJOS TAMPA MATOMOS.

Tačiau Faradėjus šį reiškinį aiškino kitaip, labiau intuityviai. Anot jo, geležies drožlės tiesiog atskleidžia erdvę užpildančios terpės, *kuri egzistuoja nepriklausomai nuo to, ar joje yra drožlės kartu su jas veikiančiu magnetu, būseną*.

Magnetas išjudina šią terpę, arba, kaip turėtume sakyti sekdami Faradėjum ir Maksvelu, skystį, ir drožlės jaučia šią sužadinto skysčio būseną per slėgį, kuris jas traukia arba atstumia.

Galime įžiūrėti analogiją su mums geriau pažįstamu skysčiu – mūsų Žemės atmosfera. Atmosfera gaubia mus, užpildydama erdvę. Jai judant sakome, kad pučia vėjas. Patys vėjai nematomi, tačiau savo jėga jie veikia žymiai labiau matomus objektus, kaip antai vėjarodžius, paukščius arba debesis. Jeigu įsivaizduosime, kad judiname orą ventiliatoriumi ir naudojamės vėjarodžių sistema norėdami nustatyti jo judėjimo modelį, pavienių vėjarodžių

orientacija parodys mums atmosferos „jėgos linijas“ beveik taip pat, kaip ir Faradėjaus geležies drožlės. Žinoma, šiuo atveju vėjarodžiai išsirikiuos pagal oro srauto (arba vėjo) lokalią kryptį.

Pratęsdami šią analogiją, galime įsivaizduoti, kad prie savo vėjarodžių pritvirtinome oro judėjimo greitį matuojančius prietaisus (anemometrus) norėdami nustatyti ir vėjo kryptį, ir jo greitį. Tą galime padaryti bet kuriame erdvės taške ir bet kuriuo metu. Tokiu būdu apibūdinsime greičių *lauką*, kuris užpildo ir erdvę, ir laiką.

Vėjo greičių laukas užkoduoja skysčio sužadinimo būseną, kitaip tariant – orą.

Faradėjus iškėlė prielaidą, kad ta pati logika pritaikoma ir magnetizmui, ir elektrai. Pasak jo, įelektrintas bandomasis kūnas per bandymą elgiasi lygiai taip, kaip vėjarodžio ir anemometro derinys, leisdamas nustatyti elektrinio skysčio būseną. Bandomasis kūnas jaučia jėgą, kuri priklauso nuo elektrinio skysčio sužadinimo būsenos – vadinamojo „elektrinio vėjo“ – konkrečioje vietoje ir konkrečiu laiku. Padaliję bandomąjį kūną veikiančią jėgą iš to kūno elektros krūvio gausime dydį, kuris nepriklausys nuo to, kokį bandomąjį kūną naudosime jam išmatuoti. Šį santykį vadiname elektrinio lauko verte.

Vengdamas galimos painiavos, šioje vietoje turiu kiek nukrypti nuo pasakojimo, kad aprašyčiau, o po to išspręsčiau erzinančią dviprasmybę, kurią fizikai primesdavo patys sau, savo studentams ir visam likusiam pasauliui ištisus dešimtmečius. O būtent, egzistuoja įprasta praktika terminu „elektrinis laukas“ apibūdinti du akivaizdžiai skirtingus dalykus. Vienas iš jų – tai padalytų iš krūvio jėgos verčių laukas. Kaip ką tik aptarėme, tai vėjo greičio analogija. Deja, terminu „elektrinis laukas“ įprasta apibūdinti ir pagrindą sudarančią terpę (patį elektrinį skystį), kaip priešpriešą jo sužadintai būsenai. Panašiai būtų, jeigu vienu ir tuo pačiu žodžiu būtų apibūdinamas ir vėjas, ir oras. Tais atvejais, kai skirtumas svarbus, šioje knygoje skysčiams apibūdinti vartosiu terminus „elektrinis skystis“ ir „magnetinis skystis“ (o vėliau „gliuonų skystis“...). Šis sprendimas paskatino mane pavartoti kelias neįprastas frazes, kaip antai „kvantinė skysčio teorija“, ten, kur bet kurioje kitoje vietoje pamatytumėte žodžių junginį „kvantinė lauko teorija“. Manau, kad aiškumo sumetimais verta prisiimti šiek tiek ekscentriškumo (lyrinio nukrypimo pabaiga).

Faradėjaus požiūris leido jam padaryti keletą svarbių atradimų, iš kurių vieną – patį svarbiausią – aptarsime jau visai netrukus. Vis dėlto, Faradėjaus teorinės idėjos amžininkams padarė ne itin didelį įspūdį. Veikiausiai jie jas laikė ne revoliucinėmis, o kontrrevoliucinėmis. Iki Niutono dangiškos mechanikos pati įtakingiausia buvo Dekarto sistema – šis buvo tikras, kad planetos juda veikiamos erdvę užpildančių ir jas įsukančių sūkurių. Niutonas pakeitė miglotus Dekarto teiginius paprastais, matematiškai tiksliais judėjimo ir gravitacijos dėsniais, kurie veikė įspūdingai gerai. Tie patys esminiai principai – veikimas per atstumą, jėgos silpnėjimas, proporcingas jos kvadratui – taip pat neblogai tiko elektrai ir magnetizmui apibūdinti. Iškeisti šią solidžią sistemą, kurią palaiko tikslūs apskaičiavimai ir kiekybiniai išmatavimai, į nepatikimas savamokslio fantazuotojo svajones? Vargu ar tai panašu į mokslo išvadomis pagrįstą strategiją!

Tačiau Maksvelas kitaip vertino Faradėjaus prielaidas. Kiek vėliau apibūdinsiu patį Maksvelą kaip asmenybę. (Būsiu atviras: jis mano numylėtinis.) O kol kas pasakysiu tik tiek, kad mokslo problemų, kaip ir paties gyvenimo, atžvilgiu Maksvelas buvo nusiteikęs žaismingai. Manau, kad Faradėjaus skysčiuose jis įžvelgė nuostabius žaislus ir jam patiko kantriai su jais žaisti.

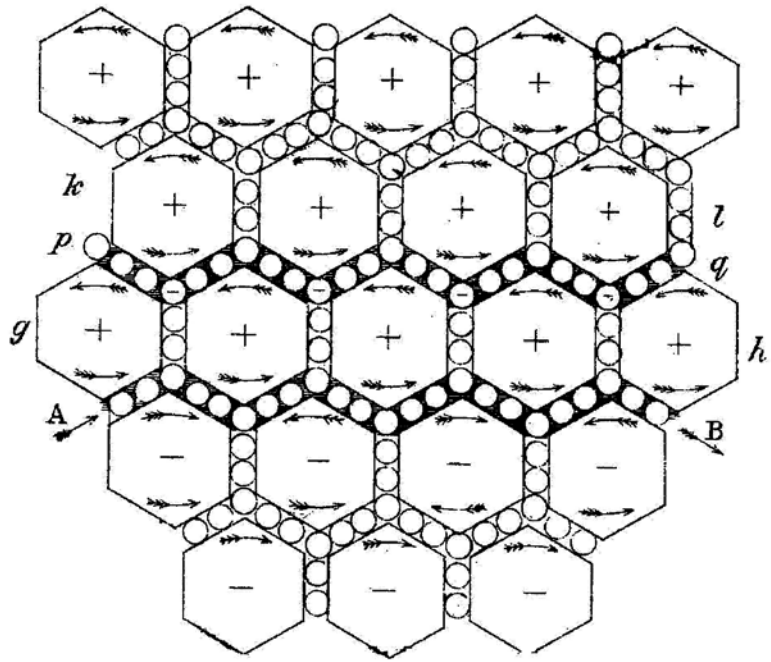
KELIAS Į MAKSVELO LYGTIS

Pirmąjį reikšmingą savo darbą, skirtą elektrai ir magnetizmui (elektromagnetizmui), Maksvelas parašė 1856 m., beveik dešimčia metų anksčiau nei *Dinamikos teoriją*. Jis buvo pavadintas *On Faraday's Lines of Force (Apie Faradėjaus jėgos linijas)*. Maksvelas rašė:

> *Mano sumanymas – parodyti, kaip, griežtai taikant Faradėjaus idėjas ir metodus, jo atrastas ryšys tarp itin skirtingos prigimties reiškinių gali būti aiškiai išdėstytas matematinės mąstysenos kalba.*

Per visus 75 savo darbo puslapius Maksvelas plėtojo Faradėjaus įsivaizduotas vizijas, paversdamas jas tiksliomis geometrinėmis sąvokomis, o po to – matematinėmis lygtimis.

Antrasis svarbus jo darbas pasirodė 1861 m. pavadinimu *On Physical Lines of Force (Apie fizikines jėgos linijas)*. Faradėjaus ir ankstesnis paties Maksvelo darbas suteikė stebimiems elektromagnetizmo reiškiniams naują formą. Pastarieji buvo traktuojami kaip dėsniai, valdantys erdvę užpildančios terpės – elektromagnetinio skysčio (sudaryto, žinoma, iš elektrinio ir magnetinio skysčių) – sužadinimus. Dabar Maksvelas buvo pasirengęs sukurti pačių skysčių mechaninį modelį. Štai kaip jis jį atvaizdavo (21 pav.).



21 PAV. MAKSVELO PATEIKTAS MECHANINIS MEDŽIAGINE TERPE UŽPILDYTOS ERDVĖS MODELIS. ŠIOS TERPĖS JUDĖJIMAS SUKURIA ELEKTROMAGNETINIUS LAUKUS IR JĖGAS.

Maksvelo modelis apima magnetinius sūkurinius atomus (šešiakampius), tarp kurių yra elektrai laidžios sferos. Šios sferos veikia tarsi atomus sutepantis tepalas. Magnetiniai laukai apibūdina magnetinių sūkurių sukimosi greitį ir kryptį, o elektriniai laukai – susijusį su sferų tėkme greičio lauką, arba „vėją“. Nors šis modelis išgalvotas, jis teisingai perteikė tuo metu žinomų elektros ir magnetizmo dėsnių esmę ir leido numanyti, kad egzistuoja kiti dėsniai.

Žaidžiant su Maksvelo modeliu galima linksmai papramogauti ir kiek palavinti smegenis, tačiau tai nėra paprasta pramoga ir ji ne visiems atrodo patraukli, todėl čia nepateiksiu nurodymų, kaip tą daryti. Bet kuriuo atveju šio modelio detalės, nors ir buvo gerai apgalvotos, didelio pasitikėjimo nekėlė – tą gerai suprato ir noriai pripažino ir pats Maksvelas.

Tačiau didelis veikiančio modelio – ar jo projekto – privalumas yra tas, kad jis verčia mus vienu metu būti ir tikslius, ir nuoseklius. Lygčių ir kompiuterinių programų rašymui būtina panašaus pobūdžio drausmė. Tas, kas tuo užsiima, turi subalansuoti savo ambicijas su tikslumu.

Sukdamiesi Maksvelo modelyje magnetinių sūkurių atomai susiploja – tampa plokšti ties poliais ir sustorėję ties pusiauju, kaip Niutono besisukanti Žemė! – ir išstumdo elektrai laidžias sferas. Ir atvirkščiai, elektrai laidžių sferų srautai tam tikra jėga veikia sūkurinius atomus ir gali priversti juos suktis. Bet kurio iš skysčių sužadinimas gali sužadinti kitą skystį. Vadinasi, šis modelis numato prielaidą, kad magnetiniai laukai tam tikru būdu sukuria elektrinius laukus, ir atvirkščiai.

Tokiu būdu, papildydamas jau žinomus elektromagnetizmo reiškinius, Maksvelo modelis išpranašavo šį tą nauja.

Faradėjus eksperimentiniu būdu atrado, kad kisdami lauke magnetiniai laukai sukuria elektrinius laukus. Faradėjaus indukcijos dėsniu, kaip jis ir vadinamas, paremta elektrinių variklių ir generatorių konstrukcija. Jis tapo galingu technikos vystymosi stimulu. Dėsnis pagrindė ir Faradėjaus vidinį įsitikinimą, kad patys laukai – tai savarankiški fizikinės tikrovės elementai. Juk tai dėsnis, kurio veik neįmanoma suformuluoti, jeigu jais nesiremiama! Maksvelo modelis, sumanytas tam, kad Faradėjaus dėsnis įgytų pagrindą, sukūrė dvejopą efektą, kuris leido elektriniam ir magnetiniam laukams pasikeisti vaidmenimis. Maksvelo dėsnis, kaip aš jį vadinu, skelbė, kad kisdami laike elektriniai laukai sukuria magnetinius laukus.

Abiejų efektų derinys, kaip įsitikino pats Maksvelas, atvedė prie naujų nuostabių galimybių. Turėdamas kintančius laike magnetinius laukus, Faradėjus padovanojo mums elektrinius laukus, kurie taip pat kinta laike. Maksvelas, turėdamas laike kintančius elektrinius laukus, padovanojo mums magnetinius laukus, kurie taip pat kinta laike. Ir šis ritmas nepaliaujamas:

… → Faradėjus → Maksvelas → Faradėjus → Maksvelas → …

Taigi, elektrinių ir magnetinių laukų sužadinimas gali gyvuoti savarankiškai, laukams šokant kaip porai, kurios partneriai įkvepia vienas kitą.

Pagal savo modelį Maksvelas galėjo apskaičiuoti, kaip greitai tokie sužadinimai sklis erdve. Jis nustatė, kad jie keliauja tokiu greičiu, kuris sutampa su žinomu, matavimais nustatytu šviesos greičiu. Ir kaip tik čia matome šriftu išskirtą ilgiausią atkarpą iš visų Maksvelo darbų:

Skersinio bangavimo greitis mūsų hipotetinėje terpėje <…> taip tiksliai sutampa su šviesos greičiu <…> jog mes vargu ar galime atsisakyti išvados, kad ***šviesa susideda iš tos pačios terpės, kuri yra elektrinių ir magnetinių reiškinių priežastis, skersinių bangų****.*

Maksvelas puikiai suprato, kad ši greičių darna neatsitiktinė. Jo elektromagnetiniai trikdžiai – tai ir yra šviesa, o šviesa – tai, iš esmės, yra tik trikdis, atsirandantis elektriniuose ir magnetiniuose laukuose.

Skaitydamas šią ištrauką pastebėjau, kad mėginu įsivaizduoti, ką jautė Maksvelas, o tada prisiminiau keletą savo paties darbo epizodų, kai tam tikri dalykai netikėtai sutapdavo, o dar vėliau prisiminiau šias Kitso eilutes:

Esu laimingas. Taip džiūgauja astronomas,
Kuris, pažvelgęs į dangų,
Išvysta naują žvaigždę.
Ar kaip narsus Kortesas, kurio ereliškas žvilgsnis
– Kai jo vyrai žvalgėsi suglumę –
Nuslydęs vandenyno bangomis,

Išvysta nebylias Darjeno kalnų viršūnes.[*]

Šias eilutes noriu kartoti vėl ir vėl!

Maksvelo išvada, jeigu tik ji teisinga, fantastiškai suvienija elektromagnetizmą su optika. Be to, paakina naują, stulbinamą požiūrį į aplinkinį pasaulį. Ji „supaprastino“ šviesą iki elektromagnetizmo – tai išplėstinė redukcija, jeigu tokia kada nors egzistavo!

Tačiau kol pašėlusi Maksvelo prielaida buvo siejama su absurdišku modeliu, ji spindėjo kaip aukso grynuolis purve – vis dar neištesėtu grožio pažadu. Tik pašėlusi prielaida. Reikėjo dar vieno žingsnio – atsijoti šlaką.

ŽMOGUS VORAS

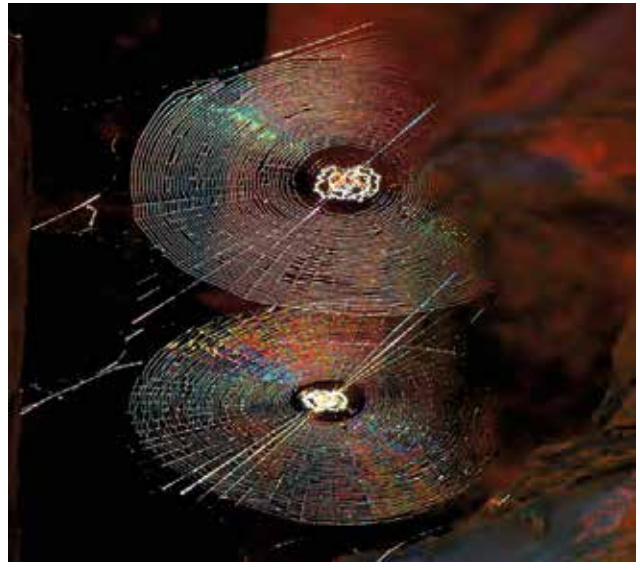
Prieš mums pereinant prie pačių Maksvelo lygčių, norėčiau pasidalyti su jumis fantazija, kuri man toptelėjo rašant šį skyrių.

Įsivaizduokite, kad atsirado labai protingų vorų rasė ir pradėjo kurti savo fiziką. Į ką ji būtų panaši?

Vorų rega silpna, todėl jie nepradėtų nuo tokio pradžios taško, kokį mums suteikia mūsų regimasis suvokimas: tarpusavyje nesusijusių, laisvai judančių savo talpykloje – erdvėje – objektų pasaulio. Vorų jutiminė visata būtų pagrįsta lietimu. Kalbant dar tiksliau, vorai jaučia voratinklio gijų virpėjimą ir pagal jį daro išvadą apie juos veikti skatinančių objektų (ypač apie potencialaus maisto) egzistavimą. Protingiems vorams nereikėtų pernelyg įtempti vaizduotės tam, kad suvoktų jėgų linijas. Jėgą perduodantys, erdvę užpildantys voratinkliai – tai jų įprastas egzistavimo būdas. Jų pasaulis – tai jungčių ir virpesių pasaulis.

Kitaip tariant, vorai būtų visiškai tikri, kad jėgos persiduoda per erdvę užpildančią terpę ir keliauja ja galutiniu greičiu. Jie instinktyviai vengtų tuštumos. Jie visi būtų faradėjai ir žymiai greičiau nei mes būtų išplėtoję žiniatinklio idėją. (22 pav.)

* Laisvas vertimas. *Vert. pastaba.*

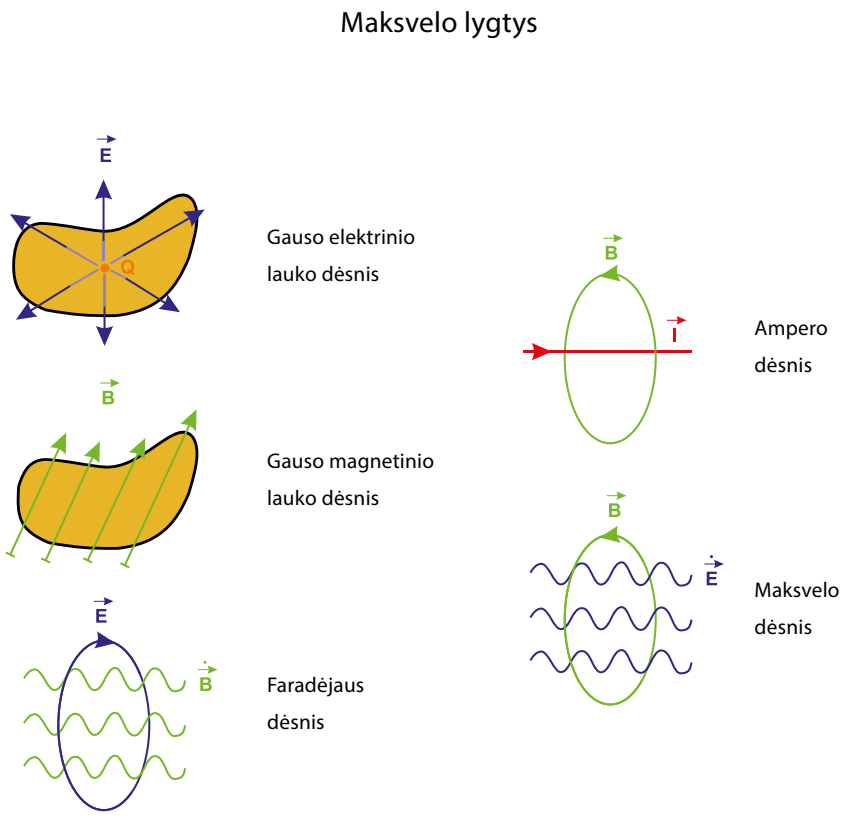


22 PAV. PROTINGI VORAI ĮGYTŲ PRANAŠUMĄ KURDAMI LAUKO TEORIJĄ. PALYGINKITE ŠIUOS VORŲ DARINIUS SU 20 IR 21 PAV.

MAKSVELO LYGTYS

Elektromagnetinio lauko dinaminėje teorijoje Maksvelas viską pradeda iš naujo. Darbas *Apie fizines jėgų linijas* priminė gigantišką Klausimą, apimantį išvadas iš vienos spekuliatyvios hipotezės, kurią reikėjo sutvirtinti tam tikrais įrodymais iš Gamtos. *Dinaminė teorija* laikėsi tų pačių tradicijų kaip ir Niutono *Matematiniai gamtos filosofijos pagrindai*, pereidama nuo stebimų faktų prie pagrindinių lygčių sistemos.

Niutonas rėmėsi Keplerio planetų judėjimo dėsniais, tuo tarpu Maksvelas savo sistemą sunarstė iš keturių dėsnių, kuriuos anksčiau atrado keletas



ILIUSTRACIJA N. MAKSVELO LYGTYS – ELEKTROS, MAGNETIZMO IR ŠVIESOS PAGRINDAS – ATVAIZDUOTOS PAVEIKSLĖLIUOSE.

mokslininkų: tai du Gauso (Gauss) dėsniai, Ampero dėsnis ir Faradėjaus indukcijos dėsnis. (Jų aprašymus rasite toliau šios knygos tekste ir skyriuje *Terminai*.) Maksvelas išreiškė šiuos dėsnius Faradėjaus elektrinio ir magnetinio skysčių kalba, kurią patikslino ir kuriai suteikė matematinę formą savo ankstesniuose darbuose.

Maksvelas pridėjo ir vieną savo dėsnį, antrinantį Faradėjaus dėsniui. Šis papildymas *nebuvo* pagrįstas eksperimentiniais įrodymais. Kaip jau minėjome, Maksvelas nuo pat pradžių buvo linkęs postuluoti šį naują dėsnį, dirbdamas su savo absurdiško modelio padariniais. Šioje naujoje traktuotėje jis parodė, kad naujas dėsnis yra būtinas seniesiems dėsniams suderinti.

Spalvotoje iliustracijoje N vaizdžiai išdėstytos Maksvelo lygtys. Tai, kad jas galima pateikti paveikslėliuose – svarbus jų grožio aspektas. Ši keturių lygčių sistema, apimanti ketvertą anksčiau atrastų dėsnių su vienu papildymu, dabar visuotinai žinoma kaip Maksvelo lygtys. (Šiame ketverte lygčių užšifruoti penki dėsniai, nes viena iš šių lygčių susumuoja du fizikinius reiškinius.) Jos iki šiol tebėra geriausias fundamentalus elektromagnetizmo ir šviesos apibūdinimas.

Čia negaliu atsispirti pagundai išdėstyti tikrąjį Maksvelo lygčių turinį. Po visų šių giriamųjų komentarų jums tikriausiai bus smalsu tiksliai sužinoti, dėl ko visas šis triukšmas!

Mėginau tą padaryti tokiu būdu, kuris ganėtinai trumpas, tikslus ir suprantamas. Tačiau tarp šių tikslų egzistuoja tam tikra įtampa, dėl to ši kelio atkarpa jums gali pasirodyti pernelyg sunki. Rekomenduoju žiūrėti į ją taip, kaip žiūrima į nepažįstamą meno kūrinį – kaip į galimybę, o ne kaip į naštą. Iš pradžių galite perskaityti ją paviršutiniškai ir apmąstyti joje aprašytus vaizdus, kad susidarytumėte bendrą įspūdį. Tada galėsite nuspręsti, ar verta ją perskaityti atidžiau. Ir labai tikiuosi, kad tą padarysite – galų gale, Maksvelo lygtys yra *didis* meno kūrinys. Galite tam skirti laisvalaikį, nes mūsų tolesniuose apmąstymuose daugiau į šias smulkmenas nesigilinsime. Taip pat galite pasiieškoti informacijos skyriuje *Terminai*, kuriame peržvelgiama ta pati sritis, tik kiek kitokiu požiūriu. Komentaruose nurodžiau ir keletą puikių nemokamų interneto svetainių, kuriose galite interaktyviai išstudijuoti Maksvelo lygtis.

Iš pradžių pateiksiu neformaliąją kiekvieno iš penkių fizikos dėsnių, kuriuos apibūdina ketvertas Maksvelo lygčių, versiją, o po to – kiek tikslesnę

versiją, žodžiais ir piešiniais. Kad suprastumėte, apie ką kalbama, vis dirstelėkite į spalvotą iliustraciją N, nes perskaitysime ją visą, eilutė po eilutės.

Iš pradžių leiskite man paaiškinti piešiniuose naudojamų ženklų prasmes:

$\vec{E}$ reiškia elektros lauką, $\vec{B}$ – magnetinį lauką, $\dot{\vec{E}}$ ir $\dot{\vec{B}}$ – šių dydžių kitimo laike greitį, Q – tai elektros krūvis, o $\vec{I}$ – elektros srovė.

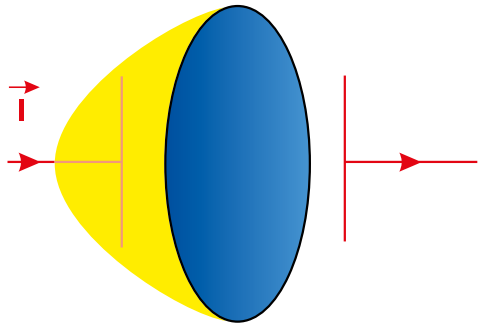
(Mažos rodyklės primena, kad visi šie dydžiai yra vektoriniai – turi ir kryptį, ir tam tikrą dydį.)

Dabar pereikime prie dėsnių:

- *Gauso elektrinio lauko dėsnis* nustato lygybę tarp elektrinio lauko srauto, išeinančio iš tam tikro tūrio, ir elektros krūvio to tūrio viduje. Jis skelbia, kad elektros krūviai – tai elektrinių jėgos linijų užuomazgų (arba jų suardymo) taškai. Jie yra ten, kur elektrinės jėgų linijos gali prasidėti arba pasibaigti.
    - Srauto apibūdinimą lengviausia suprasti pagal asociaciją su skysčio tėkme. Kaip jau esame minėję, elektrinis laukas – tai dydis, kiekviename taške turintis vertę ir kryptį. Greičių laukas tekančiame skystyje tokio pat pobūdžio. Jeigu turime tam tikrą tūrį ir greičių lauką, galime apskaičiuoti, kaip greitai skystis praranda šį tūrį. Pagal apibrėžtį tai ir yra tūrį prarandančio skysčio srautas. Jeigu su elektriniu lauku atliksime tas pačias matematines operacijas, kurias ką tik atlikome su skysčio greičio lauku apskaičiuodami jo srautą, tada gausime (pagal apibrėžtį) elektrinio lauko srautą.
- *Gauso magnetinio lauko dėsnis* skelbia, kad iš bet kurio tūrio išeinančio magnetinio lauko srautas lygus nuliui. Žinoma, Gauso magnetinio lauko dėsnis labai panašus į Gauso elektrinio lauko dėsnį, tačiau kiek supaprastintas – juk magnetinio krūvio negali būti! Jis skelbia, kad magnetiniai laukai neturi užuomazgų – magnetinės jėgos linijos niekada nesibaigia, o veikiau turi arba tęstis amžinai, arba užsidaryti pačios.
- *Faradėjaus dėsnis* ypač įdomus, nes apima laiką. Šis dėsnis nutiesia ryšį tarp elektrinių laukų ir magnetinių laukų *kitimo greičio*. Jis skelbia, kad kisdami laike magnetiniai laukai sukuria elektrinius laukus, kurie aplink juos sūkuriuoja.
    - Kad tiksliai suformuluotume Faradėjaus dėsnį, aptarkime kreivę, kuri sudaro paviršiaus ribą. Faradėjaus dėsnis prilygina elektrinio lauko cirkuliaciją šiuo kontūru (su minuso ženklu) magnetinio srauto greičio kitimui šiame paviršiuje. Cirkuliaciją, kaip ir srautą, lengviausia suprasti per asociaciją su greičių lauku skysčio tėkmėje. Įsivaizduokime, kad šią kreivę išplėtėme tiek, jog ji virto siauru vamzdeliu, ir apskaičiuokime per laiko vienetą šiuo vamzdeliu pratekančio skysčio kiekį. Tai ir yra skysčio tėkmės cirkuliacija. Su elektriniu lauku atlikę tas pačias matematines operacijas, kurias atlikome su skysčių cirkuliacijos greičių lauku, gausime (pagal apibrėžtį) elektrinio lauko cirkuliaciją.
    - Galiausiai, kad būtume kuo tikslesni, turime išspręsti su kryptimi susijusius klausimus: jeigu norime apibūdinti cirkuliaciją, kokia kryptimi turime judėti kontūru? Jeigu norime apibūdinti srautą, kuria kryptimi turime judėti paviršiumi? Kad gautume apibrėžtą santykį, turime šias parinktis susieti tarpusavyje. Standartinis būdas – vadinamoji dešiniosios rankos taisyklė: jeigu judame pagal kreivę ta kryptimi, kurią mums rodo keturi dešiniosios rankos pirštai, tada turime laikyti, kad srautas nukreiptas nykščio kryptimi.
- *Ampero dėsnis* nustato santykį tarp magnetinių laukų ir elektros srovių. Jis skelbia, kad elektros srovės sukuria magnetinius laukus, kurie teka įvija aplink jas.
    - Kad tiksliai suformuluotume Ampero dėsnį, aptarsime kontūrą, kuris sudaro paviršiaus ribą. Ampero dėsnis skelbia lygybę tarp magnetinio lauko cirkuliacijos išilgai kontūro ir elektros srovės srauto paviršiumi.

Verta paminėti, kad ta pati srauto ir cirkuliacijos sąvoka šiuose dėsniuose pasikartoja keletą kartų. Srautas ir cirkuliacija – patys svarbiausi laukų mintinio suvokimo būdai. Atitinkamai, jie apima jėgos linijas, kurios

Maksvelo prieštaravimas



ILIUSTRACIJA O. PRIEŠTARAVIMAS, KURĮ ATRADO IR VĖLIAU PAŠALINO MAKSVELAS. AR SROVĖ TEKA KONTŪRU, AR NETEKA?

driekiasi tolyn ir suformuoja vijas. Jų reikšmingumas fizikos dėsniuose – tai Medžiagos dovana Protui.

Tačiau surinkęs visus šiuos dėsnius kartu Maksvelas aptiko... prieštaravimą! (Laimė, Maksvelo penktasis dėsnis jį ištaiso.) Norėdami jį pamatyti, pažvelkite į spalvotą iliustraciją O.

Problema kyla Ampero dėsnį mėginant pritaikyti tokioms situacijoms, kai elektros srovė nutraukiama. Iliustracijoje O atvaizduota elektros srovė, įtekanti į porą tarpu atskirtų plokštelių ir iš jų ištekanti. (Specialistai tikriausiai atpažino kondensatoriaus schemą.) Pagal Amperą, magnetinė cirkuliacija kontūru lygi srovės srautui, tekančiam bet kuriuo paviršiumi, kurį jis riboja. Tačiau čia gausime skirtingas srauto reikšmes, priklausomai nuo to, kokį paviršių pasirinksime! Paėmę diską tarpe tarp plokštelių (iliustracijoje šis tarpas pavaizduotas mėlyna spalva), gausime nulį. Paėmę pusrutulį, kuris kerta laidą (iliustracijoje geltona spalva), gausime visą srovę.

Ak!

Kad susidorotume su šiuo prieštaravimu, mums reikia kažko naujo. Kiek anksčiau dirbdamas su šiuo modeliu Maksvelas paruošė štai ką:

- *Maksvelo dėsnį*, kaip tam tikrą priešingybę Faradėjaus dėsniui, kuriame sukeisti elektrinio ir magnetinio laukų vaidmenys. Dėsnis skelbia, kad keisdamiesi laike elektriniai laukai sukelia magnetinius laukus, kurie aplink juos sukasi verpetu.

Diskas, įstatytas į tarpą tarp plokštelių, nesustabdo srovės srauto, tačiau apima kintantį elektrinį lauką. Geltonas pusrutulis numato magnetinę cirkuliaciją pagal Ampero dėsnį, tuo tarpu mėlynas diskas numato magnetinę cirkuliaciją pagal Maksvelo dėsnį – tačiau jie abu numato tą patį rezultatą! Prieštaravimas pašalintas. Pridėjus Maksvelo dėsnį, visa jo lygčių sistema tampa darni.

Tokiu būdu Maksvelo dėsnis – kaip patikslinta *Elektromagnetinio lauko dinaminės teorijos* versija – įgyja naują statusą. Jis prarado savo saitus su mechaniniais modeliais, sūkuriuojančiais atomais ir sutepančiomis sferomis. Dabar matome: jis buvo logiškai būtinas tam, kad būtų suderinti visi kiti iš eksperimentų išvesti dėsniai.

MAKSVELO EKSTAZĖ

Maksvelas buvo tikintis krikščionis ir į savo tikėjimą žiūrėjo labai rimtai. Apmąstydamas savo darbą, skirtą elektros ir magnetizmo pasaulio skysčiams, jis buvo visiškai patenkintas:

> *Milžiniškos tarpplanetinės ir tarpžvaigždinės erdvės daugiau nebus laikomos visatos dykynėmis, kurių Kūrėjas nepanoro užpildyti savo karalystės įvairialypės tvarkos simboliais. Dabar matome, kad jos yra sklidinos nuostabios terpės; tokios pilnos, jog jokia žmogiška jėga negali jos pašalinti kad ir iš mažiausios erdvės dalelės arba sukurti kad ir mažytę properšą šiame begaliniame tolydume.*

„IŠMINTINGESNĖS UŽ MUS“

Džeimsas Klerkas Maksvelas mirė 1879 m., būdamas 48 metų amžiaus. Tuo metu jo elektromagnetinių laukų teorija daugeliui atrodė įdomi, tačiau neįtikinama. Buvo rimtai dirbama prie konkuruojančių toliveikos teorijų. Pats ryškiausias Maksvelo teorijos teiginys – kad elektrinis ir magnetinis laukai gali gyvuoti savarankiškai ir sklisti kaip savaime atsinaujinančios bangos – nebuvo patvirtintas.

Tai padarė Heinrichas Hercas (Hainrich Hertz), pirmasis toliau išplėtojęs šią idėją ir 1886 m. pradėjęs eksperimentus, galėjusius patvirtinti Maksvelo idėją. Vertinant retrospektyviai, reikia pripažinti, kad Hercas sukūrė pirmąją radijo siųstuvų ir imtuvų kartą.

(Akivaizdžiai) stebuklinga galimybė keistis informacija dideliais atstumais, tuščia erdve, pasitelkus radiją, kilo iš idėjos, kad tuščia erdvė iš tikrųjų *nėra* tuštuma. Ji pripildyta skysčių ir kupina galimybių.

Heinrichas Hercas mirė 1894 m., būdamas vos 36 metų. Tačiau prieš mirdamas, jis parašė šią nuostabią odę Maksvelo lygtims, kuri tiesiogiai paliečia mūsų Klausimo esmę:

> *Neįmanoma atsikratyti jausmo, kad šios matematinės formulės gali gyventi savarankiškai, kad jos savarankiškai mąsto, kad jos yra išmintingesnės už mus, išmintingesnės netgi už jų atradėjus, kad gauname iš jų daugiau, nei nuo pat pradžių buvo į jas įdėta.*

Apžvelgėme Maksvelo lygtis, ir mus sužavėjo jų išmintis. Šioje ištraukoje Hercas apie lygtis kalba taip, kaip dažnai girdime kalbant apie didžiuosius meno kūrinius – apie tai, kad jų reikšmė nusidriekia žymiai toliau, nei buvo sumanęs jų kūrėjas.

Kas gi tas „daugiau“, apie kurį kalba Hercas?

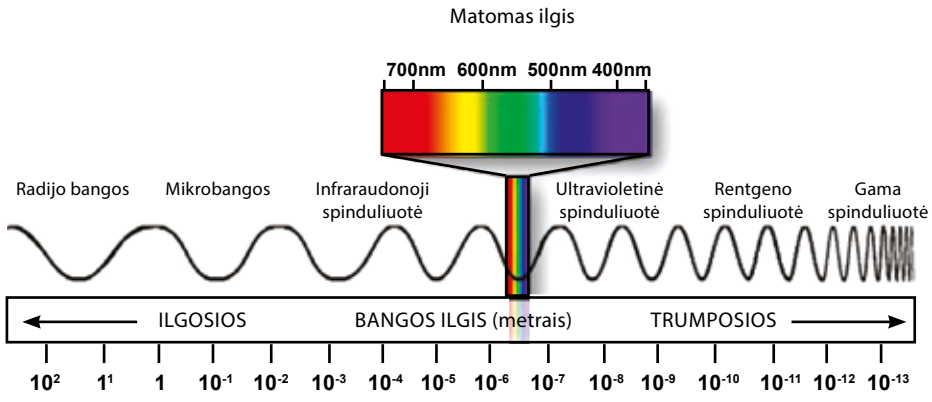
Tai mažiausiai trys dalykai:

- Galia
- Generatyvinis grožis
- Nauja įkvepianti idėja – *lygčių simetrija*.

GALIA

Remdamasis savo sukurtomis lygtimis, Maksvelas spėjo, kad šviesa – tai elektromagnetinė banga. Tačiau regima šviesa – tai tik didžiulio, mums nematomo ir Maksvelo laikais veik niekam nežinomo ledkalnio viršūnė. Galima gauti bet kokio konkretaus ilgio elektromagnetines bangas*, ir Niutono regimos šviesos spektras – tai tik mažytė smiltelė šioje begalybėje, kaip ir parodyta spalvotoje iliustracijoje P. Maksvelo lygčių sprendiniai apibūdina žymiai daugiau, nei regimą šviesą. Egzistuoja sprendimai, kai svyravimai tarp elektrinių ir magnetinių laukų vyksta skirtingais atstumais (bangų ilgiais). Regimasis spektras atitinka siaurą bangos ilgių diapazoną grynų elektromagnetinių bangų begalinio kontinuumo ribose.

* Šiuos dalykus smulkiau aptarsime kitame skyriuje.



ILIUSTRACIJA P. MAKSVELO LYGČIŲ SPRENDINIAI APIBŪDINA ŽYMIAI DAUGIAU, NEI VIEN TIK REGIMĄ ŠVIESĄ. ŠIUOLAIKINĖSE TECHNOLOGIJOSE NAUDOJAME DAUGELĮ KITŲ „ŠVIESOS“ RŪŠIŲ.

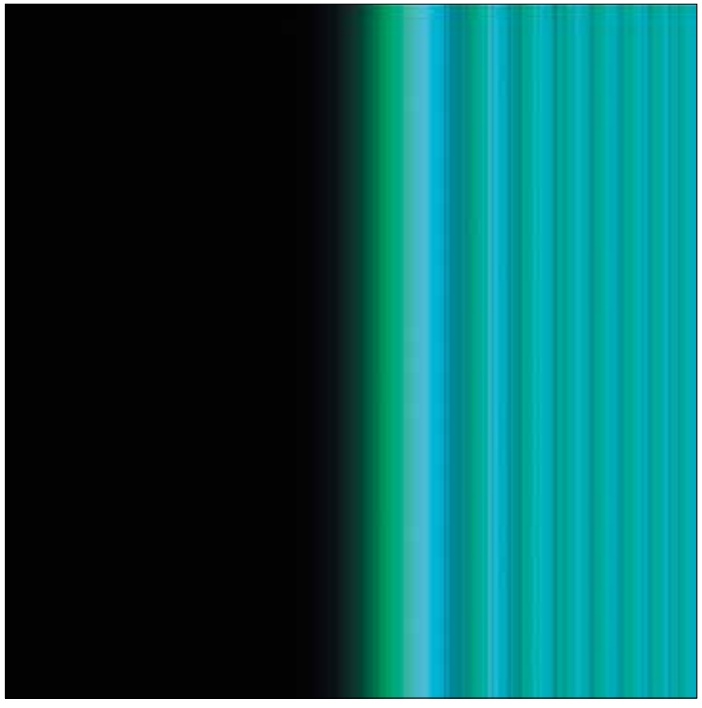
Jau užsiminiau apie novatorišką Herco darbą – jis ne tik padovanojo mums radijo bangas, bet ir padėjo pagrindą radijo technikai. Radijo bangos – tai „šviesa“, kurios bangų ilgis žymiai didesnis, o dažnis žymiai žemesnis nei regimosios šviesos. Kitaip tariant, radijo bangose osciliacija tarp elektrinio ir magnetinio laukų vyksta žymiai laipsniškiau erdvėje ir žymiai lėčiau laike. Pereidami nuo radijo bangų prie trumpesnio ilgio bangų, gausime mikrobangas, infraraudonąją spinduliuotę, regimąją šviesą, ultravioletinę, rentgeno ir gama spinduliuotes. Kiekviena iš šios daugybės „šviesos“ formų išsirutuliojo iš grynai teorinių konstrukcijų – kitaip tariant, svajonės sukūrė šiuolaikinių technologijų versmes. Jos visos – Maksvelo lygtyse. Juk tai jėga!

GENERATYVINIS GROŽIS

Spręsdami Maksvelo lygtis dažnai atrandame, kad jos atveria gražius, stulbinamus darinius.

Pavyzdžiui, spalvotoje iliustracijoje Q parodytas šešėlis, kurį meta skustuvo ašmenys arba bet kuris kitas daiktas aštria ir tiesia briauna, apšviestas „išgryninta“ šviesa. Padidinę išgrynintos šviesos sukeltą šešėlio atvaizdą, gausime sodrų ir gražų raštą.

Geometriniai samprotavimai, grindžiami paprasta idėja, kad šviesa sklinda tik tiesėmis, verčia mus manyti, kad šešėlis – tai aiški skiriamoji linija tarp šviesos ir tamsos. Tačiau apskaičiavę banginius trikdžius elektriniuose ir magnetiniuose laukuose gauname žymiai įmantresnę struktūrą. Šviesa prasiskverbia į tamsą (į geometrinio šešėlio sritį), o tamsa prasiskverbia į šviesą. Šios struktūros modelį galite tiksliai apskaičiuoti pagal Maksvelo lygtis. O dabar, kai jau turime ryškius monochrominius lazerius, galima šias prognozes tiesiogiai susieti su tikrove. Pažvelgus į šią fotografiją, belieka tik sušukti: „Puikumėlis!“



ILIUSTRACIJA Q. ŠEŠĖLIS, KURĮ META AŠTRI BRIAUNA – PAVYZDŽIUI, SKUSTUVO AŠMENYS.

LYGČIŲ SIMETRIJA

Maksvelo lygčių studijos atvėrė mums iš esmės visiškai naują idėją, kurios vaidmuo moksle iki tol nebuvo svarbus. Tai idėja, kad lygtys, kaip ir objektai, gali būti simetriškos, ir kad lygtys, kurias Gamta mėgsta naudoti savo svarbiausiuose dėsniuose, yra itin simetriškos. Pats Maksvelas apie šią idėją nieko nežinojo. Taigi, tai puikus pavyzdys, kaip iš fizikinės teorijos galima gauti žymiai daugiau, nei į ją buvo įdėjęs jos autorius!

Ką reiškia pasakymas, kad lygtys simetriškos? Nors kasdieniame gyvenime žodis „simetrija“ vartojamas įvairiomis, dažnai miglotomis, reikšmėmis, matematikoje ir fizikoje jam suteikiama ganėtinai tiksli prasmė. Čia simetrija reiškia Pokytį be pokyčio. Šis apibūdinimas gali skambėti paslaptingai ar netgi paradoksaliai, tačiau jis reiškia kai ką itin konkretaus.

Iš pradžių aptarkime, kaip šis keistas simetrijos apibrėžimas pritaikomas objektams. Sakome, kad objektas simetriškas, jeigu galime jį paveikti taip, kad jis pakistų, tačiau iš tikrųjų liktų toks pat. Tokiu būdu, pavyzdžiui, apskritimas yra labai simetriškas, nes galima jį sukti aplink centrą, ir nors atrodo, kad jo taškai juda, iš esmės jis tebėra toks pat apskritimas, tuo tarpu jeigu paimsite kitą, labiau kreivašonę, figūrą ir imsite ją sukinėti aplink jos centrą, kaskart gausite vis kitokį vaizdą. Taisyklingas šešiakampis mažiau simetriškas, nes jį turite pasukti 60° (šeštadalį apskritimo dalies), kad gautumėte tokią pačią formą, o lygiakraštis trikampis dar mažiau simetriškas, nes norint gauti tokią pačią formą jį reikia pasukti 120° kampu (trečdalį apskritimo). O dauguma neproporcingų figūrų išvis neturi jokios simetrijos.

Galime eiti ir priešinga kryptimi. Galime pradėti nuo simetrijos ir pereiti prie objektų. Pavyzdžiui, galime ieškoti kreivių, kurios nesikeičia sukamos aplink kokį nors tašką, o tada atrasti, kad apskritimai yra unikalūs tokios simetrijos įsikūnijimai.

Ta pati idėja gali būti pritaikyta lygtims. Štai paprasta lygtis:

$$X = Y$$

…kuri, kaip matote, yra idealiai subalansuota tarp X ir Y. Kyla pagunda

pasakyti, kad ji simetriška. Ir pagal matematinį apibrėžimą ji iš tikrųjų simetriška. Nes jeigu pakeisite X į Y, o Y į X, gausite kitą lygtį, o būtent

$$Y = X$$

Ši nauja lygtis skiriasi forma, tačiau jos turinys lygiai toks pat kaip ankstesnės lygties. Taigi, gauname pokytį be pokyčio, arba simetriją.

O štai jeigu sukeisime vietomis X ir Y, lygtis X = Y + 2 pasikeis į Y = X + 2, ir tai tikrai nėra vienas ir tas pats. Vadinasi, ši lygtis *nėra* simetriška.

Simetrija – tai savybė, kurią vienos lygtys ir lygčių sistemos turi, o kitos – ne.

Aiškėja, kad Maksvelo lygtys turi didžiulį kiekį simetrijos. Egzistuoja daugybė virsmų, kuriuos galite pritaikyti Maksvelo lygtims, ir jos pakeis savo formą, tačiau ne savo esmę. Įdomiosios Maksvelo lygčių simetrijos žymiai sudėtingesnės nei šis ką tik aptartas paviršutiniškas pavyzdys, tačiau principas išlieka toks pat.

Kaip ir objektų atveju, taip ir lygčių atveju galime pasukti priešingu keliu. Užuot sudarinėję lygtis, o po to ieškoję simetrijos, kurią jos leidžia atvaizduoti, kitaip tariant, eidami keliu

lygtis ⇨ simetrija,

…galime pradėti nuo simetrijos ir ieškoti lygčių, leidžiančių ją išreikšti:

simetrija ⇨ lygtys

Stebuklas, kad šis kelias sugrąžina mus prie Maksvelo lygčių! Kitaip tariant, Maksvelo lygtys – tai, iš esmės, vienintelės lygtys, kurios turi savo pačių sukurtą simetriją. Tai apskritimai, kuriuos apibūdina jų pačių išvystyta sukimosi simetrija. Tokiu būdu Maksvelo lygtys apibūdina idealią atitiktį:

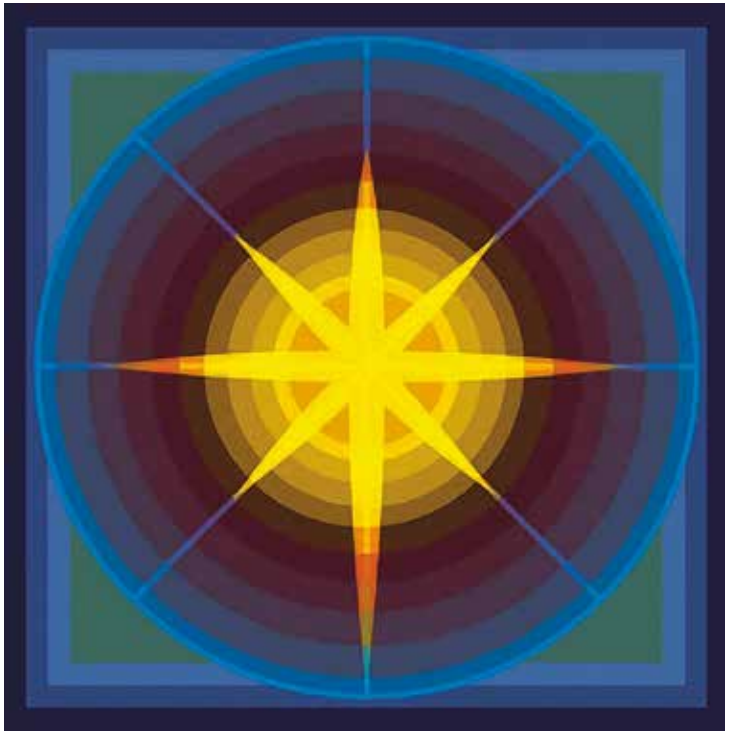
lygtys ⇔ simetrija

Nereikės daug pastangų, kad šiame santykyje pamatytume mūsų trokštamą atitiktį:

Realu ⇔ Idealu

Šiuolaikinės fizikos atstovai šią pamoką priėmė rimtai. Išmokome nuo simetrijos pereiti prie tiesos. Užuot eksperimentavę tam, kad išvestume lygtis ir vėliau nustatytume (didžiai mūsų nuostabai ir džiaugsmui), jog jose daug simetrijos, siūlome lygtis, kuriose glūdi pradinė milžiniška simetrija, o po to tikriname, ar jomis naudojasi Gamta. Tai neįtikėtinai sėkminga strategija.

Šiame skyriuje nagrinėtos susijungimo, simetrijos ir šviesos temos kartu įsilieja į *mandalos* meną. Mandala – tai simbolinis visatos atvaizdas. Ji naudojama kaip meditacijos ir transo instrumentas. Mandalos paprastai rodo aukštą simetriškumo lygį tarp susijusių, sudėtingų dalių ir dažnai būna spalvingos. Manau, kad spalvotojoje iliustracijoje R pavaizduota mandala – puikus šio skyriaus apibendrinimas.



ILIUSTRACIJA R. *DIEVO SŪNAUS GIMIMAS*. R. GOPAKUMARO SKAITMENINIS PIEŠINYS.

MAKSVELAS II

SUVOKIMO DURYS

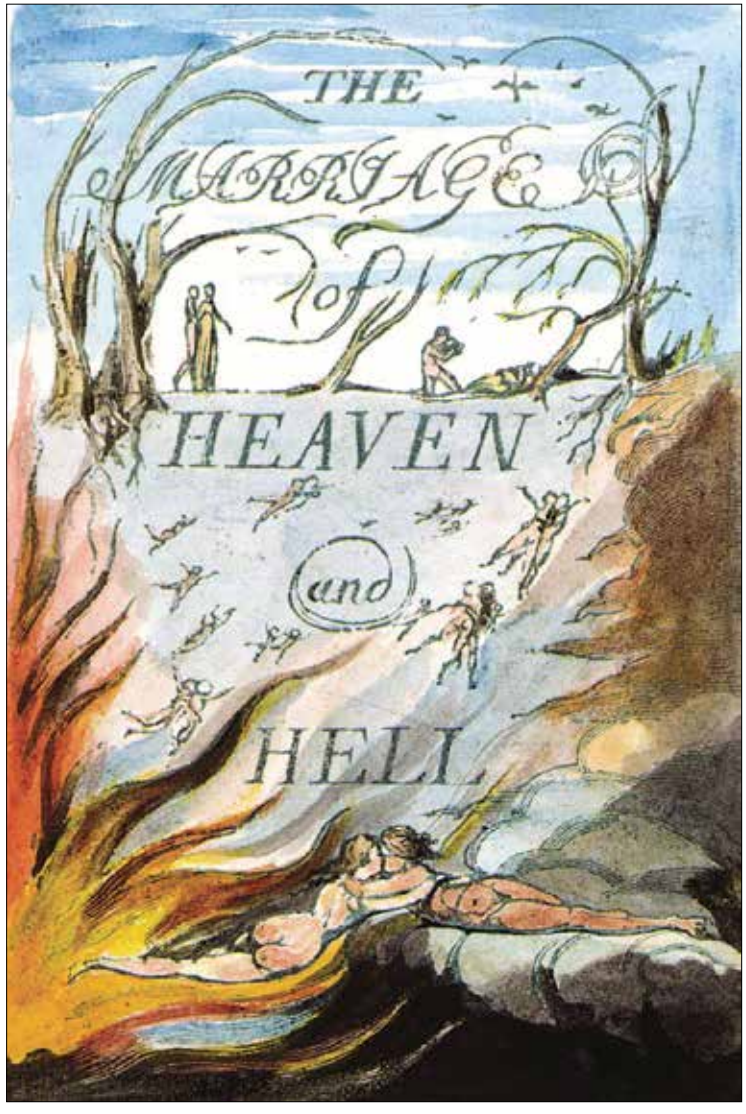
Jeigu pažinimo vartai atsivertų, žmonės pamatytų, kad pasaulis begalinis. Tačiau žmonės atsitvėrė nuo pasaulio, todėl regi jį tik pro siaurą olos angą.

Viljamas Bleikas, *Rojaus ir Pragaro jungtuvės**

Šiame skyriuje sutelksime dėmesį į ypatingą mūsų Klausimo pusę – gražią idėją, kad geriau suvokdami tai, kaip patiriame pasaulį, galime išplėsti jo pažinimą.

Viljamas Bleikas savo fantastiška įvairialype poema *Rojaus ir Pragaro jungtuvės* siekia suvienyti, kaip teigia jis pats, „tai, kas religijoje vadinama Gėriu ir Blogiu“ (žr. spalvotą iliustraciją S). Pasak Bleiko, „Gėris yra pasyvus ir paklūsta Protui. Blogis yra aktyvus, ir jį pagimdo Energija. Gėris – tai Rojus, o Blogis – tai Pragaras“. Mūsų meditacijos tikslai – atrasti Idealaus ir Realaus harmoniją ir pažvelgti į daiktus kaip į visumą – byloja apie tą patį siekį.

* Anglų k. *The Marriage of Heaven and Hell.* Laisvas vertimas. *Vert. pastaba.*



ILIUSTRACIJA S. VILJAMO BLEIKO FANTASTINĖS „MULTIMEDIJOS“ POEMOS *DANGAUS IR PRAGARO JUNGTUVĖS* ANTRAŠTINIS PUSLAPIS.

Bleikas kalba apie didelį urvą, ir ši užuomina verčia mus prisiminti Platono Olą. Platono olos kaliniai regėjo pasaulį nespalvotą, jie neturėjo galimybės pažinti spalvų grožio. Nors mūsų atvejis nėra toks ekstremalus, mes taip pat patiriame tik mažytę dalį to, ką mums gali suteikti šviesa.

Palyginsime visą regos turinio – šviesos – realybę su ta realybės projekcija, kurią sugauna žmogaus rega. Tai buvo Maksvelo mėgstama tema, ir jis labai stengėsi ją išaiškinti.

Šiame kontekste pagrįsime įrodymais Bleiko vizionierišką nuojautą atsakydami į du jo iškeltus klausimus:

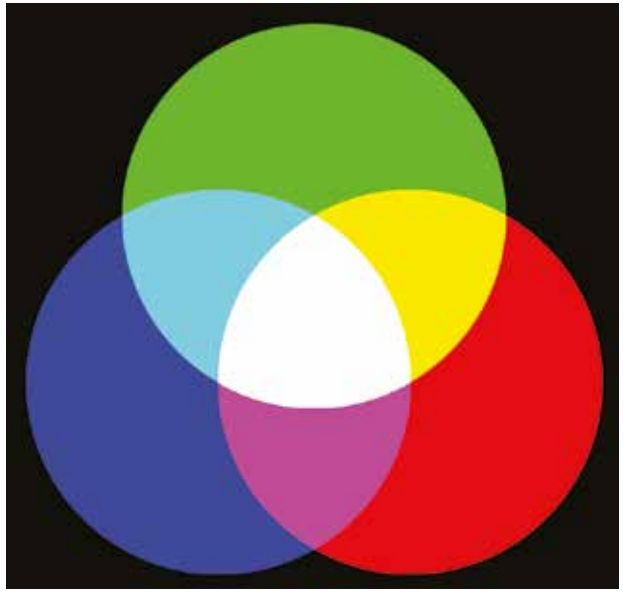
- *Ar egzistuoja mums neprieinamos begalybės?* Taip. Fizikinių spalvų pasaulis – tai dvigubai begalinė erdvė, o mes suvokiame tik trimatę jos projekciją.
- *Ar galime nuo jų nuimti paslapties šydą?* Taip. Klausti reikia ne *ar tai įmanoma*, nes tai tikrai įmanoma, o *kaip tą padaryti* praktiškai.

Mūsų spalvų suvokimo tyrimai taip pat taps puikiu pasirengimu, priartinsiančiu mus prie Gamtos giluminės konstrukcijos suvokimo kituose skyriuose.

Dviejų rūšių geltona

Geltona – viena iš tų spalvų, kurias visada galima pamatyti vaivorykštėje ir spektre, susidarančiame perleidus iš Saulės sklindančią šviesą per trikampę prizmę. Spektrinė geltona spalva – viena iš Niutono grynųjų spalvų. Taip pat kaip raudona, žalia ir mėlyna.

Tačiau egzistuoja dar viena, visiškai kitokia šviesos forma – geltona. Galime suderinti spektrinę raudoną ir spektrinę žalią spalvas, kad gautume nors ir ne spektrinę, bet pakankamai įtikinamą spalvą, kurią suvokiame kaip geltoną (žr. spalvotą iliustraciją T). Tokiu būdu gauta geltona spalva kaip fizikinė esybė labai skiriasi nuo spektrinės geltonos spalvos, nors abi šios spalvos suvokiamos kaip tapačios.



ILIUSTRACIJA T. DERINDAMI SPEKTRO RAUDONĄ, ŽALIĄ IR MĖLYNĄ SPALVAS, GAUSIME DAUGYBĘ SUVOKIAMŲ SPALVŲ, ĮSKAITANT GELTONĄ IR BALTĄ. SPALVA, KURIĄ ŠIUO ATVEJU SUVOKIAME KAIP BALTĄ, ŽYMIAI SKIRIASI NUO BALTOS SPALVOS, ESANČIOS SAULĖS ŠVIESOJE.

Lygiai taip pat visiškai nėra būtina sudėti visas Saulės šviesos spektro spalvas tokiomis pačiomis proporcijomis, kuriomis jos buvo joje, kad būtų gauta balta spalva, atrodanti lygiai taip pat kaip Saulės šviesa. Kaip matyti spalvotoje iliustracijoje T, galima išgauti ganėtinai įtikinamai suvokiamą baltą spalvą, suderinus tarpusavyje tik tris spektrines spalvas – raudoną, žalią ir mėlyną. Tokį „baltą“ spindulį perleidę per prizmę, gausite ne visą vaivorykštę, o tik tris jos linijas. Kaip fizikinė esybė šis spindulys labai skiriasi nuo Saulės šviesos, tačiau žmogaus rega tiek vieną, tiek kitą spalvą suvokia vienodai.

Atkreipkite dėmesį į tai, kad rezultatas, kurį gausite suderinę tarpusavyje keletą skirtingų spalvų šviesos spindulių, kaip parodyta iliustracijoje T, labai skirsis nuo rezultatų, kuriuos gausite sumaišę tų pačių spalvų pigmentus, kai ruošiate dažus arba štrichuojate spalvotais pieštukais. Derinant spalvotus šviesos spindulius, jų šviesa tiesiog sudedama. Su pigmentais viskas kitaip. Paprastai regime pigmentus tokius, kokie jie yra, tarkim, tapant atspindėtoje saulės šviesoje (arba apšviesti kito dirbtinio jos pakaitalo). Spalva, kurią matome atspindėtoje šviesoje, priklauso nuo to, kokias spektro spalvas pigmentai ištraukia, arba sugeria, iš atspindėtos šviesos. Savaime aišku, jog regime tą spalvą, kurią sudaro nesugertos šviesos spindulių derinys. Kai tapydami sumaišote du pigmentus, sudedate šių abiejų spalvų *sugerties* galią. Spalvų papildymas šviesos spindulių pavidalu ir pigmentų nulemtos spalvų sugerties padidinimas – labai skirtingi dalykai. Pavyzdžiui, gana lengvai gausite juodą spalvą – kai nėra atspindžio – derindami pakankamą kiekį įvairių pigmentų, tačiau niekada to nepadarysite derindami įvairių spalvų šviesos spindulius. Todėl neturėtų stebinti tai, kad, apskritai kalbant, skirtingos šviesos spindulių spalvos derinamos visiškai pagal kitas taisykles nei pigmentų spalvos. Spindulių derinimas – iš esmės žymiai paprastesnis ir fizikiniu požiūriu žymiai fundamentalesnis procesas nei pigmentų derinimas, ir kaip tik tai aptarsime toliau.

SPALVOTI SUKUČIAI IR SPALVOTOS DĖŽUTĖS

Esminė idėja, kad skirtingi spektro spalvų deriniai gali atrodyti vienodai, atveda prie platesnio klausimo: kokie, vis dėlto, deriniai atrodo taip pat? Kokio pobūdžio erdvė yra suvokiamų spalvų erdvė?

Prieš pradėdamas savo revoliucinį teorinį darbą, kuriuo nustatė elektromagnetinę šviesos prigimtį, jį dirbdamas ir galiausiai jį užbaigęs, Maksvelas, aiškindamasis šiuos klausimus, atliko daugybę eksperimentų. Pažvelgę atidžiau pamatysime, kad jo rezultatai šioje srityje iš tiesų fundamentalūs. Kaip aptarsime vėliau, jie paskatino sukurti svarbias technologijas ir žada mums duoti dar daugiau.

Jaunojo Maksvelo nuotraukoje (23 pav.) galima pastebėti, kad rankoje jis laiko apskritą, neįprastai atrodantį daiktą. Tai, ką matote, yra sukutis, kurį jis sukūrė specialiai tam, kad geriau ištirtų spalvų suvokimą. Atkreipkite dėmesį, kad ši nuotrauka nespalvota. Tuo metu spalvotoji fotografija dar nebuvo išrasta – tą kiek vėliau padarys pats Maksvelas!

Spalvotas sukutis atrodo kaip žaisliukas – tam tikra prasme jis toks ir yra, tačiau jis yra ir šis tas žymiai svarbesnio. Paprasta, tačiau gili mintis paverčia spalvotą sukutį galingu spalvinio suvokimo tyrinėjimo instrumentu.

Nors tvirtai tikime tuo, kad mūsų rega atveria mums „momentinę“, su dabartine akimirka susijusią, pasaulio būseną ir perteikia mums nenutrūkstamą ir vientisą laike vykstančių įvykių atspindį, tikrovė visiškai kitokia. Mūsų rega – tai veikiau tik eilė momentinių nuotraukų, kurių kiekvienos ekspozicija trunka ½5 sekundės. Mūsų smegenys užpildo tarpus tarp šių užfiksuotų akimirkų, kad sukurtų nepertraukiamumo iliuziją. Šį faktą sėkmingai išnaudoja kino filmų kūrėjai ir televizija: jeigu vaizdas atnaujinamas pakankamai greitai, žmogus nejaučia, kad jį sudaro akimirkinių nuotraukų seka arba greitai atsinaujinančių pavienių vaizdo elementų serija. Spalvoto sukučio veikimas nulemtas to paties regos inertiškumo efekto.

Ant savo sukučių viršaus Maksvelas užklijuodavo dvi apskritas spalvoto popieriaus juosteles (žr. spalvotą iliustraciją U). Greitai įsukę šį sukutį su dviem juostomis aplink jo disko centrą, dėl savo regos inertiškumo abiejų juostų atkarpų sukurtą spalvų derinį suvokiame taip, kaip suvoktume spalvotus šviesos spindulius. Čia ir slypi Maksvelo spalvotojo sukučio genialumas: kai žiūrime į besisukančio sukučio viršų, mūsų akys sudeda atspindėtus *spindulius*. Maksvelo sukonstruoti spalvoti sukučiai leidžia mums visiškai sisteminiu ir kiekybiniu būdu sužinoti, kokie spalvų deriniai atrodo vienodai.

23 PAV. MAKSVELAS LAIKO RANKOJE VIENĄ IŠ PIRMŲJŲ SAVO SPALVOTŲ SUKUČIŲ.

ILIUSTRACIJA U. ŠIĄ FIGŪRĄ UŽKLIJAVĘ ANT TVIRTO KARTONINIO DISKO IR GREITAI ĮSUKĘ APLINK CENTRĄ, GAUSIME RAUDONOS IR ŽALIOS SPALVOS DERINĮ IŠ VIENOS JUOSTOS IR GELTONĄ SPALVĄ IŠ KITOS, IR ŠIAS SPALVAS BUS GALIMA LENGVAI PALYGINTI VIENĄ SU KITA. GALIME REGULIUOTI KIEKVIENOS JUOSTOS RYŠKUMĄ ĮTERPDAMI JUODOS SPALVOS ATKARPAS, KURIOS NEATSPINDI JOKIOS SPALVOS.

Žinoma, taip pat turime patikrinti, ar skirtingi žmonės, stebėdami besisukančius sukučius, mato tuos pačius derinius. Tai iš esmės tiesa, nors tarp pavienių visiškai normalių žmonių pasitaiko tam tikrų skirtumų. Taip pat turime atsižvelgti į tam tikras daltonizmo rūšis ir į tai, kad kai kurie žmonės išsiskiria geresniu gebėjimu skirti spalvas. Tokius nuokrypius nuo normos aptarsime kiek vėliau. Vis dėlto, daugumos žmonių atsakymai sutampa. Taip atsiranda neišsemiamos miglotų filosofinių ginčų temos – ar skirtingi žmonės vienodai *subjektyviai suvokia*, tarkime, raudoną spalvą. Tačiau dėl vieno dalyko galime būti tikri – mano gebėjimas suskaidyti arba suprojektuoti fizinę šviesą į suvokiamas spalvas beveik nesiskiria nuo to paties jūsų gebėjimo. Aš taip pat matau vienų spektro spalvų derinį kaip geltoną spalvą, o kitų – kaip rausvą. O dar svarbiau, kad mes sutariame dėl to, iš kokių spalvų sudarytas kiekvienas derinys. Jeigu būtų kitaip, žmonių samprotavimai apie spalvas būtų be galo painūs!

Svarbiausias šių tyrimų rezultatas – vidinėje juostelėje naudojant tik tris spalvas, galima gauti sutapimą su bet kuria spalva išorinėje juostelėje. Taigi, pavyzdžiui, naudodami spektro raudoną, žalią ir mėlyną spalvas atitinkamomis proporcijomis, galime gauti oranžinę, rusvai violetinę, žalsvai geltoną, rausvai rudą, žydrą, tamsaus bijūno ar bet kurią kitą pageidaujamą spalvą. Tos trys pagrindinės spalvos nebūtinai turi būti raudona, žalia ir mėlyna (RGB)* – tiks beveik bet kurios trys spalvos, įskaitant ir spalvų derinius, jeigu tik jie bus savarankiški. (Jeigu viena iš jūsų pasirinktų pagrindinių spalvų gali būti išgauta kaip kitų dviejų spalvų derinys, ji nesuteiks jokių naujų galimybių.) Kita vertus, mums tikrai reikia trijų pagrindinių spalvų. Jeigu tenkinsitės tik dviem iš jų – nesvarbu, kokiomis – tada jas derinant jums nepavyks išgauti daugelio spalvų.

Kitaip tariant, bet kurią suvokiamą spalvą galime apibūdinti pasakę, kiek raudonos, kiek žalios ir kiek mėlynos paimta tam, kad ji būtų išgauta. Tai visiškai analogiška situacijai, kai nusakome vietą erdvėje, nurodydami, kiek toli ši vieta nuo mūsų į šiaurę ar pietus, į rytus ar vakarus ir pagal vertikalę. Įprasta erdvė – tai trimatis kontinuumas, *ir lygiai tokia pati yra suvokiamų spalvų erdvė*.

* *Red, Green, Blue* santrumpa, paplitusi kompiuterinėje grafikoje, foto- ir videotechnologijose. *Red. pastaba.*

Grįžę prie spalvotos iliustracijos T pamatysime, kad mūsų pagrindinis rezultatas leidžia konstatuoti, jog, derindami santykinį skirtingų spindulių intensyvumą, viduryje, kur visų trijų spindulių šviesa iš dalies sutampa, galime priversti atsirasti bet kurią suvokiamą spalvą, ne vien baltą.

Kitame darbe Maksvelas sugalvojo, kaip suderinti šviesos spindulius tiesiogiai, naudojant įtaisus, kuriuos jis pavadino spalvotomis dėžutėmis. Pagrindinė tokio įrenginio idėja paprasta – išgauti spalvas iš prizminės vaivorykštės tose vietose ir tomis proporcijomis, kurias nustatote, o tada surinkti jas vėl naudojantis veidrodžiais ir lęšiais. Taktinės realizavimo detalės dėl ribotų technologinių to meto galimybių buvo labai įmantrios. Iš esmės, vienintelis prieinamas šviesos šaltinis buvo Saulė, o vienintelis prieinamas šviesą fiksuojantis jutiklis – žmogaus akis. Maksvelo spalvotosios dėžutės buvo didelės – šešių pėdų (183 cm) ilgio ar dar daugiau. Jose buvo veidrodžiai, prizmės ir lęšiai. Ir nors šios spalvotos dėžutės buvo gana griozdiškos, jos leisdavo pasiekti žymiai didesnį matavimų tikslumą nei spalvoti sukučiai.

Maksvelo idėja – išskaidyti šviesą į pavienius pluoštus, atlikti su jais tam tikras manipuliacijas ir vėl sujungti į visumą – novatoriškumu lenkė laiką. Šiuolaikinės technologijos leidžia mums išmėginti žymiai drąsesnes manipuliacijas su šviesa, apie kurias papasakosiu vėliau.

Idėjų įkūnijimas

Tas faktas, kad galima susintetinti visas regimas spalvas derinant tarpusavyje tik trejetą iš jų, plačiai taikomas šiuolaikinėje spalvotoje fotografijoje, televizijoje ir kompiuterinėje grafikoje. Pavyzdžiui, spalvotoje fotografijoje naudojami trijų rūšių šviesai jautrūs dažai. Kompiuterių monitoriuose naudojami trijų rūšių spalvotos šviesos šaltiniai. Kai jums žadama „milijonai spalvų“ ekrane, turima galvoje milijonai skirtingų šių šaltinių santykinio intensyvumo suderinimo būdų. Kitaip tariant, atrenkama *milijonai* skirtingų *taškų*, tačiau visi jie – *trimatėje erdvėje*.

Dailininkams galimybė išgauti tą pačią regimą spalvą daugeliu skirtingų būdų atveria plačias kūrybines erdves. Galima papildyti paveikslo paviršiaus tekstūrą, tuo pačiu išsaugant bendrą spalvą (jos vidurkį). Iš esmės, tai dar

viena spalvoto sukučio rūšis, leidžianti išnaudoti regos inertiškumą erdvėje, o ne laike. Vidurkinimas subtilesnis, todėl užtikrina sodresnę variantų paletę. Kurdami savo šedevrus tokiomis galimybėmis itin dažnai naudodavosi impresionistai, kaip kad Claude'as Monet (Klodas Monė) paveiksle *Šieno stirta*. *Saulėlydis* iš ciklo *Šieno stirtos* (žr. spalvotą iliustraciją V).

Skirtingose (nors ir labai arti viena kitos esančiose) drobės vietose tepdami skirtingus pigmentus atskirai, o ne vieną ant kito, impresionistai taikė strategiją, labai panašią į Maksvelo strategiją, kuria jis vadovavosi kurdamas spalvotus sukučius, perkėlę šią iš laiko į erdvę. Abiem atvejais šviesa iš skirtingų sričių derinama pagal spindulių derinimo taisykles, nes dailininkas derina ne pigmentus, o veikiau jų atspindimą šviesą.

PRARASTOSIOS BEGALYBĖS

Maksvelas mums pasiūlė naują koncepciją to, kas yra šviesa ir kaip mes ją suvokiame. Ir tai visiškai skirtingi dalykai! Kaip nujautė Bleikas, jie *be galo* skirtingi.

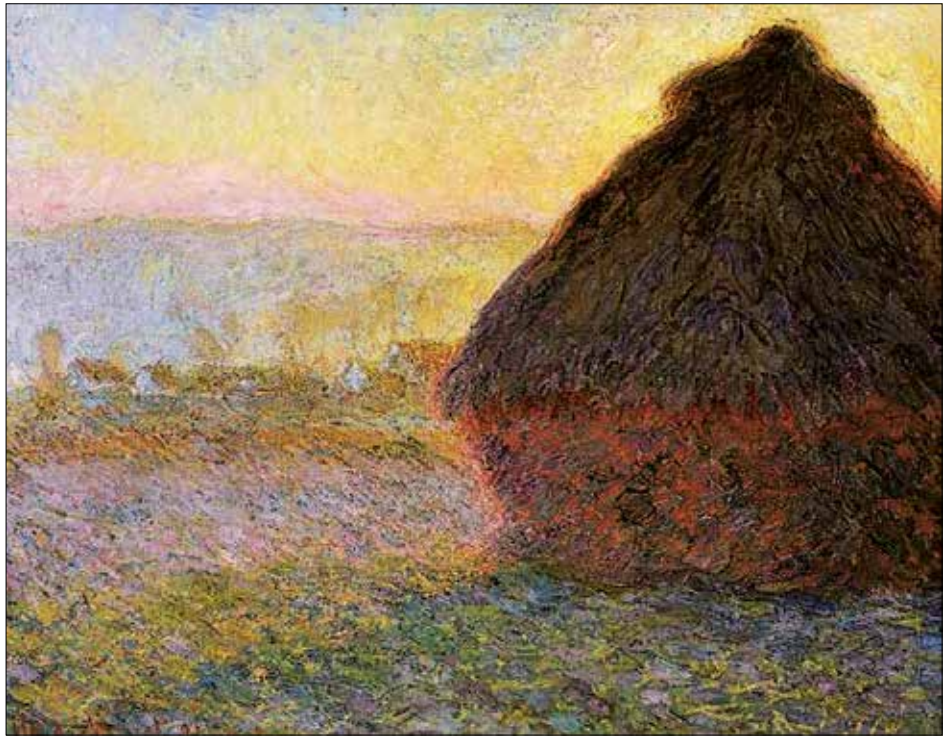
Lygindami visumą to, kas yra aplink mus, su informacija, kurią užfiksuojame, galime tiksliai nustatyti, kas prarasta. O po to galime protingai apsvarstyti, kaip atgauti bent dalį šių praradimų.

Žaliava: elektromagnetinės bangos

Ankstesniame skyriuje užsiminiau apie šviesos atsiradimą iš Maksvelo lygčių. Dabar man norėtųsi panagrinėti šį klausimą kiek giliau. Kaip atlygį galėsime tvirtai nutverti prarastas begalybes.

Savo fundamentalų požiūrį į šviesą Maksvelas apibūdino taip:

> *Kas gi tada yra šviesa pagal elektromagnetinę teoriją? Ji susideda iš kintamų ir priešingų greitai pasikartojančių skersinių magnetinių*



ILIUSTRACIJA V. IMPRESIONISTAI IŠNAUDOJO GALIMYBES KURTI KONKREČIAS SUVOKIAMAS SPALVAS IŠ ĮVAIRIAUSIŲ KITŲ SPALVŲ DERINIŲ. PUIKUS TO PAVYZDYS – CLAUDE'O MONET PAVEIKSLAS *ŠIENO STIRTA (SAULĖLYDIS)* IŠ CIKLO *ŠIENO STIRTOS*.

trikdžių, kuriuos lydi elektrinės slinktys. Tuo pačiu elektrinės slinkties kryptis yra statmena magnetiniam trikdžiui, ir jie abu (slinktis ir trikdis) yra statmeni spindulio krypčiai.

Šio apibūdinimo prasmę atskleidžia spalvota iliustracija W.

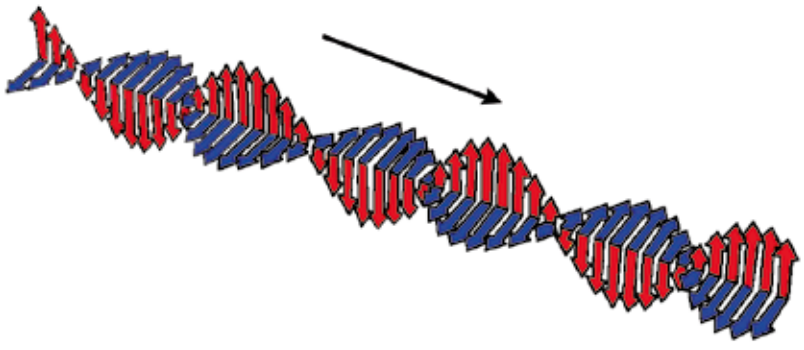
Elektrinis ir magnetinis laukai bet kuriame taške turi ir dydį, ir kryptį, todėl galime juos atvaizduoti spalvotomis rodyklėmis, išeinančiomis iš to taško. Tačiau jeigu tą patį padarytume kiekviename erdvės taške, gautume iš dalies sutampančių rodyklių kratinį, todėl iliustracijoje parodyti tik tie laukai, kurie išsidėstę išilgai vienos linijos.

Įsivaizdavę, kaip visa ši struktūra juda juodos rodyklės kryptimi, pamatysite, kad kiekviename taške elektrinis laukas (raudona spalva) kinta lygiai taip pat, kaip ir magnetinis laukas (mėlyna spalva). Jau ankstesniame skyriuje kalbėjome apie tai, kad elektriniai laukai sukuria magnetinius laukus, o magnetiniai – elektrinius. Galite pamatyti, kad viską išdėsčius teisingai judantys trikdžiai gali būti savaiminiai – tai reiškia, jog pokyčiai elektriniuose laukuose sukelia pokyčius magnetiniuose laukuose tokiu būdu, kad sukurtų elektrinius laukus, kurie sukuria magnetinius laukus, ir visas šis procesas pradeda savarankišką gyvenimą. Tai žygdarbis, vertas barono Miunhauzeno, kuris, jei tikėsime pačiu baronu fon Miunhauzenu, ištraukė save už kasos iš pelkės. Tačiau kalbant apie elektromagnetizmą tai ne pasaka ir ne magiškasis realizmas, o *realistinė magija*.

Kiekviename konkrečiame taške laikui bėgant elektrinio lauko rodyklė tai kyla viršun, tai leidžiasi žemyn, tarsi banguojantis vandens paviršius. Paprastai judančius, savaiminius elektromagnetinius trikdžius vadiname elektromagnetinėmis bangomis.

Mūsų iliustracijoje parodyta ganėtinai paprasta elektromagnetinė banga, kurioje elektrinių ir magnetinių trikdžių piešinys kartojasi vienodais intervalais (ir faktiškai atitinka sinusinę funkciją). Aš tokią bangą vadinu *grynąja* banga, ir netrukus paaiškinsiu kodėl. Šiuo atveju intervalus tarp pasikartojančių trikdžių vadiname bangos ilgiu. Šis piešinys taip pat kartojasi laike; tokių pasikartojimų greitis vadinamas bangos dažniu.

Labai svarbi elektromagnetinių bangų savybė – jas galima multiplikuoti ir sudėti. Tai reiškia, kad jeigu turite Maksvelo lygties elektromagnetinei



ILIUSTRACIJA W. ELEKTROMAGNETINĖS ŠVIESOS PRIGIMTIES AKIMIRKINĖ NUOTRAUKA, PAREMTA (TEISINGA) MAKSVELO TEORIJA. ELEKTRINIAI LAUKAI PARODYTI RAUDONOMIS RODYKLĖMIS, O MAGNETINIAI LAUKAI – MĖLYNOMIS. KARTU SU LAIKO TĖKME ŠIS TRIKDŽIŲ KOMPLEKSAS JUDA APIBRĖŽTA LINIJA PIETRYČIŲ KRYPTIMI – ŠVIESOS GREIČIU!

bangai sprendinį ir jeigu padauginsite elektrinio ir magnetinio laukų reikšmes joje iš bendro koeficiento, ir toliau turėsite Maksvelo lygties sprendinį. Taigi, jeigu padidinsite visas laukų reikšmes sprendinyje, pavyzdžiui, du kartus, gausite kitos rūšies trikdžius, kurie vis tiek išlieka lygties sprendinys. Tai prilygsta dviejų pradinių sprendinių sumai. Taip pat galite sudėti vieną sprendinį su kitu, ir rezultatas vis tiek bus sprendinys. Šios matematinės galimybės atitinka spindulio ryškumo keitimo (sustiprinimo) arba vieno spindulio suderinimo su kitu spinduliu (sudėjimo) fizikines galimybes.

Iš patirties žinome, kad ryškumo sustiprinimas ir sudėjimas – tai operacijos, kurias galime atlikti su šviesos spinduliais. Todėl jeigu to paties negalėtume padaryti su elektromagnetinėmis bangomis, mums kiltų tam tikrų problemų mėginant paaiškinti šviesą kaip elektromagnetinės bangos formą. Laimė, tą padaryti galime.

Galų gale, palyginkime pirma pacituoto Maksvelo žodinio apibūdinimo detales su savo vaizdine versija. Iliustracijoje matote, kad elektrinis ir magnetinis laukai statmeni (kitaip tariant, sudaro statųjį kampą) vienas kito atžvilgiu ir kad judėjimo kryptis statmena jiems abiem. Tai visiškai atitinka tą geometriją, kurią Maksvelas apibūdino žodžiais. Ir jo minimi greitai besikaitaliojantys (aukštyn – žemyn) svyravimai – kaip tik tai, ką galime stebėti bet kuriame konkrečiame taške, kol banga juda pirmyn.

Ir vėl apie išgrynintą šviesą

Turime Maksvelo lygčių sprendinius bet kokio ilgio grynosioms elektromagnetinėms bangoms, judančioms bet kokia kryptimi.

Grynosios elektromagnetinės bangos, kurių bangos ilgis apima apibrėžtą siaurą diapazoną (apytikriai nuo 370 iki 740 nanometrų), ir yra „žaliava“, tinkama žmogaus regėjimui. Jos atitinka grynąją šviesą, kurią Niutonas atrado spektre naudodamasis prizme. Kalbant muzikos terminais, žmogaus rega užima vieną oktavą (bangos ilgis padvigubėja). Kiekviena spektrinė spalva atitinka tam tikrą bangos ilgį, kaip parodyta spalvotoje iliustracijoje P.

Tačiau didžioji elektromagnetinio spektro dalis nepatenka į mūsų regos lauką. Pavyzdžiui, nematome radijo bangų, tad neturėdami radijo imtuvų

nieko nežinotume apie jų egzistavimą. Kita vertus, beveik visa Saulės elektromagnetinė spinduliuotė, prasiskverbianti per Žemės atmosferą, sutelkta prie regimosios spektro dalies; taigi, Žemės gyventojams tai pati naudingiausia dalis, prie kurios jie gerai prisitaikę. Kitaip tariant, tai ta spektro vieta, kurioje signalas stipriausias.

O kol kas sutelkime dėmesį į išteklius, kuriuos mums dosniai dalija Saulės šviesa, ir aptarkime tik regimą spektro dalį.

Ar mūsų suvokimas leidžia mums panaudoti visus šiuos išteklius? Ne. Toli gražu.

Iš ko susideda išsami į mūsų akis patenkančio signalo analizė? Atsakymas į šį klausimą turi du ganėtinai skirtingus aspektus. Pirmasis – *erdvinis* aspektas. Signalas apima informaciją apie iš skirtingų objektų sklindančių šviesos spindulių kryptis. Šią informaciją panaudojame formuodami atvaizdus. Antrasis – *spalvinis* aspektas. Jis apima kitokio pobūdžio informaciją. Galime suvokti nespalvotą vaizdą arba matyti spalvotas struktūras (kraštutiniais atvejais – tiesiog nekintamas spalvas, užliejančias akis), kurios nesudaro vaizdų.

SPALVA, LAIKAS IR PASLĖPTI MATMENYS

Aptardami elektromagnetines bangas ir jų galimybių spektrą, atlikome parengiamąjį darbą, kad priartėtume prie sudėtingo ir labai gražaus klausimo apie tai, kas yra spalva. Patys vaizdai informuoja mus apie tai, kas vyksta erdvėje, o spalvos pasako mums, kas vyksta *laike*. Kalbant konkrečiai, spalva suteikia mums informacijos apie greitus į mūsų akiratį patenkančių elektromagnetinių laukų virsmus.

Kad išvengtume galimos painiavos, leiskite man pabrėžti, jog informacija apie laiką, kurią perduoda spalva, labai skiriasi nuo tos informacijos apie laiką, kuria naudojamės kasdieniame gyvenime atkurdami įvykių seką (pirmoji dar ir papildo pastarąją). Kalbant apytikriai, mūsų akys 25 kartus per sekundę užfiksuoja akimirkinę nuotrauką, o mūsų smegenys iš šių

nuotraukų sukuria tolygaus judėjimo iliuziją. Ši konstrukcija sudaro mūsų kasdienio laiko tėkmės suvokimo pagrindą. Šviesos surinkimo šioms nuotraukoms procese (fotografai jį vadina ekspozicijos trukme) šviesa tiesiog kaupiama, arba integruojama. Kadangi šviesa, atvykstanti skirtingu laiku per bet kurį išskirtinį laiko intervalą, susimaišo, informacija apie konkrečios šviesos porcijos atvykimo laiką per kiekvieną intervalą prarandama.

Mūsų suvokiama spalva – tai labai svarbios informacijos apie signalo laikinę mikrostruktūrą išsaugojimo būdas. Šis signalas išlieka ir per vidurkinimo procesą. Spalvos suteikia mums informacijos apie elektromagnetinių laukų pokyčius žymiai mažesniais laiko intervalais, diapazone nuo 10^{-14} iki 10^{-15} s, kitaip tariant per kelias milijonąsias ar netgi milijardąsias sekundės dalis! Kadangi jokie kasdieniai daiktai negali judėti taip greitai arba per tokį mažytį laiko tarpą atlikti kažką pastebimo, abi laikinės informacijos rūšys – ta informacija, kuri užkoduota perėjimuose nuo vienos akimirkinės nuotraukos prie kitos, ir ta, kuri užkoduota spalvose – veikia nepriklausomai viena nuo kitos.

Pavyzdžiui, suvokiant gryną spektrinę geltoną spalvą mūsų akys mums sako, kad įeinančios elektromagnetinės bangos – tai grynosios bangos, kurios kartojasi maždaug 520 000 000 000 000 kartų per sekundę. Kai suvokiame spektrinę raudoną spalvą, pranešimas akims skelbia, kad pasikartojimai vyksta 450 000 000 000 000 kartų per sekundę.

Tiksliau tariant, tokius dalykus mūsų akys galėtų mums pasakyti, jeigu nesujungtų galimo „spektrinės geltonos spalvos“ pranešimo su daugeliu kitų galimų derinių, kurie taip pat *atrodo* geltoni, o galimo „spektrinės raudonos spalvos“ pranešimo su (skirtinga) daugybe derinių, kurie atrodo raudoni. Faktinis pranešimas, kurį jos perduoda, išlieka neapibrėžtas, nes daugelis galimų įvesčių turi vieną išvestį.

Teisinga įeinančio signalo kaip spalvos analizė turi perteikti tą pačią informaciją, kaip ir Niutono šviesos analizė per prizmę. Kitaip tariant, teisinga analizė turėtų išskaidyti įeinantį signalą į grynus spektrinius komponentus, kurių kiekvieno intensyvumas savitas, nepriklausomas nuo kitų. Kad pateiktume tokios analizės rezultatus, turėtume tiksliai apibūdinti nepertraukiamą *begalinę skaičių seką*, po vieną kiekvienai spektro grynajai komponentei. Tokia potencialios informacijos apie spalvą erdvė yra ne tik begalinė, bet ir turi

begalinį matmenų kiekį. Tačiau, kaip atrado Maksvelas, šios informacijos projekcija, kurią priima mūsų akys, apima tik tris skaičius.

Trumpai tariant, spalvinės informacijos erdvė yra begalinių matmenų, tačiau kaip spalvą suvokiame tik trimatį paviršių, į kurį projektuojami šie begaliniai matmenys.

Kad užbaigčiau šį pasakojimą, turiu paminėti dar vieną elektromagnetinės informacijos rūšį. Ši informacija suteikiama, tačiau taip pat ignoruojama signalui pasiekus mūsų akis. Dar kartą pažvelgę į iliustraciją W pastebėsite, kad elektriniai laukai (raudona spalva) svyruoja vertikalia kryptimi, tuo tarpu magnetiniai laukai (mėlyna spalva) – horizontalia kryptimi. Egzistuoja ir kitas sprendinys: jeigu visą sistemą pasuksite 90° kampu, elektriniai laukai ims svyruoti horizontaliai, o magnetiniai – vertikaliai. Šis pasuktas sprendinys svyruoja tuo pačiu dažniu, kaip ir pradinis sprendinys. Taigi, jis simbolizuoja tą pačią spektro spalvą. Tačiau fizikiniu požiūriu jis kitoks. Nauja šį skirtumą apibūdinanti savybė vadinama bangos poliarizacija. Vadinasi, į mūsų akis bet kuriame vaizdo taške patenkanti elektromagnetinė informacija turi dvigubai didesnį begalinį kiekį matmenų, nes kiekvienai spektro spalvai egzistuoja po dvi galimas poliarizacijas, iš kurių kiekviena gali būti silpnesnė arba stipresnė nepriklausomai nuo kitos. Žmogaus rega nepastebi šio padvigubėjimo, nes žmogaus akys nemato skirtumo tarp skirtingų šviesos poliarizacijų.

Spalvų receptoriai

Svarbiausias Maksvelo spalvų derinimo ir lyginimo eksperimentų rezultatas – maišant tris pagrindines spalvas, galima išgauti bet kurią suvokiamą spalvą – ne tik atskleidė giluminį faktą apie tai, kas yra žmogiškasis suvokimas, bet ir iškėlė klausimą „kaip?“ Gražus ir informatyvus atsakymas į šį klausimą atsirado XX a. viduryje, biologams ištyrus žmogaus spalvinės regos molekulinį pagrindą. (Įdomu pastebėti, kad fizikai gilinosi į biologiją, o biologai – į fiziką.)

Svarbiausias visos šios molekulinės istorijos apie regą rezultatas – žinia, kad informaciją apie spalvas išgauna trijų rūšių baltymų molekulės (rodopsinai). Šviesai atsitrenkus į vieną iš šių molekulių, atsiranda tikimybė, kad molekulė sugers šviesos vienetą – fotoną – ir pakeis formą. Formos pokytis sukelia silpnus elektros impulsus, o šie mūsų smegenims yra informacija, kurios pagrindu jos sukuria regos pojūtį.

Toliau, tikimybė, kad pavienis šviesos vienetas bus sugertas, priklauso ir nuo jo spektrinės spalvos, ir nuo molekulės-receptoriaus savybių. Vienos rūšies receptoriai labiau linkę sugerti šviesą iš raudonosios spektro dalies, kitos rūšies pasiekia aukščiausią tašką žaliojoje, o trečios – mėlynojoje, nors reguliavimas nėra ryškus (žr. spalvotą iliustraciją Y). Įprasto lygio apšvietimas sukuria daugybę fotonų, o tuo pačiu ir daugybę jų sugerties atvejų. Todėl šios tikimybės paverčiamos trimis tiksliais įeinančioje šviesoje slypinčios galios matmenimis, suvidurkintais trijuose skirtinguose spektro diapazonuose.

Tokiu būdu tampame jautrūs ne tik bendram mus pasiekiančios šviesos kiekiui, bet ir tos šviesos sudėčiai. Jeigu tai raudona spektro spalva, ji stipriau stimuliuos raudonai spalvai jautrius receptorius, ir galiausiai bus gautas visiškai kitoks signalas, nei nuo spektro mėlynos spalvos (kuris, savaime aišku, labiausiai stimuliuos mėlynai šviesai jautrius receptorius).

Kita vertus, bet kokia įeinanti šviesa, galinti vienodai stimuliuoti kiekvieną iš trijų receptorių rūšių, kitaip tariant, užtikrinanti tuos pačius suvidurkintus dydžius – bus „pamatyta“ bet kurio spalvos receptoriaus lygiai taip pat ir, atitinkamai, atves prie tokio paties regimojo suvokimo. Norint pasiekti sutapimą, reikia paimti tris skaičius: su tuo sutinka ir molekulės, ir spalvotieji sukučiai!

Spalvinės regos atmainos

Dabar, kai žinome, ko reikia ieškoti – gaunamo signalo turinį – galime, skaičiuodami receptorius ir matuodami jų sugerties savybes, ištirti biologinį pasaulį, kad pamatytume naujas spalvinio suvokimo perspektyvas.

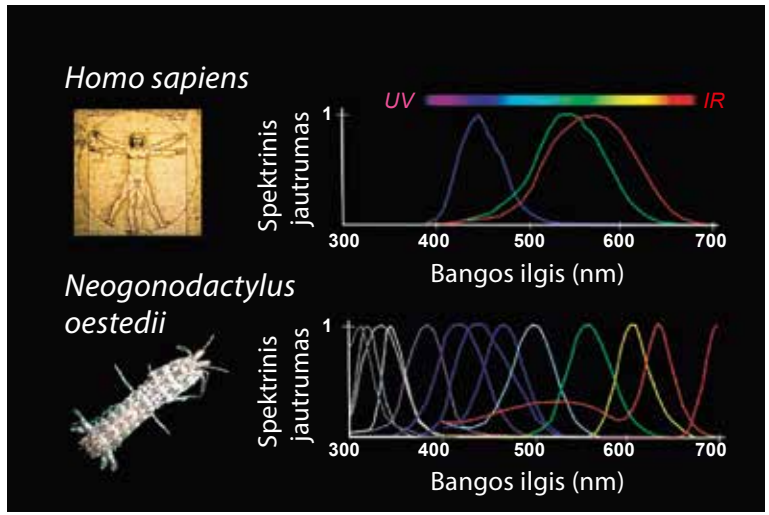
Daugumos žinduolių spalvinė rega silpna. Matadoro apsiausto raudona spalva labiau reikalinga žiūrovams įaudrinti, nei buliams išerzinti, nes buliai mato tik pilkus atspalvius. Šunims šia prasme pasisekė kiek labiau – jie mato dvimatę spalvinę erdvę. Mes galime atkurti šuns regimo pasaulio vaizdą (žr.

Tai, ką matote jūs

Tai, ką mato šunelis Fidas

ILIUSTRACIJA X. ATITINKAMAI APDOROJĘ PRADINĮ VAIZDĄ IR SUPROJEKTAVĘ TRIS SPALVAS Į DU SPALVINIUS MATMENIS, GALĖSIME APYTIKRAI ĮSIVAIZDUOTI, KO NEMATO ŠUNYS – IR DALTONIZMĄ TURINTYS ŽMONĖS.

Vėžys maldininkas: ypatingos akys



ILIUSTRACIJA Y. ŽMOGAUS REGOS SISTEMA PAGRĮSTA TRIMIS SPALVŲ RECEPTORIAIS, TUO TARPU VĖŽIAI MALDININKAI (BURNAKOJŲ BŪRYS) JŲ TURI ŽYMIAI DAUGIAU. ŠIOS SCHEMOS SU ATITINKAMOMIS SPEKTRINIO JAUTRUMO KREIVĖMIS LEIDŽIA PAŽVELGTI Į ŽYMIAI DIDESNES ŠIŲ VĖŽIAGYVIŲ SPALVINĖS REGOS GALIMYBES.

spalvotą iliustraciją X), pagrįstą dviem spalviniais receptoriais.

Daltonikai (nuo įgimto aklumo spalvoms kenčiantys žmonės) mato tik dvimatę suvokiamų spalvų erdvę. Jie neturi vienos rūšies baltyminių receptorių arba turi mutavusius baltymus, kurie blogai skiria spalvas. Daltonizmas retai pasitaiko tarp moterų, tačiau tarp vyrų jis ganėtinai paplitęs – beveik kas dvyliktas vyras iš šiaurinės Europos turi šį sutrikimą. Daltonikas gali suderinti bet kurią spalvą iš išorinio spalvoto sukučio rato tik su dviem pagrindinėmis spalvomis – tarkime, su raudona ir žalia – iš vidinio rato (žr. spalvotą iliustraciją U). Taip pat pasitaiko moterų, matančių keturmatę spalvinę erdvę – tai *tetrachromatės*. Jos turi papildomą baltyminį spalvų receptorių, t. y. mutavusį įprastą receptorių. Jos gali skirti spektro spalvų derinius, kurių daugelis žmonių tiesiog negali pastebėti. Atrodo, šis gebėjimas labai retas ir dar nėra gerai ištirtas.

Prietemoje mums visiems pasireiškia spalvinis aklumas. Spalvos įsiveržia į mūsų suvokiamą pasaulį Saulei patekėjus ir palieka jį Saulei nusileidus. Tai, aišku, visiems gerai žinomas faktas. Su tuo susiduriame kone kasdien. Tačiau pastebėjau, kad ilgais vasaros vakarais jis virsta tokia nuostabia patirtimi, kad nekantraudamas laukiu šio reiškinio.

Kita vertus, daugelis vabzdžių ir paukščių turi po keturis ar net po penkis spalvų receptorius, o kai kurie iš jų yra jautrūs ultravioletiniams spinduliams ir netgi poliarizacijai. Daugelis gėlių pasipuošusios įvairiaspalviais raštais ir ryškiomis ultravioletinio spektro spalvomis, kad prisiviliotų savo apdulkintojus. Sensorinės spalvų visatos viduje šios būtybės atranda matmenis, kurie mums nesuvokiami.

O dar yra burnakojai, arba vėžiai maldininkai. Tai ne atskira rūšis, o vėžiagyvių grupė, kurią sudaro keli šimtai rūšių, susijusių bendromis savybėmis ir panašia gyvensena. Šie gyviai nuostabūs daugeliu atžvilgių. Tai pavieniai jūrų plėšrūnai, išaugantys maždaug iki pėdos (30 cm) ilgio. Vėžiai maldininkai dalijami į du pogrupius: „ietininkus“ ir „triuškintojus“. Abiejų pogrupių atstovai puola aukas žaibiškai ir milžiniška jėga. Burnakojus keblu laikyti akvariumuose, nes jie sugeba sudaužyti šių stiklines sienas.

Tačiau pati nuostabiausia burnakojų savybė – jų rega. Priklausomai nuo rūšies, jie gali matyti nuo 12 iki 16 spalvinių matmenų. Jų jautrioji sritis siekia infraraudonuosius ir ultravioletinius spindulius (žr. spalvotą iliustraciją

Y), netgi gali iššifruoti tam tikrą informaciją apie poliarizaciją.

Kodėl burnakojams išsivystė išskirtinis gebėjimas suvokti spalvas – nepaprastai įdomus klausimas. Vienas iš labiausiai tikėtinų atsakymų – šis gebėjimas jiems leidžia keistis slaptais pranešimais su kitais burnakojais. Aš pats esu linkęs manyti, jog savo kūnais jie naudojasi tam, kad sukurtų įspūdingus spalvotus pasirodymus – veik nepasiekiamus mums! – ir pademonstruotų savo šaunumą galimiems partneriams. Tai tarsi anaboliniais steroidais lesinto povo uodega. Palaikant šią idėją, pastebėtina, kad kai kurių rūšių burnakojai iš tikrųjų be galo spalvingi – net ir mums (pažvelkite į spalvotą iliustraciją Z!) – ir kad tos rūšys, kurios turi labiausiai išvystytą spalvinę regą, pačios spalvingiausios.

Tačiau kaip tokios mažos vėžiagyvio smegenys susidoroja su tokiu sensorinės informacijos pertekliumi? Šis klausimas vis dar nagrinėjamas ir kol kas nėra atsakytas. Man atrodo tikėtina, kad vėžiai maldininkai naudojasi technika, kurią programuotojai vadina „vektoriniu kvantavimu“ – profesinio žargono frazė, kurios prasmę netrukus atskleisiu. Žmonės užpildo savo trimatę spalvų erdvę labai subtiliai. Gebame atskirti gretimus taškus toje erdvėje ir taip patirti milijonus pavienių spalvinių pojūčių. Galimas daiktas, kad burnakojai naudoja žymiai paprastesnį perteikimą, kai iš jų šešiolikmatės erdvės didelių sričių įvedama informacija turi vienintelę išvestį. Ten, kur mes galime išskirti taškus santykinai mažoje erdvėje, vėžiai maldininkai nustato tik stambių „dėmių“, kurių kiekviena užima žymiai didesnę erdvę, padėtį. Mes sukuriame labai paviršutinišką (trimatę) begalinių matmenų elektromagnetinio įvedinio projekciją, tačiau kruopščiai ją iššvalgome, tuo tarpu burnakojai sukuria žymiai sudėtingesnę projekciją, tačiau ją ištiria ganėtinai paviršutiniškai.

Erdvės suvokimas ir laiko suvokimas

Išgvildenę spalvinę regą aspektais „kas“ ir „kaip“, esame pasirengę pereiti prie klausimo „kodėl“. Natūraliai kyla du klausimai su klausiamuoju žodeliu „kodėl“:

ILIUSTRACIJA Z. KAIP GALITE MATYTI IŠ ŠIO PAVEIKSLĖLIO, YPAČ GALINGA SPALVINE REGA APDOVANOTI BURNAKOJAI IR PATYS LABAI SPALVINGI. ŽINOMA, FOTOGRAFIJA GALI PERTEIKTI TIK TAI, KAIP VĖŽĮ MALDININKĄ REGIME *MES*, ŽMONĖS.

Kodėl žmonėms ir daugeliui kitų būtybių taip rūpi ultragreiti svyravimai elektromagnetiniame lauke?

Jeigu būčiau šį klausimą pateikęs forma „*Kodėl* žmonėms ir daugeliui kitų būtybių rūpi spalvos?“, į galvą būtų atėję tiek atsakymų, kad jau pats klausimas imtų atrodyti juokingas.

Tačiau jeigu pateiksime šį klausimą būtent taip, kaip suformulavau jį pirmą kartą (o juk iš esmės tai tas pats klausimas), jis palies giliai glūdinčią esmę. Informacija apie greitus svyravimus elektromagnetiniuose laukuose mums, kaip biologinėms būtybėms, yra svarbi, nes tai svarbu elektronams medžiagoje. Šie elektronai, priklausomai nuo jų medžiaginės aplinkos, dažnai reaguoja į elektromagnetinius virpesius pačiais įvairiausiais būdais. Todėl šviesa, kuri sklinda iš Saulės ir pasiekia mus po sąveikos su medžiaga, slepia savyje informaciją apie tą medžiagą, užkoduotą pastarosios elektronais.

Paprastai kalbant, objektų spalvos užkoduoja savyje informaciją apie tai, iš ko jie sudaryti. Žinoma, jūs tą žinote iš patirties. Tačiau dabar taip pat žinote (remdamiesi fundamentaliaisiais principais) tai, ką patyrėte patys!

Kodėl rega taip skiriasi nuo klausos? Juk, pagaliau, abi šios juslės susijusios su informacija, kurią perteikia virpesiai, mus pasiekiantys bangų forma. Rega susijusi su elektromagnetinio lauko virpesiais, o klausa – su oro virpesiais. Tačiau šviesos akordų ir garso akordų suvokimo būdai vienas nuo kito skiriasi kokybiškai.

Leiskite patikslinti šį klausimą. Kai pagauname keletą grynųjų tonų, skambančių kartu, girdime akordus, kuriuose kiekvienas tonas išlaiko jam būdingą savitumą. Akorde C mažor galima atskirai išgirsti do, mi ir sol, ir jeigu nebus bet kurio iš šių tonų ar vienas iš šių tonų skambės gerokai garsiau nei kiti, neabejotinai pastebėsite kokybinį skirtumą. Akordus galima sudaryti ir iš daugiau pavienių tonų, kurių kiekvienas skamba skirtingai, ir praktiškai be jokių apribojimų (galiausiai jie ims skambėti tarsi *sludge* stiliaus muzika, bet taip dažniausiai ir būna su pavieniais komponentais).

Kita vertus, kaip jau esame kalbėję, priimdami iš karto keletą grynųjų šviesos tonų – spektro spalvų – suvokiame ir naują spalvą, kurioje išnyksta jos komponentų savitumas. Pavyzdžiui, sumaišius žalią spalvą su raudona, gaunama suvokiama geltona, kuri ją reginčiam žmogui nesiskirs nuo spektro

geltonos spalvos. Tarsi sugroję vienu metu do ir mi gautumėte re!

Akivaizdu, kad klausa geriau apdoroja jai skirtą laikinę medžiagą.

Klausos fizika – tai simpatinių virpesių fizika, kaip kad esame aptarę anksčiau. Egzistuoja svari fizikinė priežastis, kodėl šviesa turi būti apdorojama kitaip. Elektromagnetinių laukų svyravimai regimoje šviesoje pernelyg greiti, kad juos galėtų sekti bet kuri tikrovėje egzistuojanti mechaninė sistema. Todėl strategija, kuria grindžiama mūsų klausa, kai oro virpesiai sukelia simpatinius virpesius mūsų galvose, čia neveiks. Kad pagautume šviesos virpesių melodiją, turime naudotis žymiai mažesniais ir paslankesniais atsakikliais.

Šviesos suvokimui tinkami receptoriai yra pavieniai elektronai. Tačiau subatominiame elektronų pasaulyje ima veikti kvantinė mechanika, tad žaidimo taisyklės pasikeičia. Informacijos perdavimas iš šviesos elektronams galimas tik perduodant tam tikrą dalį šviesos energijos. Tačiau pagal kvantinės fizikos taisykles tokie energijos perdavimai vyksta tik per pavienius įvykius „viskas arba nieko“ (fotonų sugertis) ir nenuspėjamu laiku. Dėl šių efektų informacijos perdavimas tampa mažiau patikimas ir ją sudėtingiau valdyti.

Ir tai – jeigu šį klausimą išdėstysime dar griežčiau – paaiškina, kodėl spalvoje užkoduotas mūsų šviesos laikinės struktūros suvokimas labiau apytikris, nei muzikinėje harmonijoje užkoduotas mūsų garso laikinės struktūros suvokimas. Kalta kvantinė mechanika. Turėdami keletą skirtingų rūšių receptorių, suderintų su skirtingomis savybėmis, sugebame išgauti tik dalį laikinės šviesos informacijos. Juk rega neturi nieko panašaus į vidinės ausies membraną, kur garsas paskirstomas po „lentynėles“, tarsi po pianino klavišus.

Kita vertus, šviesa, kaip informacijos apie *erdvinę* struktūrą nešlė, įgyja tam tikro pranašumo prieš garsą. Garso bangos, kaip erdvinės informacijos nešlės, turi vieną trūkumą – jos tiesiog labai didelės. Neatsitiktinai šių bangų ilgiai gali būti palyginti su dydžiais tokių instrumentų, kaip gitara, pianinas arba bažnyčios vargonų vamzdžiai. Todėl jos negali perteikti mums žymiai mažesnių už jas struktūrų harmonijos. Šviesa neturi tokių problemų – regimosios šviesos bangų ilgis tik vos vos mažesnis, nei viena milijonoji metro dalis.

Rega – tai iš esmės erdvinis pojūtis, o klausa – iš esmės laikinis pojūtis, ir tas skirtumas turi labai tvirtą fizikinį pagrindą.

ATVERIANT DURIS

O dabar, pasitelkę vaizduotę, pakilkime nuo tvirto klausimų „kas“, „kaip“ ir „kodėl“ pagrindo į svajonių erdvę, kur sklando klausimai „kas būtų, jei“, „o jeigu“ ir „kodėl gi ne“.

Mūsų akys – nuostabus jutimo organas, tačiau ir jos daug ko nemato. Priimdamos į jas patenkančioje šviesoje glūdinčią erdvinę informaciją – iš esmės pagrįstą įeinančių šviesos spindulių kryptimi – jos atkuria išorinio pasaulio vaizdų seką. Tačiau, kaip ką tik gana smulkiai aptarėme, jos išsaugo tik labai menką įeinančios šviesos laikinės informacijos dalį ir visiškai ignoruoja poliarizaciją. Kiekvienas mūsų regos lauko vaizdataškis potencialiai apima dvigubą akordų begalybę, tačiau regime tik spalvą – trimatę projekciją.

Galvos smegenys – pats svarbiausias mūsų jutimo organas. Smegenys nustatė, kad šviesoje slypi nematomos begalybės. Mūsų spalvos suvokimas projektuoja dvigubai begalinę fizinės spalvos erdvę į mūsų vidinės Olos trimatę sieną. Ar galime ištrūkti iš olos, kad atvertume dar daugiau matmenų?

Manau, kad galime, ir dabar trumpai papasakosiu kaip. (Mano filosofinė idėja: jeigu tą sugeba burnakojai, vadinasi, tą sugebame ir mes.)

Laikas ir spalvinis aklumas

Pradžiai aptarkime supaprastintą problemos, kuri visgi turi praktinės reikšmės, versiją. Pakankamai tiksliai žinome, kokios informacijos negauna daltonikai – vienos iš spektrinio intensyvumo vidutinių reikšmių, fiksuojamos baltyminių receptorių, kurių jie neturi. Kaip galime šią informaciją atkurti?

Tą darydami norime patalpinti spalvinę informaciją ten, kur ji ir turi būti – į regimojo vaizdo vidų. Tam turime naudodamiesi esamais receptoriais susintetinti naujus receptorius. Ir dar norime, kad nauja informacija atsidurtų reikiamoje regimojo vaizdo vietoje. Kalbant konkrečiai, pavadinkime tai, ką įprastai perteikia trūkstami receptoriai, „Žalia“, o mūsų dirbtinį pakaitinį signalą – *„Žalia“*. Toliau norime užsitikrinti, kad mūsų vaizdo da-

lys, kuriose yra daug Žalios, gaus proporcingą kiekį *Žalios*.

Kad šie reikalavimai – pridedant informaciją vietos mastu naudojantis esamais receptoriais – būtų patenkinti, turime įvesti į signalą naują struktūrą, kurią gali atpažinti egzistuojantys receptoriai. Elegantiškas būdas tai padaryti – manipuliuoti signalu *laike*. Pavyzdžiui, galime užkoduoti *Žalią* kaip papildomus *mirgėjimą, pulsavimą* arba, kalbant apibendrintai, kaip *laikinį moduliavimą* – laike kintančias tekstūras – regimosiomis spalvomis, kurių lokalinis intensyvumas proporcingas Žaliai spalvai pradiniame vaizde.

Pamąstykime apie tai, ką dabar darome. Trūkstama informacija (Žalia) kažką bylojo apie šviesos, kaip apie elektromagnetinio signalo, struktūrą laike. Sugrąžiname ją kaip *Žalią*. Tai ir vėl laikinis signalas, tačiau sulėtintas tiek, kad atitiktų žmogaus gebėjimo apdoroti informaciją greitį. Pasitelkiame laiką ir smegenis, kad atidarytume suvokimo duris.

Žmonėms, kurių spalvinė rega normali, paprastai koduojame vaizdus trispalviu formatu ir dekoduojame juos trispalviais projektoriais. Kad ir kur tai būtų daroma – kompiuterių monitoriuose (taip pat ir mažyčiuose, į akinius įmontuotuose ekranėliuose!), išmaniuosiuose telefonuose arba, pavyzdžiui, skaitmeniniuose projektoriuose, mūsų sprendinį, skirtą daltonizmui, galima realizuoti programinėje įrangoje kaip modifikuotą informacijos perėjimo nuo įvesties iki išvesties schemą.

Taip pat galime pamąstyti apie tai, kaip panašią bendrą schemą pritaikyti aparatinei įrangai. Pavyzdžiui, egzistuoja medžiagos, vadinamos elektrochrominėmis. Jų gebėjimas sugerti tam tikro spektro šviesą gali būti moduliuojamas pasitelkus įtampą. Paprastus akinius padengę elektrochrominiu sluoksniu ir pritaikę jam laike kintančią įtampą, atversime naujus spalvinius kanalus.

Keliai ir priemonės

Tos pačios bendros idėjos padės mums atverti visiškai naujus spalvinės regos matmenis, kaip parodyta spalvotoje iliustracijoje AA. Žinoma, kad informacija taptų prieinama, ją pirma būtina surinkti. Faktas, kad skaitmeninė fotografija ir kompiuterinė grafika remiasi tik trimis, o ne daugiau

bazinių spalvų, nesusijęs su jokiomis esminėmis fizikinėmis aplinkybėmis. Kaip jau matėme, egzistuoja dviguba spalvų begalybė, laukianti mūsų išgryninto suvokimo. Priežastys, dėl kurių technika iki šiol remiasi trimis spalvomis, yra šios:

1. Trys pagrindinės spalvos leidžia mums, kaip mokė Maksvelas, susintetinti bet kokią regimą spalvą.
2. Dviejų pagrindinių spalvų tam nepakanka.
3. Žymiai paprasčiau ir pigiau naudoti minimalų kiekį, kurio pakanka.

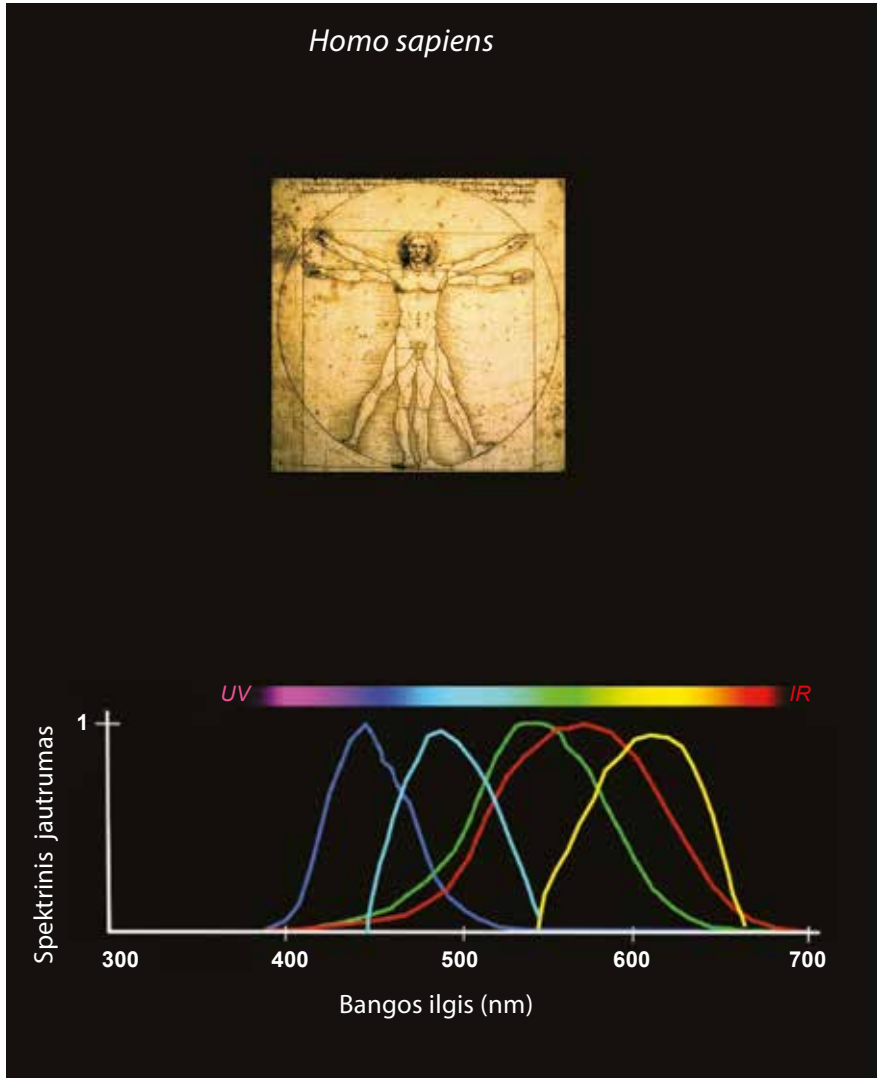
Tačiau jei nuspręsime išplėsti suvokimą papildomais spalvinės erdvės matmenimis, visiškai įmanoma, kad atsiras naujos technologijos (ir jos jau taikomos tiriamajame darbe). Paprastas modelis, skirtas keturiems matmenims, tinkamas tiek skaitmeniniam suvokimui, tiek skaitmeniniam perdavimui, parodytas spalvotoje iliustracijoje BB.

Pagal tuos pačius principus, pagal kuriuos dabar sukuriame trijų, galime sukurti ir keturių (arba penkių...) rūšių skirtingus spalvinius receptorius, kurie atrodytų kaip glaudžiai išdėstytos matricų eilės. Išvestyje galime arba leisti trispalviams siųstuvams atlikti dvigubą darbą pritaikydami mirguliavimą, arba – kaip parodyta spalvotoje iliustracijoje BB – įtaisyti ypatingą vaizdataškių klasę naujam kanalui. Bet kuriuo iš šių būdų papildomi kanalai tampa prieinami atvėrus išėjimą dirbtiniams laikiniams pokyčiams, kurių išdėstymą ir jėgą kontroliuoja naujų receptorių signalai.

Manau, kad bus labai įdomu patirti tokiu būdu sukurtas naujas spalvas.

„KAS IŠ TO IŠEIS?“

Visada su didžiausiu džiaugsmu bendrauju su Maksvelu per jo darbus ir jo draugų prisiminimus. Jis tapo mano mylimiausiu fiziku. Ir dabar pateiksiu jo mažą impresionistinį portretą. Pasak jo draugo ir biografo Luiso Kempbelo (Lewis Campbell):



ILIUSTRACIJA AA. TAIKYDAMI LAIKINĮ MODULIAVIMĄ, GALIME PRATURTINTI ŽMOGAUS REGĄ NAUJAIS SUVOKIMO KANALAIS IR TAIP JĄ SUSTIPRINTI. PAVYZDŽIUI, GALIME PRIDĖTI DU JAUNUS DIRBTINIUS KANALUS IR PAVERSTI SPALVINĘ ERDVĘ PENKIAMATE ERDVE.

R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4
R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4
R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4
R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4
R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4
R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4	R3	R4

ILIUSTRACIJA BB. KETURIŲ SKIRTINGŲ RECEPTORIŲ TIPŲ PERIODINIAI DARINIAI (NEDIDELI IR IŠDĖSTYTI ARTI VIENAS KITO) GALI SUDARYTI VAIZDĄ, KURIO SMULKIOJI SANDARA PALAIKO KETURIS SPALVINIUS MATMENIS. MONITORIAI, KURIŲ VEIKIMAS PAGRĮSTAS TOKIA PAČIA ARCHITEKTŪRA: MAŽIAUSIAI VENAS IŠ ELEMENTŲ NAUDOJA LAIKINĘ MODULIACIJĄ – GALI PAVERSTI ŠIUOS DUOMENIS REGIMA INFORMACIJA.

Vaikystėje jis be perstojo klausinėdavo: „O kas iš to išeis? Ką šitas daiktas daro?“ Ir kartais, kai jo netenkindavo gauti atsakymai, jis perklausdavo: „Bet kam iš tikrųjų to reikia?“

Maksvelo susirašinėjimas su šeima ir draugais primena Mozartą. Jo laiškuose gausu žodžių žaismo, juokingų piešinėlių ir žmogiškos šilumos. Štai ištrauka iš laiško, kurį jis parašė savo jaunajam pusbroliui Charlesui Cey'ui (Čarlzui Kėjui). Vienoje šio laiško eilutėje jis užsimena apie *Dinaminę teoriją*, savo šedevrą, kurį jau aptarėme anksčiau; kitoje eilutėje, be jokio perėjimo, jau aprašinėja savo naujo šuns elgesį:

Dabar karštligiškai darbuojuosi prie vieno straipsnio apie elektromagnetinę šviesos teoriją, dėl kurio, nors pats esu įsitikinęs priešingai, būsiu išskirtas kaip labai svarbus asmuo.
Spaisė tiesiog nepakartojama: ji – svarbiausias mano tyrinėjimų oftalmoskopu objektas ir varto akis pagal komandą, kad parodytų man dangalą, optinį nervą ar bet kurią kitą mane sudominusią vietą.

Visą savo gyvenimą Maksvelas rašė eilėraščius. Vienas geriausių jo eilėraščių – daina *Rigid Body (Standusis kūnas)*, kurią jis pats ir dainuodavo pritardamas sau gitara. Kiekviename posmelyje Maksvelas skundžiasi dėl to, kaip sunku apskaičiuoti, kaip standieji kūnai juda; tada pats standusis kūnas atsako iš esmės: „Tiesiog dirbu savo darbą.“ Šio eilėraščio ritmika vėliau buvo perkelta į Roberto Bernso (Burns) eilėraštį *Comin' Thro' the Rye (Paryčiu rugiuos)*, suteikdama jam škotiško kolorito:

Kai kūnas kartą sutiko kūną,
Skriejantį oru,
Kūnas atsitrenkė į kūną:
Ar jie skries tolyn? Kur link?
Kiekvieną susidūrimą galima išmatuoti.
Galima viską išspręsti,
Galima bent jau pamėginti
Nustatyti kelią.

Kai kūnas kartą sutiko kūną,
Visiškai laisvą,
Kur link jie abu nuskrido –
Ne visi suprato.
Visos problemos turi sprendinį.
Ir jis gali būti pakankamai tikslus.
Gaila, kad aš su šiuo nuotykiu
Niekaip nesusiję.[*]

Mirtis ir gyvenimas

1877 m. pavasarį, nesukakęs nė 46 metų, Maksvelas sunegalavo: jam sutriko skrandžio veikla, jis juto nuolatinį skausmą ir jautėsi pavargęs. Per kelis kitus mėnesius jo sveikata dar labiau pablogėjo, ir netrukus paaiškėjo, kad jis serga pilvo ertmės vėžiu – liga, kuri nusinešė jo motinos gyvybę, kai ši buvo panašaus amžiaus ir kai Jamesui buvo devyneri. Maksvelas žinojo, kad gyventi jam liko neilgai. Kempbelas rašė:

Per paskutiniąsias kelias savaites jis labai kentėjo, tačiau niekada nesiskundė <...> Jis iki galo neprarado savitvardos <...> Vienintelė mintis, kuri nedavė jam ramybės ir prie kurios jis nuolat sugrįždavo – tai ponios Maksvel gerovė ir ramybė.

Maksvelas mirė 1879 m., vos 48 metų.

Dar būdamas 23 metų amžiaus jaunasis Maksvelas savo asmeniniame dienoraštyje paliko giliaprasmį įrašą, kuriame nuspėjo, koks bus jo tolesnis gyvenimas:

Laimingas tas žmogus, kuris šiandienos darbe regi dėsningą sąsają su viso gyvenimo darbu ir Amžinybės darbo įsikūnijimą. Jo savikliovos

* Apytikslis laisvas vertimas. *Vert. pastaba.*

pagrindai nesikeičia, todėl jis virsta Begalybės dalininku. Jis iš visų jėgų dirba kasdienius darbus, nes jam patikėta valdyti dabartį kaip nuosavybę.

Taigi, žmogus turi tapti gamtoje vykstančių dieviškų procesų įsikūnijimu ir skelbti begalinio sąjungą su baigtiniu, nemenkinti savo laikino egzistavimo, atminti, kad tik jame įmanomi pavieniai veiksmai, neatriboti nuo savo požiūrio to, kas amžina, žinoti, kad Laikas – tai paslaptis, kurios neįmanoma atskleisti, kol jos neapšviečia amžinoji Tiesa.

PRELIUDIJA Į SIMETRIJĄ

Simetrija – plačiąja ar siaurąja prasme, priklausomai nuo to, kaip apibrėšite jos sąvoką – tai idėja, kurią pasitelkdamas žmogus daugybę šimtmečių mėgino suprasti ir sukurti tvarką, grožį bei tobulybę.

Hermannas Weylis

Atrodo, kad gamta naudojasi paprastomis matematinėmis simetrijos dėsnių pateiktimis. Gilios pagarbos simetrijos dėsnių galiai jausmo niekada nepraras tas, kuris apmąstė matematinių samprotavimų eleganciją bei grožį ir sugretino juos su sudėtingais ir toli siekiančiais fizikiniais padariniais.

C. N. Frankas Yangas (C. N. Frenkas Jangas)

Ir nors simetrijos nuo mūsų paslėptos, galime jausti, kad jos glūdi gamtoje, valdydamos viską aplink mus. Tai pati nuostabiausia mintis iš man kada nors atėjusių galvon – Gamta žymiai paprastesnė, nei atrodo.

Steven Weinberg (Stivenas Vainbergas)

Per visą XX a. ir iki pat mūsų dienų simetrija vis labiau įsigali mūsų požiūriuose į esminius Gamtos dėsnius. Taip skelbia meistrai. Baigiamosios mūsų meditacijos dalys, nukeliančios mus į žinojimo paribį ir už jo, šlovina didžiąsias simetrijos pergales ir pranašauja jai dar didesnę sėkmę.

Pokytis be pokyčio. Kokia keista, nežmoniška mantra būtybei, kurią sukūrė Dievas! Vis dėlto, jau pats jos atotrūkis nuo gyvenimo leidžia mums išplėtoti savo lakios vaizduotės sukurtą viziją tiek, kad jos išmintis taptų mūsų išmintimi.

Mūsų Klausimas reikalauja iš mūsų atrasti grožį fizinio pasaulio esmėje. Kad išspręstume šią sudėtingą ir viliojančią užduotį, turime aktyviai veikti abiem kryptimis. Plėsdami mus supančios tikrovės supratimo ribas, turime plėsti ir grožio suvokimą. Nes Gamtos giluminės sandaros, kurią turime atrasti, grožis tiek pat nepaprastas, kiek gražus jos nepaprastumas.

Todėl, kol kasimės iki giluminių fizinio pasaulio šaknų, padarysime keletą simetrijos aptarimo pauzių – keletą žaismingų interliudijų, atskleidžiančių ypatingą grožio formą: augančią ir stiprėjančią *simetriją*.

KELIONĖ SU GALILĖJUMI

Kol kas, kad pradžia būtų gera, prisidėkime prie Galilėjaus, vykstančio į įsivaizduojamą kelionę.

> *Užsidarykite su kokiu nors draugu pagrindinėje kajutėje po deniu kokiame nors laive. Pasirūpinkite, kad joje netrūktų musių, drugelių ir kitų smulkių skraidančių gyvių. Taip pat pasirūpinkite, kad kajutėje būtu didelis vandens pripildytas indas su jame plaukiojančiomis žuvimis; po to pakabinkite palubėje butelį, iš kurio vanduo lašas po lašo lašėtų į didelį indą apačioje. Kol laivas stovės nejudėdamas, atidžiai stebėkite, kaip mažyčiai gyviai skraido kajutėje vienodu greičiu visomis kryptimis; žuvys abejingai plaukioja visomis kryptimis; lašai kapsi į indą apačioje. Jeigu panorėsite ką nors numesti draugui, jums nereikės užsimoti stipriau kažkuria viena kryptimi, ir atstumai bus vienodi. Jeigu, suglaudę kojas, pašoksite aukštyn, pajudėsite vienodu atstumu bet kuria kryptimi. Kurį laiką atidžiai stebėję visus šiuos reiškinius (nors nekyla jokių abejonių, kad laivui stovint vietoje viskas turi vykti kaip tik taip), priverskite laivą lėtai judėti, o tada (jeigu tik šis judėjimas bus tolygus ir laivo nesiūbuos bangos), stebėdami visus šiuos reiškinius, neįžvelgsite nė mažiausio pokyčio, taip pat pagal juos negalėsite nustatyti, ar laivas juda, ar stovi vietoje.*

> *O visų šių atitikimų priežastis ta, kad laivas perduoda savo judėjimą visiems daiktams, esantiems jo viduje, taip pat ir orui. Štai kodėl pasakiau, kad turite būti kajutėje po deniu, nes jeigu būsite ant denio, atvirame ore, kuris nejuda tuo pačiu kursu, kuriuo juda laivas, minėtuose reiškiniuose pastebėsite mažesnius ar didesnius pokyčius.*

Akivaizdu, kad Galilėjus čia grumiasi su pačiu didžiausiu psichologiniu barjeru, trukdančiu priimti Koperniko astronomiją. Kopernikas privertė Žemę (ir viską, kas joje) greitai judėti: kasdien apsisukti aplink savo ašį ir kasmet apskrieti Saulę. Šių judėjimų greičiai, matuojant kasdieniais standartais, yra milžiniški. Sukimasis aplink ašį – 1 000 mylių (1 600 km) per valandą. Skriejimas aplink Saulę – kiek daugiau nei 67 000 mylių (108 000 km) per valandą. Tačiau mes visiškai *nejaučiame* šio judėjimo, nors jis ir labai greitas!

Galilėjaus atsakymas: nekintamas judėjimas, kitaip tariant, tolygus judėjimas tiese nejaučiamas dėl to, kad jis nepakeičia nė vieno fizikinio elgesio aspekto. Ir uždaroje sistemoje – kaip antai Galilėjaus laivo kajutėje arba erdvėlaivyje *Žemė* – tiems, kurie yra jos viduje, judėjimas pastoviu greičiu, kad ir kokiu dideliu, jaučiamas taip, tarsi jo išvis nebūtų. (Žinoma, Žemės sukimasis aplink savo ašį ir skriejimas orbita yra apskritiminiai, o ne tiesiniai judėjimai, tačiau šie apskritimai yra tokie didžiuliai, jog net ir ilgose atkarpose jie labiau panėši į tieses.)

Galilėjaus stebėjimus galima išreikšti kaip simetriją. Keičiame pasaulį – arba jo didelę dalį, kaip antai didelio laivo vidų – judindami viską bendru greičiu, *nekeisdami* daiktų elgesio.

Šią transformaciją Galilėjaus garbei pavadinome *Galilėjaus transformacija*. Atitinkamai, jo simetrijos postulatą vadiname *Galilėjaus simetrija* arba *Galilėjaus invariantiškumu*.

Taikydami Galilėjaus simetriją, galime keisti visatos judėjimo būseną, suteikdami jai nuolatinį bendrą greitį – kitaip sakant, suteikdami jai postūmį – nekeisdami fizikos dėsnių, kuriems ji paklūsta. Galilėjaus transformacijos judina fizikinį pasaulį pastoviuoju greičiu, o simetrija konstatuoja, kad fizikinių dėsnių turinio tokios transformacijos nepakeičia.

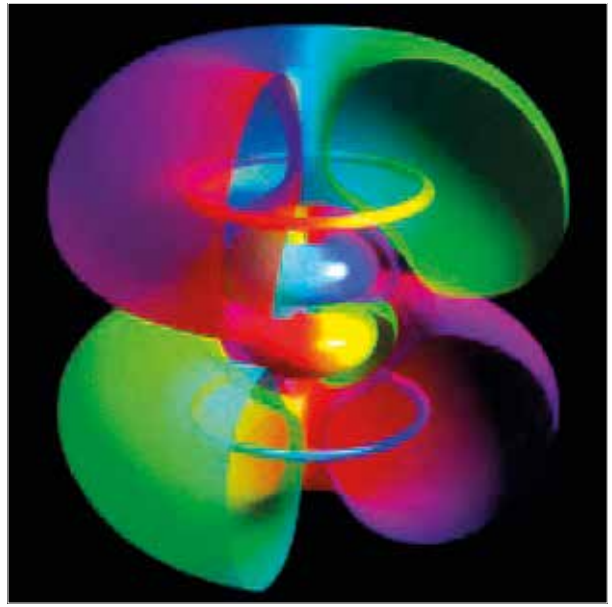
KVANTINIS GROŽIS I

SFERŲ MUZIKA

Klasikinė Niutono ir Maksvelo fizika papildė mūsų meditaciją naujomis temomis, kurios, *atrodo*, prieštarauja ankstesnėms Pitagoro ir Platono vizijoms, nuo kurių ir pradėjome. Tačiau kvantiniame atomų pasaulyje, keistame pasaulyje, kuriame lemta gyventi ir mums, vyksta stebuklai. Senos idėjos vėl atgyja naujomis puošniomis formomis. Savo atgimusiomis formomis šios idėjos pasiekia naujus tikslumo, tiesos ir, kas ypač nuostabu, muzikalumo lygius.

Štai kaip nauja apima sena:

- *Iš medžiagos esmės – muzika*. Nebuvo jokios logiškos prasmės tikėtis, kad matematika, sukurta siekiant geriau suvokti muziką, gali būti vienaip ar kitaip susijusi su atomų fizika. Vis dėlto, paaiškėjo, kad tos pačios sąvokos ir lygtys valdo abi sritis. Atomai – tai muzikos instrumentai, ir jų skleidžiama šviesa leidžia pamatyti jų garsus.



ILIUSTRACIJA CC. MATEMATIŠKAI APIBŪDINTI FIZINIAI ATOMAI – TAI TRIMAČIAI OBJEKTAI, KURIUOS DVASINGA MENININKO SIELA SUVOKIA KAIP IŠSKIRTINIO GROŽIO VAIZDUS. ŠIAME PAVEIKSLĖLYJE – PERPJAUTO SUŽADINTOSIOS BŪSENOS VANDENILIO ELEKTRONŲ DEBESIES VAIZDAS. (SPECIALISTAMS: BŪSENA (N, L, M) = (4, 2, 1).) JŪSŲ MATOMI PAVIRŠIAI – TAI VIENODOS TIKIMYBĖS PAVIRŠIAI; SPALVOMIS PERTEIKIAMOS SANTYKINĖS FAZĖS.

- *Iš gražių dėsnių – gražūs objektai*. Pagrindiniai dėsniai nepostuluoja atomų egzistavimo. Atomai iš jų atsiranda kaip padarinys, o tuo pačiu ir kaip gražūs objektai (žr. spalvotą iliustraciją CC). Matematiškai apibūdinti fiziniai atomai – tai trimačiai objektai, kurie, veikiami įkvėpto menininko dvasios, sukuria išskirtinio grožio vaizdus.
- *Iš dinamikos – pastovumas*. Pagrindiniai dėsniai – tai lygtys, apibūdinančios, kaip mūsų aplinkinis pasaulis kinta laike. Tačiau šios lygtys turi tam tikrų svarbių sprendinių, kurie *nekinta* laike. Šie sprendiniai, ir tik jie, apibūdina atomus, kurie sudaro mūsų aplinkinį pasaulį ir mus pačius.
- *Nuo tolydumo – prie diskretumo*. Banginės funkcijos, apibūdinančios elektronus atomuose, yra tikimybės laukai (tikimybiniai skirstiniai), kurie užpildo erdvę. Jie tolydūs ir panašūs į debesis. Tačiau patvarios debesų formos diskretiškai skirtingos ir turi Skaičių žymes.

ATGAL PRIE PITAGORO

Savaime suprantama, kad pirmosiomis šiuolaikinės kvantinės teorijos dienomis jokių vadovėlių apie ją nebuvo. Būsimieji praktikai, troškę pasinaudoti nauja atomo teorija, įniko į kitą šaltinį – Lordo Reilio (Lord Rayleigh) vadovėlį *Theory of Sound (Garso teorija)*. Kaip tik jame jie atrado matematiką, leidžiančią apibūdinti, kaip veikia atomai. Ji buvo sukurta anksčiau – muzikos instrumentų veikimo principams perteikti! Nors simboliai šiame vadovėlyje žymi kitus dalykus, iš esmės jame pateikiamos tos pačios lygtys, kurias sprendžiant taikomi tie patys metodai. Pitagoras tikrai būtų apsidžiaugęs.

MUZIKOS INSTRUMENTŲ JOGA

Muzikos instrumentų fizika – tai *stovinčiųjų bangų* fizika. Stovinčiosios bangos – tai bangos, kurios egzistuoja baigtiniuose objektuose arba uždarose erdvėse. Taigi, muzikos instrumentų stygų arba jų dekų ar kitokių rezonatorių virpesiai – tai stovinčiosios bangos, kurias reikėtų laikyti *bėgančiųjų bangų* priešybe. Pavyzdžiui, kai kalbame apie garso bangas, paprastai turime omenyje bėgančiąsias bangas, kurios bėga, arba *sklinda*, iš tam tikro šaltinio. Fortepijono garsą atspindinčio jo dangčio virpesiai – stovinčiosios bangos – judina orą skirtingomis kryptimis. Judinama oro dalis veikia ir gretimą orą, kuris savo ruožtu veikia tolesnį oro sluoksnį, ir t. t. Galiausiai atsiranda trikdis, kuris egzistuoja savarankiškai.

Stovinčiosios bangos – tai tokia judėjimo rūšis, kurią sukuriate vonioje ranka teškendami vandenį arba užgavę gongą ar kamertoną. Kiekvienu iš šių atvejų – kai tekštelėjamas vanduo, suduodama į gongą arba kamertoną – judėjimas, iš pradžių triukšmingas, nusistovi ir tampa reguliarus erdvėje ir periodiškas laike. Štai čia ir glūdi kamertono esmė: jis „nori“ virpėti tam tikru dažniu ir tokiu būdu skleidžia tikrą, grynąjį garsą. Tipiškas gongas perteikia kiek sudėtingesnį ir įdomesnį garso tonų derinį. Netrukus vėl grįšime prie šio klausimo.

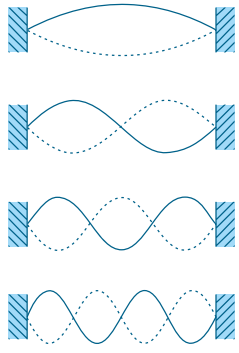
Galime apšviesti muzikos instrumentų jogą dar aiškiau, aptardami patį paprasčiausią muzikos instrumentą, beje, Pitagoro instrumentą – tampriai įtemptą, abiejuose galuose įtvirtintą stygą (24 pav.). Paprastoje vienmatėje baigtinės atkarpos geometrijoje galime iš pirmo žvilgsnio nustatyti tikrą stovinčiosios bangos modelį.

Paveikslėlyje vientisa linija ir punktyru parodyta stygos forma skirtingais laiko momentais, perteikiant keturias skirtingas stovinčiosios bangos būsenas (amplitudė, arba, kitaip tariant, didžiausias stygos nuokrypis nuo pusiausvyros vietos, paveikslėlyje gerokai perdėta aiškumo sumetimais). Per tarpinius laikotarpius stygos taškai juda aukštyn ir žemyn; vientisa linija tolygiai pereina į punktyrą, ir atvirkščiai. Tai vyksta cikliškai.

Paprastas geometrijos dėsnis perkelia sveikuosius skaičius ir diskretumą į šių savo esme ištisinių konfigūracijų apibūdinimą. Pastarieji turi atitikti

stygos ilgį! Peržvelgdami ir lygindami paveikslėlius iš viršaus į apačią matome, kad kitimo tempai judant išilgai stygos iš kairės į dešinę skiriasi savo greičiu du, tris, o po to keturis kartus.

Galima gauti natūralius virpesius, kurie atitinka arba tris, arba du, arba keturis, arba bet kurį sveiką skaičių ciklų, tačiau tarp sveikų skaičių *nieko negali* būti. Todėl mūsų instrumento savieji dažniai yra diskretūs arba, kaip sakome mes, *kvantuoti*.



Moda	Bangos ilgis	Dažnis
Pirmoji	$2L$	$\frac{V}{2L}$
Antroji	L	$\frac{V}{L}$
Trečioji	$\frac{2L}{3}$	$\frac{3V}{2L}$
Ketvirtoji	$\frac{L}{2}$	$\frac{2V}{L}$

24 PAV. PAPRASTOJE VIENMATĖJE BAIGTINIŲ ATKARPŲ GEOMETRIJOJE GALIME IŠ PIRMO ŽVILGSNIO APŽVELGTI NATŪRALIAS STOVINČIOSIOS BANGOS KONFIGŪRACIJAS. JOS TURI SUTAPTI SU ATKARPOS ILGIU! ŠIOS PAPRASTOS GEOMETRINĖS TAISYKLĖS REIKALAUJA, KAD SVEIKIEJI SKAIČIAI IR DISKRETUMAS BŪTŲ ĮVESTI Į OBJEKTO ELGESIO KONTINUUME APIBŪDINIMĄ.

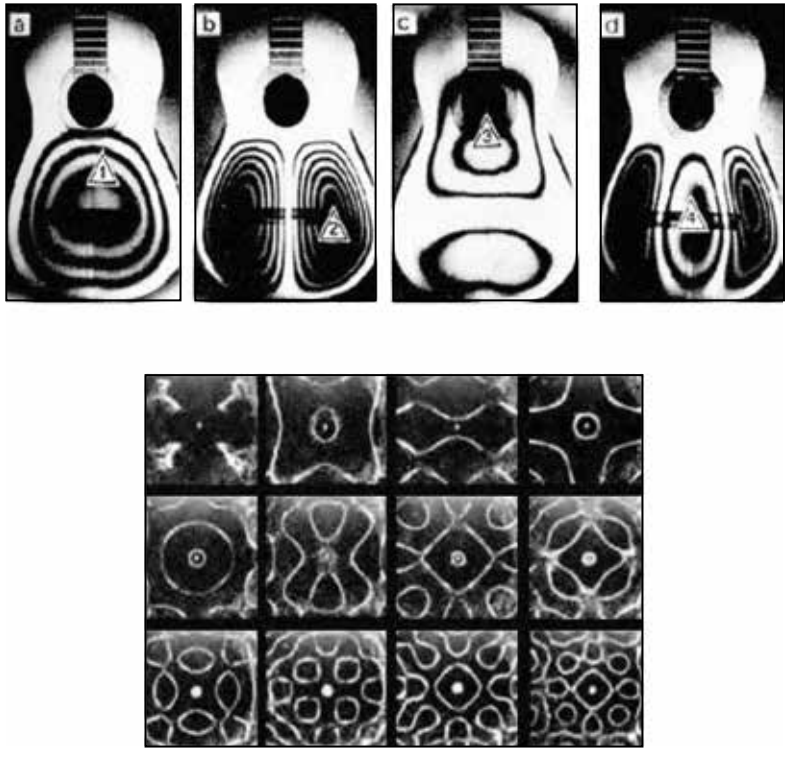
Ne taip kaip priežodžiu tapusi sferinė karvė*, mūsų pitagoriškas muzikos instrumentas nėra pernelyg atitrūkęs nuo tikrovės. Žymiai svarbiau, kad pamoka, kurią išmokome iš šio paprasto instrumento – *baigtiniams objektams*

* Pasakojama, kad vienoje fermoje karvės pradėjo duoti mažai pieno, todėl fermeris kreipėsi pagalbos į vietinį universitetą. Į fermą atvyko mokslininkų grupė, vadovaujama fiziko teoretiko. Po kurio laiko šis fizikas sugrįžo į fermą ir pasakė ūkininkui: „Turiu šios problemos sprendimą, tačiau jis galios tik sferinėms karvėms, esančioms vakuume.“

egzistuojantys geometriniai apribojimai veda prie šių objektų savųjų virpesių formų ir, atitinkamai, jų savųjų virpesių dažnių diskretumo (kvantavimo) – yra tobulai visuotinė. Kaip netrukus pamatysime, kvantinėje mechanikoje ši pamoka tampa svarbiausiu atomo fizikos ramsčiu.

Savieji virpesiai ir rezonanso dažnis

Stovinčiąsias bangas galima išgauti iš gitaros dekos (užgavus instrumento stygas) arba iš kvadratinės plokštės (į ją sudavus) (žr. 25 pav.). Ir šias



25 PAV. GITAROS GARSĄ ATSPINDINČIOS DEKOS VIBRACIJOS, ARBA STOVINČIŲJŲ BANGŲ ATVAIZDAI, SUDARO GEOMETRINES FIGŪRAS, KURIOS ATSPINDI SĄVEIKĄ TARP MEDŽIO FORMOS IR PROFILIO BEI STYGOS VIRPESIUS SUŽADINANČIO DAŽNIO.

bangas galima paversti matomomis. Pagrindinė idėja tokia pat kaip ir ta, kurią aptarėme ištemptos stygos atveju. Stovinčioji banga – tai judėjimas aukštyn ir žemyn, kuris vienose vietose gali būti didesnis (kalbant moksliniu žargonu, turėti didesnę amplitudę) nei kitose. Egzistuoja kreivės, išilgai kurių virpesių jėga išnyksta, ir jokio judesio išvis nebelieka. Tokių kreivių taškai vadinami mazgais, o pačios kreivės – mazginėmis kreivėmis. Jeigu ant plokštelės užbersite truputį smėlio, jis susikaups išilgai mazginių kreivių – kaip tik tai matote paveikslėlyje.

Šių dvimačių vibracijos šaltinių geometrija sudėtingesnė nei pavienės įtemptos stygos. Tai atsispindi ir savųjų virpesių suformuotuose atvaizduose – jie gerokai sudėtingesni.

Kad šiuose pavyzdžiuose išgautume tą ar kitą savųjų virpesių režimą, o ne kelių jų samplaiką, įvedame jėgas, kurios reguliariai kartoja savo veikimą, arba, kaip sakome mes, yra periodiškos laike. Gitara mums leidžia tą padaryti gnaibant stygas – kaip tik tam jos stygos ir skirtos! Priklausomai nuo to, kaip greitai vyks žadinančiųjų jėgų virpesiai (kitaip tariant, priklausomai nuo šių jėgų dažnio), vyraus skirtingi virpesių režimai.

Kiekvienas savųjų virpesių režimas kartojasi laike. Jėgos, kurias kiekviena judanti stygos, medžio arba metalo atkarpa perduoda kaimyninėms sritims, kiekvieno virpesių režimo atveju skirtingos, kaip skirtingas ir greitis, kuriuo viskas kinta. Tie režimai, kurie greitai kinta erdvėje, turi savybę sužadinti didesnes jėgas ir, atitinkamai, greitesnius judesius, kurių dažnis didesnis. Kiekvienas savųjų virpesių režimas turi savitą savąjį dažnį.

Šis savasis dažnis vadinamas ir rezonanso dažniu, ir štai dėl kokių priežasčių. Jeigu žadinančiosios jėgos dažnis artimas kurio nors režimo savajam dažniui, šis režimas būtinai pasireikš galingu atsaku. Tada, ir tik tada, kai išorinė žadinančioji jėga sutaps su vidinėmis jėgomis, ciklas po ciklo išaugs ir virpesių amplitudė. Kiekvienas žmogus, kuriam teko ritmingai spirtis kojomis ir tiestis visu kūnu, kad įsuptų sūpuokles, arba kuris supo sūpuoklėse vaiką, žino, kaip tai svarbu.

Kai suduodate į kamertoną arba gongą, virpesiai pasklinda nuo smūgio taško, tada atsimuša nuo pakraščių ir grįžta kaip aidas. Sudėtingi judesiai greitai išeikvoja savo energiją – atiduoda ją bėgančiosioms garso bangoms ir šilumai – palikdami vieną (kamertonui) arba kelias (gongui) santykinai il-

gai gyvuojančias stovinčiąsias bangas, kurių kiekviena vibruoja rezonansiniu dažniu. Kaip tik jas ir girdite kaip pastovų toną arba lėtai kintantį akordą po triukšmingos pradžios. Gongai sukuria kintančius akordus, laipsniškai prarandančius savo sudėtingumą ir galiausiai virstančius pavieniais tonais, nes juose gali egzistuoti keli ilgalaikiai stovinčiųjų bangų modeliai, slopstantys skirtingu greičiu.

Gitaros dekos virpesių arba stovinčiųjų bangų atvaizdai sudaro geometrines figūras, kurios atspindi sąveiką tarp medžio formos bei profilio ir stygą sužadinančių virpesių dažnio, kaip parodyta 25 pav. Panašūs stovinčiųjų bangų atvaizdai kvadratinėse vibruojančiose plokštelėse (apačioje) labiau simetriški. Šie raštai stulbinamai panašūs į elektronų debesų raštus (žr. 26 pav.). Panašumas tarp juos apibūdinančių lygčių absoliutus, ir tai dar labiau stulbina.

Praleista proga

Labai gaila, kad pitagorininkai toliau neplėtojo savo atradimų su virpančiomis stygomis ir neišmėgino tokių „instrumentų“, kurie būtų per žingsnį sudėtingesni, kaip antai mūsų dvimatės plokštės. Ten slypėjo nuostabi geometrijos, judesio ir muzikos sąveika, nusidriekusi žymiai toliau, nei siekia paprastos stygoms taikomos taisyklės, sąveika, teikianti malonumo ausims, akims ir protui. Pitagorininkai tada būtų kaip reikiant pasilinksminę.

Jie taip pat būtų atradę kelią, vedantį prie esminių mechanikos dėsnių, žymiai lengvesnį ir labiau prieinamą nei sunkus aplinkkelis per astronomiją, kuris galų gale atvedė prie tų pačių dėsnių, tačiau tik praėjus ne vienam šimtmečiui. Ir, kaip netrukus pamatysime, jie būtų paruošę dirvą kvantinei teorijai.

SFERŲ MUZIKA: ŠĮKART IŠ TIKRŲJŲ

Trečiasis Arthuro Clarko (Arturo Klarko) dėsnis skamba taip:

> *Bet kuri pakankamai išsivysčiusi technologija neatsiejama nuo magijos.*

Norėčiau prie to pridurti vieną pastebėjimą, kurį mūsų meditacija visapusiškai patvirtina:

> ***Gamtos** technologijos, kurių pagrindu ji kuria medžiaginį pasaulį, yra pakankamai išsivysčiusios.*

Laimė, Gamta leidžia mums tyrinėti jos išdaigas, ir jeigu skiriame joms pakankamai dėmesio, patys tampame burtininkais.

Šokiruojančios hipotezės

Kvantiniame atomų ir šviesos pasaulyje Gamta lepina mus, demonstruodama keistus ir iš pirmo žvilgsnio neįmanomus triukus.

Tuo metu, kai dvejetas iš šių triukų buvo atrasti, jie atrodė veik nerealūs.

(Ankstyvoji kvantinės teorijos istorija ganėtinai sudėtinga. Keletas kitų, ne tokių aiškių paradoksų taip pat suvaidino svarbius vaidmenis nukreipiant pradininkų mąstyseną tam tikra linkme, ir žmonės daugybę kartų pasuko akligatviais. Čia išdėsčiau aiškią ir santykinai paprastą istoriją, kuri yra tikrosios istorijos kraštutinė idealizacija. Istorijoje, kitaip nei Gamtos giluminėje struktūroje, Realus nuo Idealaus labai skiriasi. Išmintingas mokytojas – jėzuitas tėvas Jimas Malley (Džimas Mali) – įteikė man šį vertingą brangakmenį: „Daugiau palaimos vertas tas, kuris prašo atleidimo, o ne leidimo.“)

Vienas paradoksas yra susijęs su šviesa, o kitas – su atomais.

- Šviesa perduodama didelėmis porcijomis, kaip rodo fotoelektrinis efektas, kurį tuojau pat aptarsime. Fizikus tai sukrėtė. Po to, kai Maksvelo elektromagnetinė teorija buvo patvirtinta Herco eksperimentais (o po to daugybe kitų eksperimentų), fizikai pamanė suprantantys, kas yra šviesa. Juk šviesa – tai elektromagnetinės bangos. Tačiau elektromagnetinės bangos yra vientisos!
- Atomai – sudėtiniai objektai, tačiau tuo pačiu jie ir labai patvarūs. Elektronus 1897 pirmą kartą atrado D. D. Tomsonas (J. J. Thomson), ir esminiai faktai apie juos buvo išaiškinti maždaug per paskesnius 15 metų. O tie faktai tokie: atomą sudaro mažytis branduolys, kuriame sutelkta veik visa jo masė ir visas teigiamas elektros krūvis. Branduolį supa neigiamą krūvį turintys elektronai, kurių pakanka, kad bendras atomo krūvis būtų neutralus. Priklausomai nuo cheminio elemento, atomai yra skirtingų dydžių, tačiau dažniausiai būna apie 10^{-8} cm – šis matavimo vienetas vadinamas angstremu. Tačiau atomo branduolys yra 100 000 kartų mažesnis. Paradoksas: kaip ši struktūra gali išlikti stabili? Kodėl elektronai tiesiog nepasiduoda branduolio traukos jėgai ir jo nepuola?

Šie paradoksalūs faktai paskatino Einšteiną ir Borą išvesti keletą šokiruojančių ir tik iš dalies teisingų hipotezių, kurios tapo pirmaisiais stataus laiptatakio, vedančio į šiuolaikinę kvantinę teoriją, laipteliais.

Fotoelektrinis efektas – tai toks efektas, kai, nukreipus šviesą (o dar geriau – ultravioletinę spinduliuotę) į tam tikras medžiagas, šios ima spinduliuoti elektronus. Šis efektas išnaudojamas, pavyzdžiui, saulės baterijose, paverčiančiose šviesą elektros energija.

Idėja, kad šviesa gali suteikti elektronams pagreitį, padidinti jų energiją, o galbūt kartais netgi išplėšti juos iš atomų, pati savaime nė kiek nestebina. Elektrinis laukas šviesoje *turėtų* elgtis panašiai. Būtų galima tikėtis, kad energijai susikaupti reikia laiko, kitaip tariant, kad įjungę šviesą skleidžiamų elektronų iš pradžių nepamatysite. Anaiptol – šis efektas „įjungiamas“ iš karto. Taip pat galima būtų tikėtis, kad šviesos dažnis – kitaip tariant, jos spektro spalva – ne toks svarbus kaip jos stiprumas arba ryškumas. Deja,

taip irgi nėra: paaiškėjo, kad spektro spalvos artėjant prie jo raudono pakraščio yra bergždžios. Jeigu šviesa pernelyg rausva, sugebėsite išlaisvinti tik mažą dalį elektronų, kad ir kaip ryškiai apšviestumėte medžiagą.

Einšteinas paaiškino šiuos (ir kitus) efektus fotonų hipoteze. Jis teigė, kad šviesa perduodama pavieniais elementais, *fotonais*, kurie nedalomi. Energijos kiekis mažiausiame šviesos vienete, arba kvante, proporcingas šviesos dažniui. Taigi, fotonai mėlynajame spektro gale perneša beveik dukart tiek energijos, kiek perneša raudonojo spektro galo fotonai, o ultravioletinės spinduliuotės fotonai energijos turi dar daugiau.

Fotonų hipotezė pateikė paprastą, kokybinį, fotoelektrinio efekto paradoksalių elementų paaiškinimą. Kiekvienas fotonas arba atiduoda visą savo energiją, arba neatiduoda jos nė kiek, todėl nėra jokio reikalo ją laipsniškai kaupti, taigi tam nereikia skirti laiko eksperimento pradžioje. Kadangi raudonieji fotonai perneša mažiausiai energijos, jie mažiau efektyvūs, ir jeigu jiems nepakanka energijos išlaisvinti elektronus iš tam tikros medžiagos, jie tiesiog to nedaro.

Einšteino fotonų hipotezė nebuvo kokios nors didelės sistemos dalis, kaip kad Maksvelo lygtys arba dangiškoji Niutono mechanika. Iš tikrųjų, ji iš esmės prieštaravo tam, kas atrodė esanti akivaizdi išvada iš Maksvelo lygčių. Ši hipotezė aiškino kai kuriuos faktus, griaudama egzistuojančius ir labai sėkmingus pagrindinius principus, kuriais buvo aiškinama daugybė kitų reiškinių. Tai buvo skandalas! 1913 m., siūlydamas išrinkti Einšteiną į Prūsijos mokslų akademijos narius, Plankas (Planck) rašė:

> *Dėl to, kad savo samprotavimuose jis dažnai pameta siūlo galą, kaip kad, pavyzdžiui, savo šviesos kvantų hipotezėje, neturėtume jam pernelyg smarkiai prieštarauti. Juk vengiant rizikos, neįmanoma pristatyti tikrai naujų idėjų net ir tiksliuosiuose moksluose.*

Einšteinas pristatė mums šviesos kvantus, kitaip tariant, tai, ką šiandien vadiname fotonais, 1905 m. – aštuoneriais metais anksčiau! Dar po aštuonerių metų, 1921 m., kai Einšteinas gavo Nobelio premiją, jos suteikimo pagrindu ir buvo pasirinktas jo darbas apie šviesos kvantus. Tuo metu jis jau buvo įrodęs savo vertę.

Kalbant apie mūsų antrąjį paradoksą, stabilių, tvarių atomų paradoksą, Nilsas Boras pasiūlė idėją, skelbiančią, kad atomai gali būti tik *nuostoviosios būsenos*. Pagal klasikinę mechaniką galimas begalinis orbitų skaičius nusidriekia virš kontinuumo, kaip kad matėme Niutono kalno pavyzdyje. Boras teigė, kad atomo elektronai, išlaikomi elektrinių jėgų, sukasi aplink branduolį, tačiau galimas tik tam tikras ribotas orbitų skaičius. Paprasčiausiam – vandenilio – atomui jis pasiūlė paprastą, aiškią taisyklę, apibūdinančią galimas jo elektronų orbitas. (Specialistams: būtina, kad impulso integralas, įvertintas pagal orbitos ilgį – vadinamasis veikimo integralas – būtų lygus *sveikam skaičiui*, padaugintam iš Planko konstantos.) Kai elektronas skrieja viena iš „leistinųjų“ orbitų, sakome, kad atomas yra nuostoviosios būsenos. Elektronas išlieka šioje konkrečioje orbitoje tol, kol jo pernelyg smarkiai neragina, nes visos kitos galimos orbitos labai skiriasi nuo pradinės – ir silpnu bakstelėjimu jo permesti nepavyks! Galų gale, atomai nesuyra dėl to, kad visos leistinosios orbitos išlaiko elektronus saugiu atstumu nuo branduolių.

Boro nuostoviosios būsenos hipotezė taip pat nebuvo didelės sistemos dalis. Tiesą sakant, ji prieštaravo ir tam, kas atrodė kaip akivaizdi labai sėkmingos teorijos – Niutono mechanikos – implikacija. Kas tas Boras, kad galėtų nurodinėti elektronams, kur jiems galima ir kur negalima būti, arba kokį greitį jie gali arba negali įgyti? Tai buvo skandalas! Hipotezė paaiškino kai kuriuos faktus, tačiau tik griaudama jau egzistuojančius ir labai sėkmingus esminius principus, kuriais buvo aiškinama daugybė kitų reiškinių.

Boro taisyklės vandeniliui galėjo būti ir, žinoma, buvo patikrintos eksperimentiškai. Jų sėkmė suteikė jo šokiruojančiai hipotezei patikimumo.

Ir Einšteinas, ir Boras, keldami savo trikdančias hipotezes, labai gerai suprato, ką darą – ir ko *nedarą*. Jie nesiūlė nei nuoseklių „teorijų apie viską“, nei didžios sintezės, sukurptos pagal Niutono dangiškąją mechaniką ar Maksvelo elektromagnetizmą. Būsime tikslesni teigdami, kad jie, persismelkę Pitagoro paieškų dvasia, paveikti Niutono darbų apie šviesą ir Maksvelo darbų apie suvokimą, išryškino stulbinamus faktus, kuriems ateityje galėjo atsirasti gilesnis paaiškinimas.

Svarbi geros mokslinės strategijos dalis – tai probleminių sričių skirstymas į tas, iš kurių galima išauginti didžią sintezę, ir į tas, kur vaisingesnis

gali būti labiau oportunistinis požiūris. Sėkminga *kažkam* skirta teorija gali būti vertingesnė, nei mėginimas sukurti teoriją *viskam*.

„Aukščiausia muzikalumo forma“

Tam tikros rūšies atomai – pavyzdžiui, vandenilio atomai – sugeria kai kurias spektro šviesos spalvas žymiai efektyviau nei kitas. (Kalbant labiau apibendrintai, jie sugeria vienų dažnių elektromagnetines bangas veiksmingiau nei kitų dažnių bangas.) Tie patys atomai pašildyti didžiąją dalį savo spinduliuotės skleistų tomis pačiomis spektro spalvomis. Skirtingų rūšių atomų pirmenybinių spalvų rinkinys yra skirtingas – tai savotiški „pirštų atspaudai“, pagal kuriuos galima nustatyti jų tapatybę. Atomo pirmenybinių spalvų rinkinys vadinamas jo *spektru*.

Savo atomo modeliu Boras postulavo, kad elektronai atome gali egzistuoti tik kaip nuostoviųjų būsenų diskretusis rinkinys. Todėl galimos elektronų energijos vertės taip pat sudaro diskretųjį rinkinį. Ir štai kaip Boras susiejo šią idėją su tikrove dar viena šokiruojančia hipoteze. Jis manė, kad kartu su savo „leistinaisiais“ nuolatiniais judesiais kurios nors nuostoviosios būsenos elektronas kartkartėmis atlieka *kvantinį šuolį* iš vienos nuostoviosios būsenos į kitą. Kodėl? Kaip? Neklauskite. Svarbu tai, kad kvantinio šuolio procesą lydi fotonų išspinduliavimas arba sugėrimas. Kvantiniai šuoliai sukuria atominius spektrus.

Šiame visais kitais atžvilgiais prieš nusistovėjusias pažiūras nukreiptame modelyje Boras nelietė vieno švento principo – energijos tvermės. Jis atkakliai tvirtino, kad energija turi išlikti tvari net ir kvantinio šuolio procese.

Taigi, fotono energija pagal Einšteiną yra proporcinga jo dažniui, o dažnis užkoduotas jo spalvoje. O tai reiškia, kad Boro idėjos sudaro pranašišką derinį: atomo spektro spalvos atspindi jo gebėjimą pereiti iš vienos nuostoviosios būsenos į kitą ir tuo pačiu išryškina skirtumus tarp nuostoviųjų būsenų energijų dydžių. Boro modelis, numatydamas šias energijas, numatė ir spalvas, sudarančias vandenilio spektrą. Ir jis veikė!

Einšteinas, apmąstydamas Boro darbą, rašė:

Visada laikiau stebuklu tai, jog šio netvirto ir prieštaringo pagrindo pakako tam, kad Boras – unikalios nuojautos ir subtilaus takto žmogus – atrastų svarbiausius atomo spektro linijų ir jo elektroninio apvalkalo dėsnius <...> Man tai atrodo kaip stebuklas ir šiandien. Tai aukščiausia muzikalumo forma minties karalystėje.

Vis dėlto Einšteinas šiuo atveju suklydo. Pati nuostabiausia muzika vis dar laukė ateityje.

NAUJOJI KVANTINĖ TEORIJA: ATOMAI KAIP MUZIKOS INSTRUMENTAI

Boro sėkmė paliko teoretikams spręsti apgrąžos inžinerijos problemą. Jo modelis pateikė jiems atomų apibūdinimo „juodąją dėžę“, kuri kalba apie tai „kas“ buvo padaryta, bet nekalba „kaip“. Apmesdamas atsakymą į neišaiškintą klausimą, Boras padėjo pagrindus šauniam žaidimui *Jeopardy!** Dabar fizikai buvo priversti surasti tas lygtis, kurių sprendinys buvo Boro modelis.

Po didingų mūšių, po daugiau nei dešimtmetį trukusių milžiniškų pastangų ir įnirtingų ginčų atsakymas pagaliau buvo rastas. Jis išliko iki mūsų dienų, ir jo šaknys siekia taip giliai, jog, atrodo, jo niekas niekada nesugebės paneigti.

Kas gi ta kvantinė teorija?

Apibūdinant medžiagos elgesį atominiame ir subatominiame lygmenyse paaiškėjo, kad būtina ne tik pridėti nauja prie to, kas buvo žinoma anksčiau, bet ir sukurti radikaliai naują sistemą, kurioje būtų atsisakyta daugelio anksčiau patikimomis laikytų idėjų. Tokia sistema, gavusi kvantinės teorijos

* Daugelyje pasaulio šalių populiari televiktorina. *Vert. pastaba.*

(arba kvantinės mechanikos) pavadinimą, buvo iš esmės parengta baigiantis XX a. ketvirtajam dešimtmečiui. Nuo tada mūsų taikomi kvantinės teorijos matematinių problemų sprendimo būdai žymiai patobulėjo, ir mes, kaip kad įsitikinsite tolesniuose skyriuose, ėmėme žymiai išsamiau ir giliau suprasti pagrindines Gamtos jėgas. Tačiau ši žinių plėtra jau vyko pačiame kvantinės teorijos sistemos viduje.

Daugelį fizikos teorijų galima apibūdinti kaip ganėtinai konkrečius teiginius apie fizikinį pasaulį. Pavyzdžiui, specialioji reliatyvumo teorija – tai, iš esmės, dvigubas Galilėjaus simetrijos ir šviesos greičio invariantiškumo patvirtinimas.

Kvantinė teorija, kaip ji suprantama šiandien, nėra panaši į tokias teorijas. Kvantinė teorija – tai ne konkreti hipotezė, o glaudžiai tarpusavyje susipynusių idėjų tinklas. Jokiu būdu nenoriu pasakyti, kad kvantinė teorija neapibrėžta – taip tikrai nėra. Su retomis ir paprastai laikinomis išimtimis, kai susiduriama su bet kuria konkrečia fizikine problema, kiekvienas kompetentingas kvantinės mechanikos praktikas sutiks su tuo, kaip reikia imtis šią problemą spręsti naudojantis kvantine teorija. Tačiau tik nedaugelis, jeigu tokių išvis atsiras, galėtų pasakyti tiksliai, kokias prielaidas jie iškėlė, kad gautų atsakymą. Susitaikymas su kvantine teorija – tai procesas, per kurį *darbas jus išmokys, kaip jį atlikti*.

Taigi, pradėkime.

Banginės funkcijos, tikimybių debesys ir papildomumas

Kvantinės teorijos pasaulio apibūdinime pagrindiniai objektai yra ne dalelės, užimančios tam tikrą vietą erdvėje, ir ne Faradėjaus ir Maksvelo skysčiai, o *banginės funkcijos*. Galima atsakyti į bet kurį pagrįstą fizikinį klausimą apie fizikinę sistemą atsižvelgus į jos banginę funkciją. Tačiau ryšys tarp klausimo ir atsakymo nėra paprastas. Tiek pats būdas, kuriuo banginės funkcijos atsako į klausimus, tiek patys atsakymai, kuriuos jos pateikia, turi stebinančių – gal netgi keistų – savybių.

Čia sutelksiu dėmesį į ypatingos rūšies bangines funkcijas, kurios reikalingos tam, kad apibūdintume vandenilio atomą ir atrastume jo muzikalu-

mą. (Daugiau informacijos rasite skyriuje *Terminai*, ypač jo straipsneliuose ***Kvantinė teorija*** ir ***Banginė funkcija***.)

Taigi, mus domina banginė funkcija, kuri apibūdina pavienį elektroną, susietą elektrinėmis jėgomis su mažyčiu, tačiau žymiai sunkesniu protonu.

Prieš aptariant elektrono banginę funkciją, pravartu apibūdinti *jo tikimybės debesį*, kuris yra glaudžiai susijęs su bangine funkcija. Tikimybės debesį lengviau suprasti nei banginę funkciją, akivaizdesnė, tačiau ne tokia fundamentali, ir jo fizikinė reikšmė. (Šie pranašiški teiginiai bus tuojau pat sukonkretinti.)

Klasikinėje mechanikoje dalelės bet kuriuo duotuoju laiku užima tam tikrą padėtį erdvėje. Kvantinėje mechanikoje dalelės padėties apibūdinimas visiškai kitoks. Kiekvienu konkrečiu metu dalelė neužima konkrečios padėties; vietoj to jai priskiriamas tikimybių debesis, nusidriekiantis per visą erdvę. Bėgant laikui, tikimybių debesies forma gali keistis, nors, kaip netrukus pamatysime, kai kuriais *labai* svarbiais atvejais ji nesikeičia.

Iš pavadinimo nesunku numanyti, kad tikimybių debesį galima įsivaizduoti kaip išplėstinį objektą, kuris kiekviename taške turi tam tikrą ne neigiamą (teigiamą arba nulinį) tankį. Tikimybių debesies tankis taške reiškia santykinę dalelės aptikimo tame taške tikimybę. Todėl labiausiai tikėtina, kad dalelė bus aptikta ten, kur jos tikimybių debesies tankis didelis, ir žymiai mažiau tikėtina, kad ji bus aptikta ten, kur debesies tankis mažas.

Kvantinė mechanika nėra sukūrusi paprastų tikimybių debesų lygčių. Tačiau tikimybių debesys išskaičiuojami iš banginių funkcijų.

Pavienės dalelės banginė funkcija, kaip ir jos tikimybių debesis, priskiria tam tikrą amplitudę visoms galimoms dalelės padėtims. Kitaip tariant, ji priskiria skaičių kiekvienam taškui erdvėje. Banginės funkcijos amplitudė – kompleksinis skaičius, todėl banginė funkcija – tai kompleksinio skaičiaus priskyrimas kiekvienam erdvės taškui. (Jeigu jums tai – nežinoma žemė, galite atsiversti skyrių *Terminai* arba tiesiog priimti ją kaip poeziją. Mes nesigilinsime į kompleksinių skaičių savybių detales, kurios tokios pat gražios kaip ir jie patys.)

Kad iškeltume teisingus klausimus, turime atlikti tam tikrus eksperimentus, kurie įvairiais būdais leidžia ištirti banginę funkciją. Pavyzdžiui, galime atlikti eksperimentus, kuriais galima išmatuoti dalelės padėtį, arba eks-

perimentus, kuriais išmatuojamas dalelės judesio kiekis. Šie eksperimentai leidžia atsakyti į tokius klausimus: „Kur yra dalelė?“ ir „Kaip greitai ji juda?“

Kaip banginė funkcija atsako į šiuos klausimus? Iš pradžių vyksta tam tikras apdorojimas, o tada skaičių pavidalu pateikiami šansai.

Nagrinėjant padėties klausimą, apdorojimas ganėtinai paprastas. Paimame banginės funkcijos vertę (arba amplitudę) – priminsiu, jog tai kompleksinis skaičius – ir pakeliame jos modulį kvadratu. Tai duoda mums teigiamą skaičių arba nulį kiekvienoje galimoje pozicijoje. Šis skaičius ir yra tikimybė surasti dalelę toje vietoje, kaip tą ir aptarėme.

Kalbant apie judesio kiekį, apdorojimas žymiai sudėtingesnis – nemėginsiu jo smulkiai aprašyti. Norint atrasti tikimybę stebėti kokį nors judesio kiekį, iš pradžių reikia gauti banginės funkcijos svertinį vidurkį – būdas, kaip tą padaryti, priklauso nuo to, koks judesio kiekis jus domina – o tada pakelti tą vidurkį kvadratu.

Norint atsakyti į šiuos klausimus, reikia taikyti skirtingus banginės funkcijos apdorojimo metodus, kurie, kaip paaiškėja, tarpusavyje nesuderinami. Remiantis kvantine teorija, neįmanoma į abu klausimus atsakyti vienu metu. Negalite to padaryti, nors kiekvienas klausimas pats savaime visiškai teisėtas ir turi informatyvų atsakymą. Jeigu koks nors žmogus išmąstytų, kaip tą padaryti eksperimentiniu būdu, jis paneigtų kvantinę teoriją, nes pastaroji skelbia, kad to padaryti neįmanoma. Einšteinas daugybę kartų mėgino sugalvoti tokio pobūdžio eksperimentų, tačiau jam nė karto nepavyko to padaryti, ir galiausiai prisipažino pralaimėjęs.

Taigi, trys pagrindiniai momentai:

- Gaunamos tikimybės, o ne apibrėžti atsakymai.
- Negalima gauti prieigos prie pačios banginės funkcijos, o tik galima vogčiomis žvilgtelėti į jos apdorotus variantus.
- Norint gauti atsakymus į skirtingus klausimus, gali tekti apdoroti banginę funkciją skirtingais būdais.

Kiekvienas iš šių trijų momentų iškelia svarbius klausimus.

Pirmasis momentas iškelia *determinizmo* klausimą. Ar tikimybių realybės apskaičiavimas – tai geriausia, ką galima padaryti?

Antrasis momentas iškelia klausimą apie *pasaulių daugybiškumą*. Ką apibūdina pilna banginė funkcija, kai nemėginame į ją pažvelgi, kad ir vogčiomis? Ar ji reiškia milžinišką realybės išsiplėtimą – ar ji tik mintinis įrankis, nė kiek ne tikroviškesnis už sapną?

Trečiasis momentas iškelia *papildomumo* klausimą. Norėdami atsakyti į skirtingus klausimus, turime skirtingais būdais apdoroti informaciją. Tačiau svarbūs pavyzdžiai rodo, kad šie apdorojimo metodai tarpusavyje nesuderinami. Vadinasi, joks požiūris, kad ir koks protingas, negali duoti atsakymų į visus galimus klausimus. Kad išsamiai įvertintume realybę, turime pažvelgti į ją iš skirtingų perspektyvų. Toks yra *papildomumo* filosofinis principas. Pavyzdžiui, turime Heisenbergo (Heizenbergo) neapibrėžtumo sąryšį: neįmanoma išmatuoti ir dalelės padėties, ir jos judesio kiekio vienu metu. Šis teiginys teoriškai išplaukia iš banginių funkcijų matematikos. Eksperimentiškai jis iškyla dėl to, kad, norint atlikti matavimus, reikia aktyviai veikti matuojamą objektą. Ištirti reiškia „sąveikauti“, o sąveika – tai potencialus sutrikdymas.

Kiekvienas iš šių klausimų savaip žavus, ir pirmiesiems dviem mokslininkai skyrė itin daug dėmesio. Tačiau man atrodo, kad trečiasis klausimas ypač gerai pagrįstas ir prasmingas. Papildomumas – tai kartu ir fizikinės tikrovės savybė, ir išminties pamoka, prie kurios dar sugrįšime.

Nuostoviosios būsenos kaip savieji virpesiai

Lygtis, kuri apibūdina, kaip elektrono banginė funkcija kinta laike, vadinama Šriodingerio (Schrödingerio) lygtimi. Ši lygtis, jeigu ją traktuosime kaip tam tikrą matematikos dalį, glaudžiai susijusi su lygtimis, kuriomis apibūdiname muzikos instrumentus.

Vandenilio atomas, jeigu į jį pažvelgsime kaip į muzikos instrumentą, panašus į trimatį gongą: jis standus iš išorės – toli nuo protono, tačiau arčiau centro jį išjudinti lengviau. Tai reiškia, kad mūsų instrumento „virpesiai“, kurių intensyvumas užkoduotas banginės funkcijos amplitudėje, bus linkę telktis arčiau vidurio. Todėl banginė funkcija taip pat demonstruos polinkį telktis arčiau vidurio ir, žinoma, panašiai elgsis ir su ja susijęs tikimybių debesis. Štai kaip skamba griežta teiginio, kad protonas pritraukia elektronus, kvantomechaninė versija!

Dabar esame pasirengę suprasti, kaip šiuolaikinė kvantinė mechanika, pagrįsta banginėmis funkcijomis ir Šriodingerio lygtimi, vienu metu sugauna Boro „aukščiausiąjį muzikalumą“ ir peržengia jo ribas.

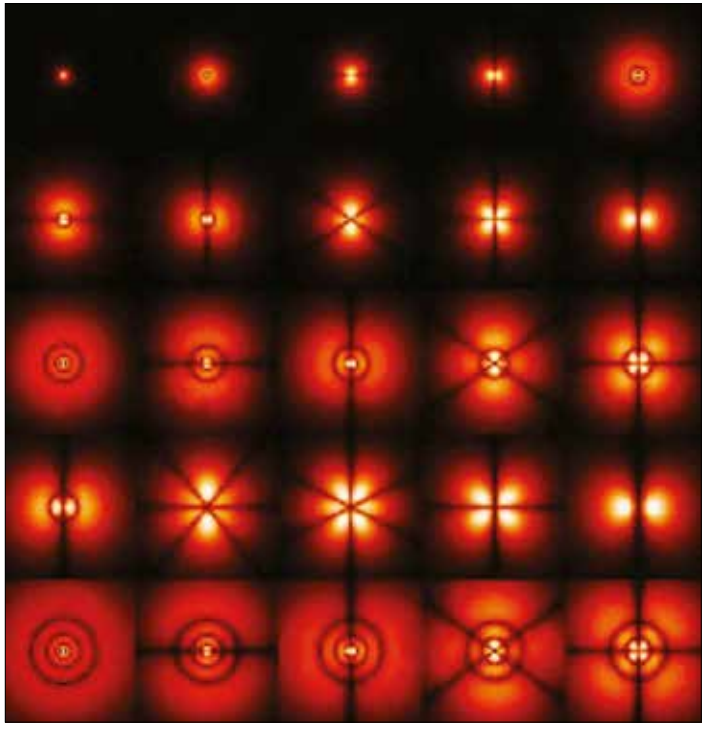
Pats svarbiausias žingsnis siekiant įvertinti fizikiniu požiūriu, kaip bet kuris muzikos instrumentas veikia – suprasti jo savuosius virpesius. Jie atitinka instrumento „natas“, virpesių raštą, kurį instrumentas gali palaikyti tam tikrą apibrėžtą laikotarpį ir kurį lengva išgauti (sugroti).

Kadangi Šriodingerio elektrono atome lygtis labai panaši į muzikos instrumento virpesių lygtį, turime aptarti jos sprendinius, kurie atrodo kaip savieji virpesiai. Ir paaiškėja, kad *banginės funkcijos* savieji virpesiai savo tikimybių debesies atžvilgiu reiškia kažką itin paprasto ir nuostabaus – o būtent tai, kad jie išvis nesikeičia!

(Aprašysime tai išsamiau naudodamiesi kompleksiniais skaičiais. Kalbant apie stygos virpėjimą (žr. 24 pav.), „virpa“ – kitaip tariant, kinta bėgant laikui – stygos elementų padėtys. Banginei funkcijai keičiasi tik rinkinys kompleksinių skaičių, kuriuos ji priskiria skirtingiems erdvės taškams. Savųjų virpesių atveju vykstantis kitimas paprastas: kompleksinių skaičių modulis išlieka fiksuotas, tačiau jų fazės kinta, ir visos vienodu dydžiu. Vadinasi, tikimybių debesyje aptinkamų jų modulių kvadratai nė kiek nesikeičia.)

Šie banginės funkcijos savieji virpesiai, atitinkantys nekintančius tikimybių debesis, turi būtent tokių savybių, kurių Boras tikėjosi iš savo „nuostoviųjų būsenų“. Elektronas išlieka bet kuriame virpesių derinyje neribotą laiką, ir jokie kiti deriniai šios savybės neturi. Be to, galima apskaičiuoti energiją, būdingą šiems saviesiems virpesiams, ir paaiškės, kad ji sutampa su Boro „leistinųjų orbitų“ energija.

Pažvelkime į kai kurias iš šių nuostoviųjų būsenų. 26 pav. atvaizduoti jų tikimybių debesys. Visais atvejais protonas yra centre, ir tai, į ką dabar žiūrite, yra dvimatė trimačio debesies projekcija. Debesies ryškumas nurodo jo dydį kaip matematinę funkciją, kitaip tariant, elektronas bet kurioje iš savo būsenų bus aptiktas ten, kur debesis ryškesnis. Kompaktiškesni debesys atitinka nuostoviąsias būsenas su mažesne energija.



26 PAV. KIEKVIENAS ATVAIZDAS – TAI VIENOKIOS AR KITOKIOS NUOSTOVIOSIOS BŪSENOS VANDENILIO ATOMO ELEKTRONO TIKIMYBIŲ DEBESIES AKIMIRKINĖ NUOTRAUKA. LABIAU TIKĖTINA, KAD ELEKTRONAS BUS APTIKTAS TEN, KUR DEBESIS RYŠKESNIS. VISAIS ATVEJAIS DEBESIES CENTRE YRA PAVIENIS PROTONAS. (TOKIAS PAČIAS ORBITŲ FORMAS TURI IR KITŲ ATOMŲ, PAVYZDŽIUI, ANGLIES ATOMO, ELEKTRONAI.)

Norint tinkamai įvertinti pačias bangines funkcijas, o ne iš jų gaunamus tikimybių debesis, reikia gerokai paplušėti, tačiau ir gaunami rezultatai žymiai įdomesni. Spalvotoje iliustracijoje CC matome tik vieną iš nuostoviųjų būsenų. Paviršių atvaizdai – tai paviršiai, kur banginės funkcijos amplitudė turi pastoviąją vertę. Jie atvaizduoti perpjauti, todėl galite matyti, kas jų viduje. Spalvos reiškia banginės funkcijos kaip kompleksinio skaičiaus fazę. Šią iliustraciją turite vertinti kaip akimirkinę nuotrauką. Laikui bėgant, spalvos keičiasi cikliškai. Atomai – išties psichodeliniai dariniai!

Nors ir labai sudėtinga, šiuolaikinė kvantinė teorija triuškinamai pranašesnė už novatorišką Boro modelį:

- Šiuolaikinėje kvantinėje teorijoje nuostoviųjų būsenų virsmai vyksta kaip loginis lygčių padarinys. Fiziškai jie atsiranda dėl sąveikos tarp elektronų ir *elektromagnetinio skysčio*. Palyginti su pagrindinėmis elektros jėgomis, kurios suriša elektronus, ši sąveika gana silpna, todėl mums dažnai pavyksta naudotis ja kaip pataisa, išlaikant nuostoviąsias būsenas kaip pradinius taškus. Vadovaudamiesi tokiu požiūriu, nelaikome šių virsmų tikrais pertrūkiais, nors jie vyksta ganėtinai greitai.
- Boro taisyklė, leidžianti nustatyti, kokios orbitos yra „leistinosios“, buvo aiškiai suformuluota tik pavieniams elektronams. Per daugelį šio *Jeopardy!* žaidimo metų, maždaug nuo 1913 iki 1925 m., buvo daug kartų mėginta atspėti žymiai sudėtingesnių situacijų taisykles. Tačiau kai Šriodingeris (o dar anksčiau – Heisenbergas) sugalvojo savo lygtį, ji pasirodė tiek pranašesnė ir netgi tiek „akivaizdžiai teisinga“, jog beveik iš karto buvo priimta kaip konsensusas ir labai greitai išsirutuliojo į šiuolaikinę kvantinę teoriją. Ir, sprendžiant iš jos stulbinamos ir iki šiol besitęsiančios sėkmės, Gamtai, atrodo, taip pat patinka kvantinė teorija.
- Kvantinė teorija muzikalesnė!

Procesas, kuris pakeičia kvantinius šuolius, ypatingai įdomus. Jame elektronas duoda pradžią elektromagnetinei energijai fotono pavidalu ten, kur iš pradžių nieko nebuvo. Tai vyksta, kai elektronas susiduria su savaiminiu aktyvumu elektromagnetiniame skystyje ir, perduodamas dalį savo energijos, sustiprina šį aktyvumą. Tokiu būdu elektronas pereina į žemesnės energijos būseną, virtualusis fotonas tampa realiuoju fotonu ir taip atsiranda Šviesa.

Šaltas, rūstus ir puošnus

Prieš tęsdamas norėčiau stabtelėti akimirkai ir papasakoti apie trumpą kivirčą su mano jaunystės herojumi Bertranu Raselu, kuris rašė:

> *Matematika, jeigu į ją deramai pažvelgsime, apima ne tik tiesą, bet ir aukščiausiąjį grožį – grožį, kuris yra šaltas ir rūstus, kaip ir skulptūros grožis, kuris niekaip neveikia jokios mūsų silpnos prigimties dalelės, kuris nėra papuoštas didingais tapybos ir muzikos atributais, tačiau yra tauriai tyras ir kupinas nepalenkiamo tobulumo, kurį gali skleisti tik pats didingiausias menas iš visų menų.*

Negaliu visiškai nesutikti su šiuo teiginiu, tačiau manau, kad jo puritoniškas tonas nukreiptas neteisinga linkme (ir išgirsti tai iš Raselo ganėtinai keista). Šaltas ir rūstus grožis gali būti nuostabus, tačiau didingi atributai taip pat gali būti puikūs. Jie papildo vienas kitą. Šriodingerio lygtis šalta ir rūsti. Tačiau galiausiai iš jos išplaukia tai, kas pavaizduota spalvotoje iliustracijoje CC!

Meistrų sukurti atomai

Per pastaruosius metus atomo fizikos ribos nuo pasyvaus stebėjimo pasistūmėjo link aktyvios kontrolės ir kūrybos. Meistro mokiniai patys tapo meistrais ir savarankiškai kibo į darbą.

Ties viena iš šių ribų atomų inžinieriai atrado būdų sugauti izoliuotus atomus, t. y. galimybę aiškiai matyti esminius kvantinius procesus. Pavyzdžiui, galima stebėti staigius būsenos pokyčius, kurie įvyksta pavieniam atomui spinduliuojant arba sugeriant šviesą, ir stebėti Boro „kvantinius šuolius“ realiuoju laiku. Atomų inžinieriai taip pat gali manipuliuoti tokiais atomais, įdėti juos į elektrinius ar magnetinius laukus arba apšviesti. Taip užtikrinama subtilios kontrolės galimybė. Pavieniai atomai – puiki medžiaga inžinerijai, nes jų faktiškai neveikia trintis, jų savybes galima reguliuoti (pasitelkus laukus) ir patikimai nuspėti (pasitelkus teoriją). Pavyzdžiui,

atomai – patikimiausi laikrodžiai pasaulyje. Dabartiniai geriausi atominiai laikrodžiai eina su vienos sekundės paklaida per milijardą metų.

Kita riba – naujų rūšių atomų sukūrimas. Kvantiniai taškai – tai dirbtiniai dariniai, pagrįsti tais pačiais principais, kaip ir natūralūs atomai, tačiau sukonstruoti pagal žmogaus nustatytus techninius reikalavimus. Tiesą sakant, tai naujos rūšies muzikos instrumentai, sukurti darbui ne su garsais, o su šviesa. Iš esmės kvantiniai taškai susideda iš nedidelio kiekio elektronų, izoliuotų mažoje erdvėje, kur jie patenka į dirbtiniu būdu sukurtų elektrinių laukų spąstus. Kvantiniai taškai užtikrina didžiules galimybes kuriant šviesos detektorius ir generatorius. Tai gali būti labai naudinga plečiant spalvinį suvokimą, kaip jau esame kalbėję anksčiau, ir plėtojant daugelį kitų sričių.

Atomų fizikos pradininkai nė nesapnavo kada nors manipuliuosią pavieniais atomais, jau nekalbant apie tai, kad kada nors juos kursią dirbtiniu būdu. Jų ankstyvuosiuose darbuose netgi galima rasti teiginių, neigiančių kvantinės inžinerijos galimybę. Boras ypač pabrėžė skirtumą tarp visiškai prieinamo „klasikinio pasaulio“ ir išskirtinio „kvantinio pasaulio“, kurį galima stebėti (tam tikrais ribotais būdais!), tačiau kurio negalima perkonstruoti. Tačiau jų tyrinėjimai, kurių akstinas nuo pat pradžių buvo grožio paieškos ir paprastas smalsumas, pagimdė nuostabias ir iki begalybės daug žadančias naujas technologijas.

Visa tai pamokoma.

Atlygį žmonės gauna už apčiuopiamas, realias paslaugas. Šis atlygis suteikiamas algos, pelno, socialinės padėties ir kitomis formomis. Tačiau visi sukaupti fundamentaliųjų mokslų ir menų turtai atsiranda iš pastangų, kurių galutinė vertė pastebima ne iš karto. Net ir tais atvejais, kai tam tikras proveržis akivaizdžiai svarbus, gali prireikti daugybės įtempto darbo metų, kol jis duos tam tikrą ekonominę naudą. Arba proveržio nauda gali būti vien kultūrinio pobūdžio ir niekada netaps ekonomine įprasta prasme. Žmonės, kurie dirba siekdami kaupti šio ypatingo pobūdžio turtą, paskiria savo jėgas ilgalaikiam investavimui į visos žmonijos gyvenimo pagerinimą. Ir kuris gi kietakaktis verslininkas ar praktiškas vartotojas pasirengęs už tai sumokėti? Ir vis dėlto istorija mus moko, kad toks indėlis į ateitį ir visuotinę gerovę galiausiai duoda dosnų derlių. Išmintinga visuomenė stengiasi rasti būdus skatinti tokią veiklą.

ATGAL PRIE PLATONO

Platono atomistinės teorijos, pagrįstos Platono kūnų formos atomais, detalės absoliučiai neteisingos. Vis dėlto Platono atomai – tikrovei apibūdinti graži ir tinkama metafora, nes perteikia esmines tiesas.

Medžiaga *iš tikrųjų* sudaryta iš kelių rūšių atomų. Atomai *iš tikrųjų* egzistuoja dideliais visiškai identiškų kopijų kiekiais. Medžiagų savybes *iš tikrųjų* nulemia jas sudarančių atomų savybės. Ir (o Platonui tai buvo visų svarbiausia) *atomai įkūnija idealus*.

Platono originalioje teorijoje atomai įkūnijo gražią simetrijos geometriją. Šiuolaikinėje teorijoje atomai – tai gražių lygčių sprendiniai. (Jeigu nusileisime per vieną lygį žemiau, kaip pamatysite, vėl grįšime prie simetrijos!) Jei turite pakankamai galingą kompiuterį ir disponuojate teisingomis lygtimis, šis kompiuteris pajėgs numatyti bet kurią atomo savybę, kurią tik įmanoma išmatuoti. Daugiau nieko nereikia. Kaip tik šia prasme atomai *įkūnija* lygtis.

APRIBOJIMO GROŽIS

Šiuolaikinės fizikos pagrindiniai dėsniai – tai dinaminiai dėsniai. Kitaip tariant, tai dėsniai, valdantys daiktų kitimą laike. Jie paverčia įvedinius (sąlygas, kurios buvo vienu momentu) išvediniais (sąlygomis kitu laiko momentu). Tačiau jie jaučiasi laimingi dirbdami su įvediniais, todėl neprimeta struktūros.

Pagal šiuos formalius požymius tie atomai, kuriuos žinome, vargu ar gali atsirasti iš dinaminių lygčių. Tam tikros rūšies – pavyzdžiui, vandenilio – atomai yra struktūros, turinčios milžinišką kiekį identiškų kopijų. Jie nei vystosi, nei irsta, stabilioje aplinkoje nedemonstruoja jokių savybių, kurios galėtų kisti laike. Pažvelgę į praeitį (tokią galimybę teikia baigtinis šviesos greitis), galime stebėti kadaise egzistavusių atomų spektrus, kurie patvirtina, kad tolimų galaktikų atomai tolimoje praeityje elgėsi lygiai taip pat, kaip

atomai elgiasi šiandieninėje Žemėje. Taip pat galime stulbinamai tiksliai palyginti spektrus, gautus kaimyninėse laboratorijose arba toje pačioje laboratorijoje su dviejų savaičių skirtumu.

Prekių gamyboje sukeičiamų dalių pritaikymas tapo revoliucine naujove, pasiekta itin sunkiu triūsu. O kaipgi to pasiekė Gamta? Kaip galėjo vienodumas, kurį žmonės pasiekė taikydami kruopštų derinimą, atsilaikyti prieš niokojančią laiko tėkmę? Ir jeigu šie statybiniai elementai yra išskirtinai stabilūs ir atsparūs pokyčiams, kaipgi jie tada galėjo atsirasti?

Maksvelas domėjosi šiuo klausimu ir įtemptai ieškojo į jį atsakymo, nes manė, kad jame glūdi geranoriško Kūrėjo egzistavimo įrodymas. Jis rašė:

> *Kaip žinome, natūralūs procesai keičia ir galiausiai suardo visą tvarką ir matmenis tiek Žemėje, tiek visoje Saulės sistemoje. Bet jeigu katastrofos vyksta nuo neatmenamų laikų ir vyks toliau, jeigu senosios sistemos gali sugrįžti, o ant jų griuvėsių gali atsirasti naujos sistemos, tai molekulės, iš kurių šios sistemos sudarytos, nesuyra ir nekinta – tai kertiniai medžiaginės visatos akmenys.*
>
> *Dabar molekulės taip pat nekinta savo skaičiumi, savo matmenimis ir savo svoriu, kaip ir tada, kai jos buvo sukurtos. Spręsdami iš šių jų savybių tvarumo, galime prieiti išvadą, kad mums būdingas matmenų tikslumo, teiginių pagrįstumo ir poelgių teisingumo – dalykų, kuriuos laikome tauriomis žmogaus savybėmis – siekis išplaukia iš Kūrėjo, sukūrusio ne tik Dangų ir Žemę, bet ir medžiagas, iš kurių šie kūriniai sudaryti, atvaizdo.*

Niutonas nebuvo tvirtai įsitikinęs Saulės sistemos stabilumu (ir manė, kad kartkartėmis Kūrėjas turi ją paremontuoti). Čia dėl panašių, bet netgi dar svaresnių priežasčių Maksvelas abejoja medžiaginių struktūrų stabilumu, kurį įrodo jų tikslus tarpusavio panašumas ir jų galimybė pasiekti chemijos tikslumą.

Atomai prieš saulių sistemas

Jeigu ne dieviška valia, kaip tada šiuolaikinės chemijos atomai su savo atkuriamomis, stabiliomis savybėmis *atsiranda* iš lygčių, kurios iš esmės yra lygtys, apibūdinančios kitimą?

Kad įvertintume šio klausimo prasmę, palyginkime jį su panašiai skambančiu klausimu, atsakymas į kurį visiškai kitoks. Tai klausimas, kuris, kaip matėme, įkvėpė Keplerį: kas nulemia mūsų Saulės sistemos dydį ir formą?

Į Keplerio klausimą šiuolaikinis atsakymas iš esmės toks: „Tai atsitiktinumas. Jokie esminiai principai nenulemia Saulės sistemos dydžio ir formos.“ Egzistuoja daugybė būdų, kuriais medžiaga gali kondensuotis į planetų ir jų palydovų apsuptą žvaigždę, lygiai taip pat, kaip egzistuoja daugybė kortų padalijimo variantų pokeryje: kokią kortų kombinaciją gausite, priklauso nuo gryniausio atsitiktinumo ir sėkmės. Ir iš tikrųjų, dabar astronomai tyrinėja aplink kitas žvaigždes besisukančias planetų sistemas ir mato, kad šios sistemos išdėstytos visai kitaip, nei mūsų Saulės sistema. Visos šios sistemos vystosi pagal fizikos dėsnius. Tačiau tai dinaminiai fizikos dėsniai. Jie nefiksuoja pradinio taško. Niutono dinaminis požiūris į pasaulį laimi prieš Keplerio geometrinio idealo siekį.

Ar tai reiškia, kad galima teigti bet ką? Jokiu būdu. Mes *galime* susieti daugelį Saulės sistemos dydžio ir formos savybių su pagrindiniais dėsniais. Kai kurias jų galima atsekti iki jų atsiradimo momento, kai vyko didžiulio dulkių ir dujų debesies gravitacinis kolapsas. (Stebime, kaip šis procesas vyksta kitose mūsų galaktikos dalyse, o ypač – Oriono ūke.) Ir tai, kad didžioji masės dalis atitenka centrinei žvaigždei, tokiai kaip mūsų Saulė, yra logiškas padarinys. Visuotinė trauka skatina kauptis medžiagą, o labai didelės masės santalkos centre sukuria slėgį, kurio pakanka įžiebti branduolinę reakciją: taip gimsta žvaigždė. Faktai, kurie taip paveikė Niutoną – kad visų planetų orbitos išdėstytos beveik vienoje plokštumoje (ekliptikos plokštumoje) ir kad planetos juda viena kryptimi – atspindi jų kaip kinetinio momento, kurį jos įgijo kondensuojantis pirminiam dujų debesiui, nešlių vaidmenį. Kitos charakteristikos atspindi ilgą istoriją (jeigu taip galima pasakyti), per kurią buvo šalinami įvairūs trūkumai. Viena iš tokių savybių – Mėnulis visada atsigręžęs į Žemę viena puse: jo sukimasis pastarojoje sukeltų galingus

potvynius, kurie veiktų kaip trintis. Spėjama, kad tolimoje praeityje toks sukimasis vyko, tačiau ilgainiui nuslopo. (Dėl panašių priežasčių paros trukmė Žemėje ilgėja. Geologiniai duomenys, atspindintys paros svyravimus potvynių ir atoslūgių nuosėdose, rodo, kad kambro periodu, maždaug prieš 650 mln. metų, para trukdavo apie 21 valandą.)

Žemės orbitos aplink Saulę dydį ir formą galime apytikriai „nuspėti“ remdamiesi visiškai kitokio pobūdžio samprotavimu. O jis būtu toks: jeigu šios orbitos dydis ir forma labai skirtųsi nuo dabartinių dydžio ir formos, neegzistuotų protinga gyvybė, kuri galėtų tai stebėti! Nurodytomis aplinkybėmis gyvybė, bent kiek artima tai formai, kuri mums dabar žinoma, būtų neįmanoma (arba sąlygos jai būtų itin nepalankios). Be daugybės kitų problemų, atsirastų šios: jeigu orbita būtų gerokai mažesnė, vanduo žemės paviršiuje užvirtų ir išgaruotų; jeigu orbita būtų gerokai per didelė, vanduo užšaltų; jeigu orbita pernelyg nutoltų nuo apskritiminės, atsirastų itin dideli temperatūros svyravimai.

Tokio pobūdžio argumentai, kurie iškelia mūsų egzistavimo sąlygas iki principų lygmens, vadinami antropiniais argumentais. Paimti pačia bendriausia forma, antropiniai argumentai iškelia daugybę klausimų. Visų pirma, kas gi tie „mes“, kai kalbama apie „mūsų egzistavimą“? Jeigu pareikalausime visko, ko reikia, tarkime, Frenko Wilczeko – arba, atvirkščiai, *jūsų*, mano skaitytojau – egzistavimui, kursime principus iš daugybės ypatingų aplinkybių, kurių iš tikrųjų nederėtų laikyti esminėmis visatos, Saulės sistemos ir netgi Žemės savybėmis. Galimas daiktas, kad žymiai nuosaikesnis požiūris – grįsti antropines „pranašystes“ laisvesniu reikalavimu, kad turi atsirasti tam tikros rūšies protas, galintis stebėti ir prognozuoti. Tačiau ir ši formuluotė iškelia ganėtinai sudėtingus klausimus nenudailintame biologijos ir filosofijos paribyje (Kokios sąlygos leidžia atsirasti protui? Kas yra protas? Kas yra stebėjimas? Kas yra prognozavimas?).

Mūsiškiai Žemės orbitos dydžio ir formos apribojimai – tai kuklus, ganėtinai paprastas ir švelnus antropinės argumentacijos pavyzdys. Vėliau pereisime prie žymiai drąsesnių ir prieštaringesnių pavyzdžių.

Kaip pastebėjo Maksvelas, jeigu atomai ir molekulės veiktų pagal tuos pačius principus, kaip Saulės sistema, pasaulis būtų visai kitoks. Kiekvienas

atomas skirtųsi nuo bet kurio kito atomo, ir kiekvienas atomas bėgant laikui kistų. Toks pasaulis negalėtų turėti tokios chemijos, kokią žinome mes – su tam tikromis medžiagomis ir griežtomis jų sąveikos taisyklėmis.

Iš karto nėra aišku, kas verčia atomų sistemas taip skirtingai elgtis. Abiem atvejais turime masyvų centrinį kūną, pritraukiantį keletą mažesnių kūnų. Apskritai imant, veikiančios jėgos, gravitacinės ir elektrinės, yra panašios – ir tos, ir kitos mažėja kaip atstumo kvadratas. Tačiau egzistuoja trys veiksniai, lemiantys labai skirtingus fizikinius rezultatus, kurių viename gale – standartiniai atomai, o kitame – nepanašios viena į kitą saulių sistemos:

1. Jeigu planetos (taip pat ir žvaigždės) skiriasi viena nuo kitos, visi elektronai turi visiškai tokias pačias savybes (taip pat kaip ir visi konkretaus cheminio elemento arba, jeigu kalbėsime tiksliau, konkretaus izotopo atomų branduoliai).
2. Atomai paklūsta kvantinės mechanikos taisyklėms.
3. Atomai yra išsiilgę energijos.

Žinoma, pirmasis šio paaiškinimo punktas iškelia dar vieną klausimą. Mėgindami paaiškinti, kodėl atomai gali būti tapatūs, pradedame nuo tvirtinimo, kad kai kurie kiti elementai, elektronai, visi yra tapatūs! Prie šio klausimo sugrįšime vėliau.

Tačiau tai, kad turime vienodas dalis, jokiu būdu neužtikrina vienodų rezultatų išvedinyje. Net jeigu ir visos planetos būtų vienodos, ir visos žvaigždės būtų vienodos, vis tiek egzistuotų daugybė galimų būdų „sukonstruoti“ saulės sistemą, ir šie būdai būtų pavaldūs pokyčiams.

Jau matėme, kad tęstinių dinaminėms lygtims paklūstančių objektų apibūdinimui kvantinė mechanika teikia diskretumo ir fiksuotus modelius. Ši istorija, kaip pamenate, rutuliojosi 24, 25, 26 pav. ir spalvotoje iliustracijoje CC.

Kad uždarytume šį ratą, turime suprasti, kodėl elektronai atomuose paprastai randami tik būdami vienos iš begalinės įvairovės būsenos. Čia mums padės trečiasis punktas. Modelis su pačia mažiausia energija – vadinamoji pagrindinė būsena – kaip tik ir yra ta, kurią paprastai aptinkame, nes atomai kenčia energijos badą.

Kodėl atomai taip trokšta energijos? Galų gale, taip yra dėl to, kad visata didelė, šalta ir besiplečianti. Atomai gali pereiti iš vienos būsenos į kitą, skleisdami šviesą ir prarasdami energiją arba sugerdami šviesą ir įgydami energijos. Jeigu emisija ir sugertis būtų subalansuotos, žaidime dalyvautų daug skirtingų modelių. Kaip tik taip būtų įkaitusioje, uždaroje sistemoje. Šviesa, išspinduliuota vienu metu, būtų sugerta vėliau, ir subalansuota pusiausvyra būtų išlaikyta. Tačiau didelėje, šaltoje ir besiplečiančioje visatoje išspinduliuota šviesa nuteka į neaprėpiamą tarpžvaigždinę erdvę, kartu išsinešdama energiją, ir nebesugrįžta.

Tokiu būdu aptinkame, kad dinaminės lygtys, kurios pačios savaime negali būti struktūros šaltinis, daro tai per džiudžitsu (jp. *švelnumo meną*), sutelkdamos kitų principų galią. Jos valdo kvantinės mechanikos ir kosmologijos ribojančiąsias jėgas. Kosmologija paaiškina atomų energijos badą, o kvantinė mechanika parodo, kaip energijos badas pagimdo tam tikrą struktūrą.

ATVAIZDAS IR ĮKVĖPIMAS

Manau, kad spalvota iliustracija CC yra nuostabus meno kūrinys. Joje panaudotos tam tikros šešėliavimo ir perspektyvos gudrybės, leidžiančios perteikti trimatiškumo įspūdį to, kas, nepaisant visko, yra dvimatis vaizdas. Kad būtų perteiktas sandaros įmantrumas, joje taip pat panaudotas išpjovos efektas ir skoningai atvaizduoti paviršiai (kitaip tariant, vienodų tikimybių paviršiai).

Vandenilio atomai turi tik vieną elektroną. Žengę vienu žingsniu toliau sudėtingumo skale, pereisime prie helio, kurio atomas turi du elektronus. Kvantinis atomas su dviem elektronais – vizualizacijai žymiai sudėtingesnis objektas, ir dar nemačiau, kad kam nors tai būtų pavykę gerai padaryti. Šią užduotį žymiai apsunkina tai, kad kiekvienai galimai vieno elektrono padėčiai antrojo elektrono banginė funkcija yra kitas *trimatis* objektas. Todėl iš tikrųjų natūrali vieta visai dviejų elektronų sistemos banginei funkcijai – tai

erdvė, kurios matmenys 3 + 3 = 6. Gana sunku įsivaizduoti tokį objektą taip, kad jį suvoktų žmogaus smegenys. Idėjos, kurias paminėjau kalbėdamas apie spalvinio suvokimo erdvės išplėtimą, čia taip pat praverstų.

Ambicingi meniškų polinkių mokslininkai, persmelkti Bruneleski ir Leonardo da Vinči dvasios, regi šioje sunkioje užduotyje *galimybę* kurti. Jie siekia atverti giluminius tikrovės aspektus, kurie ne tik gražūs, bet ir praplečia suvokimo ribas. Viliuosi, kad spalvota iliustracija CC – tai ženklas, kad greitai jiems viskas pavyks.

Įtikinami atomų atvaizdai, derinami su reguliarumu ir kintamumu, savo savybėmis taps panašūs į mandalas. Negana to, jie atvers mums bauginančią ir jaudinančią prasiskverbimo į paslaptingo dvasingumo esmę perspektyvą: Tu Esi Tai. Nes žinote – juk taip ir yra.

SIMETRIJA I

DU EINŠTEINO ŽINGSNIAI

Sukūręs dvi reliatyvumo teorijas – specialiąją ir bendrąją – Albertas Einšteinas (1879 – 1955) samprotavimus apie esminius Gamtos principus praturtino nauju stiliumi. Einšteinui ypatingą simetrijos formą įgavęs grožis ima gyventi savitą gyvenimą. Grožis virsta kūrybiniu principu.

Paslaptinga kilmė

Apibūdindamas savo požiūrį į mokslą, Einšteinas ištarė žodžius, kurie skamba anaiptol ne moksliškai ir sugrąžina mus į senovės Graikijos laikus, kuriais jis žavėjosi:

> *Iš tikrųjų štai kas mane domina: ar Dievas, kurdamas pasaulį, galėjo rinktis.*

Einšteino prielaida, kad Dievas – arba pasaulį kuriantis Meistras – galėjo neturėti pasirinkimo, būtų iki širdies gelmių sukrėtusi ir Niutoną, ir Maksvelą. Tačiau ji puikiai dera su pitagorininkų visuotinės harmonijos paieškomis arba su Platono nekintančio Idealo idėja.

Jeigu Meistras negalėjo rinktis, tai kodėl? Kas galėjo apriboti pasaulį statantį Kūrėją?

Visų pirma, gali būti ir taip, kad Meistras širdyje buvo menininkas. Jeigu taip, tada jį ribojo *grožio* troškimas. Norėčiau manyti (ir manau), kad Einšteinas įtemptai apmąstė mūsų Klausimą – ar šis pasaulis įkūnija gražias idėjas – ir su giliu įsitikinimu atsakė: „Taip!“

Grožis – miglota sąvoka. Tačiau pradėsime nuo to, kad tokios pat miglotos kadaise buvo ir sąvokos „jėga“ bei „energija“. Iš pokalbių su Gamta mokslininkai sužinojo, kaip ištobulinti žodžių „jėga“ ir „energija“ reikšmę, kad jais būtų galima įvardyti svarbius tikrovės aspektus.

Tyrinėdami Meistro rankų darbą, ištobuliname ir „simetrijos“, o galiausiai ir „grožio“ sąvoką. Abi šios sąvokos atspindi svarbius tikrovės aspektus, bet tuo pat metu lieka ištikimos savo reikšmės kasdienėje kalboje dvasiai.

SPECIALIOJI RELIATYVUMO TEORIJA: GALILĖJUS IR MAKSVELAS

Jeigu Einšteinas buvo atgimęs Pitagoras, tada jis per ankstesnius laikotarpius (daugybę reinkarnacijos ciklų) daug ko išmoko. Žinoma, Einšteinas neneigė Niutono, Maksvelo ir kitų mokslinės revoliucijos herojų atradimų ir neišsižadėjo jų pagarbos stebimai tikrovei ir konkretiems faktams. Richardas Feynmanas (Ričardas Feinmanas) pavadino Einšteiną „milžinu, kurio galva kyšo debesyse, o kojos tvirtai remiasi į žemę“.

Savo *specialiojoje reliatyvumo teorijoje* Einšteinas suderino dvi pirmtakų idėjas, kurios, atrodė, prieštaravo viena kitai.

- Galilėjaus pastebėjimas, kad visuotinis judėjimas pastoviuoju greičiu nekeičia Niutono dėsnių. Ši mintis yra esminė Koperniko astronomijai ir giliai įsiterpusi į Niutono mechaniką.
- Maksvelo lygtys implikuoja mintį, kad šviesos greitis – tiesioginis pagrindinių Gamtos dėsnių rezultatas ir kad jis nekintamas. Tai vienareikšmis padarinys Maksvelo elektrodinaminės šviesos teorijos – teorijos, kurią eksperimentais patvirtino Hercas ir daugelis kitų mokslininkų.

Tarp šių abiejų idėjų iškyla prieštara. Mūsų patirtis byloja, kad bet kurio objekto akivaizdus greitis kinta, jeigu jūs patys judate. Achilas pavys vėžlį ir netgi jį aplenks. Kodėl su šviesos pluoštu turi būti kitaip?

Einšteinas išsprendė šį prieštaravimą. Kritiškai išanalizavęs operacijas, kurios būtinos sinchronizuojant skirtingose vietose esančius laikrodžius, ir tai, kaip šis sinchronizavimo procesas kinta vykstant visuotiniam judėjimui pastoviuoju greičiu, Einšteinas netrukus suprato, kad „laikas“, kurį tam tikram įvykiui priskiria judantis stebėtojas, skiriasi nuo „laiko“, kurį tam pačiam įvykiui priskiria fiksuotas stebėtojas, ir šis skirtumas priklauso nuo paties įvykio padėties. Apibūdinant įvykius, kuriuos jie stebi kartu, vieno stebėtojo nustatytas laikas tampa kito stebėtojo erdvės ir laiko deriniu, ir atvirkščiai. Kaip tik šis erdvės ir laiko „reliatyvumas“ buvo naujovės, papildžiusios Einšteino specialiąją reliatyvumo teoriją. Abi teorijos prielaidos buvo žinomos ir visuotinai pripažįstamos dar iki jo darbų, tačiau niekas nebuvo rimtai nusiteikęs reikalauti jų suderinimo ar jį atlikti.

Maksvelo lygtys apima šviesos greitį, todėl antroji specialiosios reliatyvumo teorijos prielaida, kad šviesos greitis yra invariantiškas Galilėjaus transformacijų atžvilgiu, tiesiogiai išplaukia iš pagrindinės Einšteino idėjos – būtinybės išsaugoti tiek Maksvelo lygtis, tiek Galilėjaus simetriją. Tačiau tai gerokai silpnesnė prielaida.

Tiesą sakant, Einšteinas sugebėjo apversti argumentaciją aukštyn kojomis parodydamas, kad keturių Maksvelo lygčių užbaigtą sistemą galima išvesti iš vienos jų panaudojus Galilėjaus transformacijas bendram atvejui atkurti. (Priverčiant krūvį judėti, sukuriamos srovės, o priverčiant judėti elektrinius laukus, sukuriami magnetiniai laukai. Vadinasi, dėsnis, nule-

miantis, kaip nejudantys elektros krūviai po Galilėjaus transformacijų sukuria elektrinius laukus, suteikia bendrą atvejį.) Šis įmantrus triukas išreiškė ateities nuojautą. *Simetrija, o ne iš žinomų dėsnių išvesta dedukcija tapo pagrindiniu principu, gyvenančiu savarankišką gyvenimą*. Dabar buvo galima simetrijos reikalavimu apriboti dėsnius.

DU EILĖRAŠČIAI ŠVIESOJE

Peraudžiant vaivorykštę

Vieną iš specialiosios reliatyvumo teorijos fizikinių padarinių laikau gražesniu už visus kitus. Jis sutelkia į save daugelį mūsų pačių giliausių temų – ir tuo pačiu tiesiogiai kreipiasi į mūsų juslinę patirtį. Ankstesnieji mūsų meditacijos skyriai, pasakojantys apie šviesos ir spalvų fiziką bei istoriją, paruošė mus tam, kad dabar pasimėgautume juo kartu.

Pamąstykime, kaip pasikeistų grynasis tam tikros spektro spalvos šviesos pluoštas, jeigu žvelgtume į jį nuo pastoviuoju greičiu judančios platformos, kitaip tariant, jeigu sukeltume Galilėjaus transformaciją. Savaime suprantama, kad ir toliau matytume šviesos pluoštą. Šis pluoštas ir toliau skverbtųsi per erdvę ankstesniu greičiu – šviesos greitis invariantiškas. Jeigu stebėsime grynąjį tam tikros spektro spalvos šviesos pluoštą, ir toliau matysime jį kaip grynąjį tam tikros spektro spalvos pluoštą. Tačiau... Jis bus *kitokios* spalvos! Jeigu judėsime ta pačia kryptimi kaip ir šviesos pluoštas (kitaip tariant, tolsim nuo jo šaltinio) arba jeigu jo šaltinis tols nuo mūsų, šviesa pasislinks link raudono spektro galo (o jeigu šis nuo pat pradžios buvo raudonas, tai taps infraraudonu). Jeigu judėsime priešinga kryptimi, spalva pasislinks link mėlyno spektro galo (arba ultravioletinio). Kuo greičiau judėsime, tuo labiau šis efektas bus pastebimas.

Su ką tik aprašytu efektu nuolat susiduriame kosmologijoje, nes tolimos galaktikos juda tolyn nuo mūsų – arba, kaip dažnai sakome, visata plečiasi. Šiame kontekste jis žinomas kaip raudonasis poslinkis. Pastebėtas žinomų spektro linijų raudonasis poslinkis kaip tik ir leido atrasti visatos plėtimąsi.

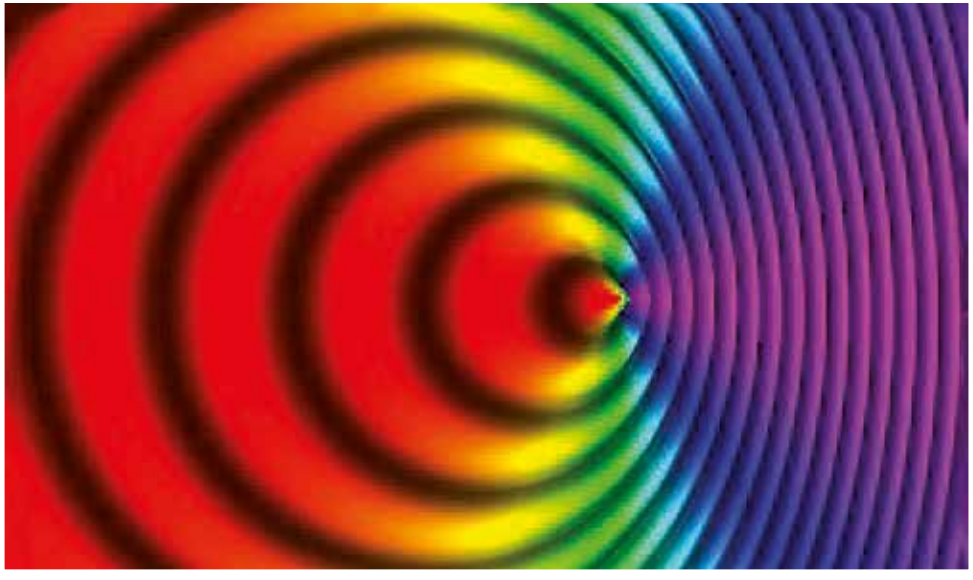
Mums itin svarbi ši išvada: *visas spalvas galima išgauti iš bet kurios spalvos pasitelkus judėjimą*, arba, kaip esame įpratę sakyti, sukeldami Galilėjaus transformacijas. Kadangi šios transformacijos – tai Gamtos dėsnių simetrijos, bet kuri spalva yra visiškai lygiavertė bet kuriai kitai spalvai. Jos visos atsiranda kaip skirtingi to paties objekto atvaizdai, matomi iš skirtingų, tačiau vienodai galiojančių perspektyvų.

Čia mums reikalingas atvaizdas! Spalvotoje iliustracijoje DD galima pamatyti bangų spektrą, susijusį su grynosios šviesos pluoštu – spektro spalva – sklindančiu iš šaltinio, judančio į dešinę greičiu, lygiu 7/10 šviesos greičio. Jeigu esate iš dešinės, tai pluoštas prie jūsų artėja ir suvokiate jo spalvą kaip mėlyną; jeigu esate iš kairės, tada spindulys tolsta ir jį suvokiate kaip raudoną. Šioje akimirkinėje nuotraukoje šaltinis yra šalia centro.

Niutonas manė, kad jam pavyko įrodyti, jog kiekviena spektro spalva iš esmės skiriasi nuo bet kurios kitos spalvos ir jog jokia alchemija negali vienos spalvos paversti kita. Niutono eksperimentai parodė, kad, nepaisant atspindžio, lūžio ir daugelio kitų galimų transformacijų, bet kurios spektro spalvos šviesa išlieka.

Tačiau jis apsišovė! Jeigu tik Niutonas būtų pamėginęs lėkti pro savo prizmes dešimčių tūkstančių metrų per sekundę greičiu, būtų pamatęs savo klaidą. Žinoma, juokauju. Labai dažnai (ir tai iš tiesų glumina) galima sutikti mokslo populiarintojų ir tyrinėtojų, kurie panašius dalykus kalba labai rimtai, tarsi viskas, kas yra už naujausios Teisingos Visko Istorijos, laikytina tiesiog šiukšlėmis. Tai palengvintas netolerantiškoms, totalitarinėms ideologijoms būdingos mąstysenos variantas. Mintis, kurią noriu pabrėžti, visiškai priešinga – kaip arti tiesos buvo Niutono išvados ir kiek naudingos jos tebėra.

Ir vis dėlto, kaip puiku sužinoti, kad ši istorija turi dar vieną skyrių, kuriame atrandame gilią vienovę, pagrindžiančią ir užtikrinančią regimybės įvairovę. Visos spalvos – tai vienas ir tas pats dalykas, matomas esant skirtingoms judėjimo būsenoms. Tai puikus poetiškas mokslo atsakymas D. Kitsui, besiskundžiančiam, kad mokslas „išpins vaivorykštės pynę“.



ILIUSTRACIJA DD. STEBĖTOJAS, GREITAI JUDANTIS ŠVIESOS PLUOŠTO ATŽVILGIU, PASTARĄJĮ MATYS KAIP SKIRTINGŲ SPALVŲ DERINĮ. ČIA PAVAIZDUOTAS ŠVIESOS PLUOŠTAS, SKLINDANTIS IŠ ŠALTINIO, KURIS JUDA Į DEŠINĘ GREIČIU, PRILYGSTANČIU $^{7}/_{10}$ ŠVIESOS GREIČIO. JEIGU STOVĖSITE DEŠINĖJE IR PLUOŠTAS JUDĖS LINK JŪSŲ, SPALVA BUS MĖLYNA; JEIGU STOVĖSITE KAIRĖJE IR PLUOŠTAS NUO JŪSŲ TOLS, JO SPALVA BUS RAUDONA. ŠIAME PAVEIKSLĖLYJE PARODYTA BANGINIO MODELIO, KURIO ŠALTINIS YRA CENTRE, AKIMIRKINĖ NUOTRAUKA.

Spalvos atgaivinimas

Fizikinė spalvos esmė, kaip ir fizikinė garso esmė, yra kintantis laike signalas.

Šviesos kitimas laike vyksta pernelyg greitai, kad mūsų juslės galėtų į jį reaguoti. Šio kitimo dažnis pernelyg didelis. Ir tam, kad iš šios sunkios padėties išgautume kuo daugiau naudos, mūsų jutimo sistema apdoroja informaciją ir užkoduoja jos mažą dalelę kaip suvokiamą spalvą.

Tas kodas, kurį gauname kaip išvedinį, apima tik labai menką originalo dalį! Suvokdami spalvą, regime tik pokyčių simbolį, o ne tai, kas keičiasi.

Tačiau kalbant konkrečiai, galime atkurti didesnę dalį prarastos informacijos, atkurdami laikinį kitimą – pakeisdami jo mastelį taip, kad žmogus galėtų jį suvokti. Per šį transformatyviojo atkūrimo veiksmą išplečiame suvokimo ribas.

BENDROJI RELIATYVUMO TEORIJA: LOKALUMAS, ANAMORFIJA IR JUOS ĮGALINANTYS SKYSČIAI

Specialiąja reliatyvumo teorija, kaip ir ką tik aptarėme, Einšteinas iškėlė Galilėjaus simetriją (invariantiškumą) iki vieno iš pagrindinių principų – iki reikalavimo, kuriam turi paklusti visi fizikos dėsniai. Maksvelo lygtys nuo pat pradžių tenkino šį reikalavimą, o Niutono judėjimo dėsniai jo netenkino, tačiau Einšteinas pasiūlė modifikuotą mechaniką, kuri šį reikalavimą tenkina. Kalbant apie kūnus, kurių judėjimas žymiai lėtesnis nei šviesos greitis, Einšteino versija atkartojo puikiai veikiančios Niutono teorijos atsakymus.

Tačiau Niutono gravitacijos teoriją prie šių reikalavimų pritaikyti žymiai sunkiau. Niutono teorija sukasi aplink masės sąvoką, tačiau specialiojoje reliatyvumo teorijoje masė praranda savo „šiltą vietelę“. Iš esmės, masė nėra tvari. (Jeigu šios sąvokos jums nepažįstamos, perskaitykite straipsnelius *Masė* ir *Energija* skyriuje *Terminai*.)

Taigi, norėdami, kad gravitacija reaguotų į masę, kaip kad daroma Niutono teorijoje, duodate nevienareikšmiškus nurodymus. Reliatyvistinei gravitacijos teorijai prireikė naujų pamatų.

Galiausiai Einšteinas savo bendrojoje reliatyvumo teorijoje šią problemą išsprendė sustiprindamas simetrijos sąvoką. Jis pavertė simetriją – o kalbant konkrečiai, Galilėjaus simetriją – *lokalia*.

Galime geriau suprasti bendrojoje reliatyvumo teorijoje taikomą lokaliąją simetriją palyginę ją su griežtąją simetrija (kurią taiko specialioji reliatyvumo teorija).

Pagal *griežtąją* Galilėjus simetriją, arba invariantiškumą, galime pakeisti visatos judėjimo būseną pridėdami pastovųjį bendrą greitį – fizikos dėsniai dėl to nesikeičia. Kita vertus, jeigu pakeisime skirtingų visatos dalių *santykinį* judėjimą, primesdami greičius, kurie kinta erdvėje ir laike, turime tikėtis ir fizikos dėsnių pokyčių. Jeigu mojuosite magnetu šalia kompaso rodyklės, rodyklė judės!

Lokalioji Galilėjaus simetrija (arba invariantiškumas) postuluoja, kad egzistuoja žymiai platesnė fizikos dėsnių nekeičiančių transformacijų klasė. O būtent: ji teigia, jog galime pasirinkti pridėtinį greitį taip, kad jis būtų skirtingas skirtingu metu ir skirtingose vietose. Šis tvirtinimas turėtų šokiruoti, nes ką tik pasakėme, kad šis teiginys kaip tik ir *neveikia*!

Tačiau yra būdas minėtą teiginį realizuoti išplečiant šią teoriją. Po daugybės bandymų apibūdinti esminę idėją prieinamu būdu, kurie buvo atlikti įvairiais atvejais per kelerius metus, suradau vieną man patikusį būdą. Neatsitiktinai jis grindžiamas mūsų ankstesniais samprotavimais ir semiasi idėjų iš meno.

Kaip mūsų simetrijos prototipą panaudojome meninę perspektyvą. Galite peržiūrėti tą pačią sceną iš kelių skirtingų vietų ir taip išgauti skirtingas perspektyvas. Šios scenos vaizdų projekcijos gali skirtis (ir tikrai skirsis) daugeliu smulkmenų, tačiau jos vis tiek išliks vienos ir tos pačios scenos vaizdais. Perspektyvos pakeitimas nepakeičiant veiksmo vietos – puikus simetrijos pavyzdys.

Panašiu būdu galime žvelgti į pasaulį iš skirtingų „perspektyvų“, suteikdami jam pastovųjį greitį arba, kas iš esmės vienas ir tas pats, žiūrėdami į jį nuo judančios platformos. Kai tą darome, daugelis dalykų ima atrodyti

kitaip, tačiau – pagal specialiąją reliatyvumo teoriją – tie patys fizikos dėsniai lieka galioti. Ta prasme tai ir toliau bus to paties pasaulio vaizdas.

Dabar, užuot keitę perspektyvą, pamėginkime įsivaizduoti bendresnius veiksmo vietos stebėjimo būdus. Tai nukelia mus į anamorfinio meno, kurio puikus pavyzdys pateiktas *spalvotoje iliustracijoje EE*, sritį. Anamorfiniame mene naudojami lęšiai, išlenkti veidrodžiai ir kitos priemonės, leidžiančios kurti vaizdus, kuriems suteikiami įdomūs, išskirtinio modelio pavidalai. Tam tikrą sceną galinčių perteikti vaizdų diapazonas žymiai didesnis, apima kai kuriuos itin deformuotus pavidalus.

Jeigu pasitelksime labiau „fizikinę“ kalbą, galime įsivaizduoti, kad žiūrime į pasaulį per skaidrią, tačiau šviesos pluoštą iškreipiančią medžiagą – pavyzdžiui, vandenį. Taip pat galime įsivaizduoti, kad vanduo kai kuriose vietose gali būti tankesnis, todėl šviesos pluošto lūžio kampas skirtingose jo vietose gali skirtis. (Tą sunku padaryti su tikru vandeniu, tačiau mums tai nesvarbu.) Šiuo atveju vaizdai, kuriuos pamatysime skirtingose vietose, gali būti iškraipyti ir iš tikrųjų atrodyti labai nevienodai. Mums gali būti sunku juos tinkamai paaiškinti.

Jeigu nesuprasime, kad tokį efektą sukėlė vanduo, mums kils pagunda galvoti, kad šie vaizdai perteikia skirtingas veiksmo vietas. Tačiau jeigu žinosime apie vandenį ir atsižvelgsime į jo poveikį, galėsime suskaičiuoti žymiai daugiau galimų atvaizdų, kuriuos suvoksime kaip tikrą mūsų stebimos vietos vaizdą. Pavyzdžiui, galime paskirstyti vandenį skirtingais būdais, kad sukurtume juokų kambario veidrodžio efektą. Netgi galime priversti vandenį judėti, kad mūsų vaizdai taip pat kistų laike. Trumpai tariant, *įsivaizduodami erdvę užpildantį skystį ir atsižvelgdami į jo sukeliamus efektus, didelę transformuotų vaizdų įvairovę galime laikyti vienos ir tos pačios scenos, stebimos per skirtingas skysčio būsenas, atvaizdais*.

Panašiu būdu, įvesdamas tinkamos rūšies medžiagą į erdvėlaikį, Einšteinas sugebėjo leisti tiems fizikinių dėsnių iškraipymams, kuriuos sukelia erdvėje ir laike kintančios Galilėjaus transformacijos, vykti kaip naujos medžiagos modifikacijoms. Ši medžiaga vadinama *metriniu lauku* arba, kaip esu linkęs ją vadinti aš, *metriniu skysčiu*. Išplėstinė sistema, susidedanti iš pradinio pasaulio ir hipotetinės naujos medžiagos, paklūsta dėsniams, kurie išlieka tokie patys net ir tada, kai įvedame kintamus greičio pokyčius, nors

ILIUSTRACIJA EE. ANAMORFINIAM MENUI BŪDINGAS NE TIK PERSPEKTYVOS ŽAISMAS, BET IR KAI KURIOS BENDRESNIO POBŪDŽIO TRANSFORMACIJOS. VAIZDŲ, GALINČIŲ PERTEIKTI TAM TIKRĄ SCENĄ, DIAPAZONAS ŽYMIAI DIDESNIS – APIMA IR TAM TIKRUS LABAI IŠKRAIPYTUS VARIANTUS.

metrinio skysčio būsena tada kinta. Kitaip tariant, išplėstinei sistemai skirtos lygtys gali palaikyti mūsų didžiulę, „šokiruojančią“ lokaliąją simetriją.

Galima būtų tikėtis, kad tokį didžiulį simetrijos kiekį palaikančių lygčių sistemos labai ypatingos ir sunkiai gaunamos. Naujoji medžiaga tiesiog privalo turėti tinkamas savybes. Lygtys su tokia milžiniška simetrija – tai Platono kūnų analogai, arba, dar geriau, sferos tarp lygčių!

Išmąstęs šias lygtis ir praturtinęs pasaulį nauja medžiaga, Einšteinas pastebėjo tuo pačiu sukūręs ir savąją taip ilgai lauktą gravitacijos teoriją. Lygtys atskleidžia, jog metrinis skystis, kurį jis panaudojo tam, kad leistų egzistuoti lokaliajai Galilėjaus simetrijai, dalyvaujant medžiagai „išlinksta“ ir, savo ruožtu, daro įtaką medžiagos judėjimo pobūdžiui. Tokiu būdu, metrinis skystis gravitacijoje iš esmės atlieka tą patį vaidmenį, kurį Maksvelo elektromagnetinis skystis atlieka elektromagnetizme. Jo minimalius sužadinimus, arba kvantus, vadiname *gravitonais*, pagal analogiją su fotonais elektromagnetizme.

Šioje konstrukcijoje simetrijos, kaip pasaulį valdančio principo, vaidmuo buvo perkeltas į naują lygmenį. Simetrija įgavo kūrybiškumo. Lokalios simetrijos prielaida padiktavo detalią įdomios ir sudėtingos gravitacijos teorijos, kuri deramai apibūdina Gamtą, struktūrą. Norint sėkmingai naudoti lokaliąją simetriją, būtina įvesti metrinį skystį ir iš jo išplaukiančius gravitonus.

Turiu pridurti, kad toks požiūris į bendrąją reliatyvumo teoriją, iškeliantis lokaliąją simetriją į pirmąjį planą, šiek tiek neortodoksinis. Paprastai pasitelkiamos kitos idėjos, skatinančios įvesti metrinį skystį kitokiais būdais. Tačiau lokali simetrija – tai pati problemos esmė, ir kai imamės kurti kitų jėgų veikimo teorijas, toks minimalistinis požiūris mums puikiai tarnauja.

Kalbėdamas apie savo teoriją, Einšteinas vartojo kitokią terminiją. Tam tikra šios terminijos dalis apima jo „klaidžiojimų tamsoje“ periodo liekanas ir bent jau man atrodo esanti dviprasmiška ir paini. Tačiau iš esmės jo *bendras kovariantiškumas* atitinka mūsų *lokaliąją Galilėjaus simetriją*. Manau, kad apibendrinant šiuos mūsų svarstymus vienu sakiniu, bus tinkama pagerbti jo pasirinkimą:

Gravitonai – tai bendrojo kovariantiškumo atvaizdai.

KVANTINIS GROŽIS II

ENERGINGUMAS

Analizuodami medžiagą, suskaidome ją į elektronus ir atomų branduolius (ir galiausiai, kaip netrukus pamatysime, žengiame dar vieną žingsnį toliau – į elektronus, kvarkus ir gliuonus). Į šį sudedamųjų dalių sąrašą teisinga bus įtraukti ir fotonus, nes jie – tai elektromagnetinio skysčio medžiaga. Iš šio menko sudedamųjų dalių rinkinio, paklūstančio keletui keistų, tačiau griežtų ir gerai struktūruotų taisyklių, iškyla begalinė medžiaginių chemijos, biologijos ir kasdienio gyvenimo pasaulių įvairovė.

Kokia viso to esmė?

Šis skyrius – trumpa, tačiau svarbi dalis toliau plėtojant mūsų Klausimą. Nes joje mes sutvirtinsime ryšį

Idealu → Realu

tarp keistos kvantinės teorijos muzikos ir realiojo medžiagų pasaulio. Tolesniuose skyriuose patikslinsime, kaip suvokiame Idealiuosius pagrindus stiliumi:

…Idealu → Idealu → Idealu → Realu.

Tačiau šis paskutinis ryšys, užmegztas čia, išliks tvirtas ir iš esmės nepakitęs.

Chemijos pasaulis platus ir nuostabus. Tačiau mūsų tikslas nėra sudaryti enciklopedinį žodyną. Kad surastume atsakymą į mūsų Klausimą, pakaks nukaldinti mūsų paskutinę sąsają. O kad ši užduotis taptų įvykdoma ir kad jos sprendimas būtų džiaugsmingas, sutelksiu dėmesį į tai, kas gali atrodyti kaip juokingai ribota versija chemijos, kurioje naudojamas tik vienas elementas – anglis. Kaip pamatysite toliau, šis vieno cheminio elemento kampelis jau sukuria stebuklų šalį.

KO NORI ELEKTRONAI?

Ko nori elektronai?

Šis klausimas prasmingas, nes visi elektronai, ne taip kaip žmonės, turi vienodas savybes, ir jų „troškimus“ lengva nustatyti. Iš esmės jų yra trejetas, ir apie pirmuosius du jau užsiminėme ankstesniame skyriuje.

- Elektronai yra veikiami elektrinių jėgų, kurios pritraukia juos prie teigiamą krūvį turinčių atomų branduolių, tačiau atstumia vieną nuo kito.
- Elektronus apibūdina erdvę užpildantys laukai – banginės funkcijos – kurie linkę keistis tolygiai ir švelniai. Pastarieji įgauna specifines stovinčiosios bangos formas („orbitales“), kurioms būdingas optimalus kompromisas tarp branduolių traukos ir natūralios jų aistros keliauti. Man patinka įsivaizduoti elektronus, kurie taip prisistato atomo branduoliui:

  Tu man atrodai patrauklus, tačiau man reikia nuosavos erdvės.

- Trečioji svarbi elektronų savybė susijusi su jų tarpusavio ryšiais. Aptardami vandenilio atomus apie ją neužsiminėme, nes kiekvienas vandenilio atomas turi tik po vieną elektroną. Ši trečioji savybė šiek tiek sudėtingesnė už dvi pirmąsias. Ji vadinama Pauli draudimo principu (pagal austrų fiziką Wolfangą (Volfangą) Pauli, kuris pirmą kartą ją suformulavo 1925 m.). Pauli draudimo principas – grynai kvantomechaninis efektas. Nesiremiant kvantiniu banginėmis funkcijomis pagrįstos fizikinės realybės aprašymu jo netgi negalima suformuluoti!
- Pauli šį savo draudimo principą pasiūlė neturėdamas teorinės bazės. Galite pavadinti jį įkvėpimu arba galite tvirtinti, kad tai buvo tik prielaida. Abu požiūriai teisingi. Kaip ir Boro nuostoviųjų būsenų ir kvantinių šuolių vizija – ir, jei jau apie tai prakalbome, Pitagoro harmonijos dėsniai! – Pauli draudimo principas atsirado iš muzikos garsų suvokimo (Borui ir Pauli tai buvo atomų spektrų muzika) ir pritaikomų taisyklių aptikimo jų sąskambiuose. Šiandien laikome Pauli draudimo principą vienu iš tapačiųjų dalelių kvantinės teorijos aspektų, kuris savo šaknimis siekia reliatyvumo ir kvantinio skysčio teorijas, tačiau iš pradžių tai buvo tik prielaida.
- Mūsų dabartinei užduočiai – įvertinti, kaip iš paprastų taisyklių atsiranda veržlus, savaiminis elektronų kūrybiškumas – reikalinga tik Pauli principo pirminė formuluotė. Taisyklė Nr. 3 savo grubia forma, kuria naudosimės, skelbia: tos pačios nuostoviosios būsenos gali būti ne daugiau kaip du elektronai.
- (Kodėl ne daugiau kaip *du* elektronai? Toks teiginys atrodo gana keistai! Tačiau pagrindinė jo priežastis yra ta, kad elektronas turi vidinį sukinį. Du elektronai vienu metu gali būti nuostoviosios būsenos tik sukdamiesi priešingomis kryptimis. Didesnį pasitenkinimą teikianti Pauli principo formuluotė skelbia, kad tos pačios nuostoviosios būsenos gali būti ne daugiau kaip vienas elektronas, tačiau sukinys dabar yra būsenos aprašymo dalis.)

ANGLIS!

Šios trys taisyklės išsiskleidžia į ištisus medžiagotyros, chemijos ir fizinių biologijos pagrindų, apimančių didelę dalį paveldimumo ir medžiagų apykaitos, pasaulius. Kad suteikčiau šiems nesuskaičiuojamiems turtams suvokiamas proporcijas, nusprendžiau sutelkti dėmesį į mažytę jų dalelę – medžiaginį grynosios anglies pasaulį. Kaip netrukus pamatysite, netgi šis mažas lopinėlis yra neįprastas, turtingas ir įvairus. Jis taip pat nukelia mus į kelis svarbius mokslinių tyrinėjimų paribius.

Anglimi pagrįstą chemiją priimta vadinti organine chemija, nes anglis yra pagrindinė visų baltymų, riebalų ir cukrų sudedamoji dalis (visos šios medžiagos kartu su nukleorūgštimis sudaro biologijos „žvaigždžių komandą“). Tačiau be anglies, šios biologinės molekulės turi dar ir kitų elementų, kurie yra esminiai jų funkcionavimui. Grynosios anglies junginiai gamtos biologijoje neatlieka jokio vaidmens. Todėl čia pažvelgiame į ypatingą organinės chemijos didžiosios knygos skyrių – skyrių, skirtą neorganinei organinei chemijai.

Anglies atomai, po vieną iš karto

Anglies junginiai susidaro jungiantis anglies atomams, todėl nuo jų ir pradėkime. Anglies atomo branduolys turi šešis protonus, vadinasi, turi šešis vienetus teigiamo elektros krūvio, kuris pirma, negu bus neutralizuotas, pritraukia šešis elektronus. Šiems elektronams mėginant minimizuoti savo energiją, į areną išeina mūsų taisyklių trejetas. Nuostoviosios būsenos elektronai norėtų turėti bangines funkcijas, arba, kaip sako chemikai, orbitales su pačia *žemiausia* įmanoma energija. Tai mielos, apskritos, kompaktiškos orbitalės, atvaizduotos 26 pav. viršutiniame kairiajame kampe. Tačiau Pauli principas skelbia, kad taip galime priglausti tik du elektronus.

Likusiam ketvertui tenka išnaudoti kitų rūšių erdvines orbitales. Žengę vieną žingsnį dešinėn, atrasime dar vieną apskritą orbitalę. Ji ne tokia kompaktiška, todėl gauna mažiau naudos iš centrinio branduolio pritraukiančio

krūvio. Elektronai šioje orbitalėje surišti su branduoliu ne taip tvirtai, kaip du „vidiniai“ elektronai – esminis faktas turint galvoje tai, kas išdėstyta toliau. Ši antroji apskrita orbitalė gali sutalpinti dar du elektronus, vadinasi, dabar turime vietos 2 + 2 = 4 iš šešių elektronų. Kad patalpintume likusius du, mums reikia pažvelgti kiek tolėliau.

Žengę dar vieną žingsnį dešinėn, pamatysime naują orbitalės rūšį – ši ne apskirta, o veikiau svarmens formos. Tokia svarmens forma gali būti orientuota bet kuria kryptimi, taigi, iš tikrųjų egzistuoja trys savarankiškos šio tipo orbitalės. Todėl įvedus šias orbitales į „žaidimą“, atsiranda daug vietos dviem likusiems elektronams.

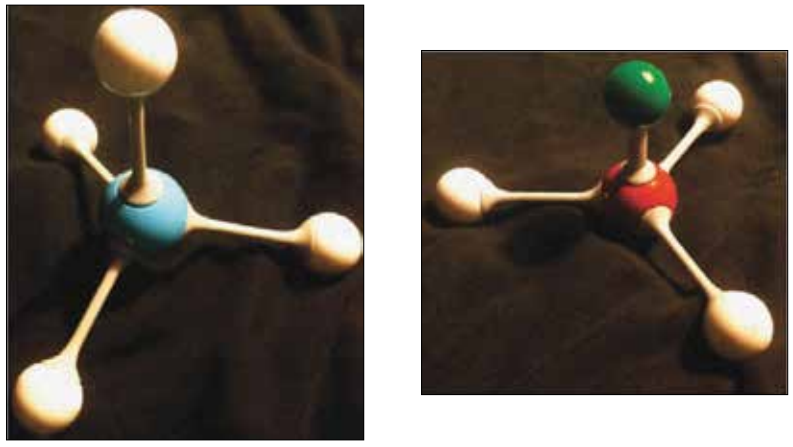
Paaiškėja, kad abiejų šių naujų rūšių orbitalių energija faktiškai vienoda, todėl elektronai gali jas užimti, kaip jiems išeina, be pernelyg didelių energijos sąnaudų. Svarbus yra skirtumas tarp dviejų vidinių elektronų, kurie labai glaudžiai susieti su branduoliu, ir keturių išorinių elektronų, kurie su juo surišti žymiai laisviau. Ir kai greta egzistuoja kiti atomai, kaip tik šis ketvertas tampa dalybų objektu. Šiek tiek pakoregavę savo orbitales, šie elektronai gali gerokai nutolti nuo savo branduolio ir naudotis gretimų branduolių traukos privalumais.

Anglies atomai telkiniuose

Kalbant apie anglies atomus telkiniuose, reikia pasakyti, kad egzistuoja du ypač puikūs, simetriški elektronų pasidalijimo tarp atomų būdai. Jie parodyti 27 pav.

Kairėje matome deimanto struktūros elementą, demonstruojantį tobulą trimatę simetriją. Čia keturios orbitalės nusidriekia iki tetraedro – kaip pamenate, paprasčiausio Platono kūno – viršūnių.

Dešinėje matome grafeno struktūros elementą, besipuikuojantį tobula dvimate simetrija. Trys plokštuminės orbitalės nusidriekia iki lygiakraščio trikampio – paties paprasčiausio taisyklingojo daugiakampio – viršūnių. Abiem atvejais baltieji rutuliai bus pakeisti kitais anglies atomais, turinčiais tą patį sąryšinį modelį, o tuo tarpu tamsūs rutuliai prisidės prie kvazilaisvų elektronų. (Tiksliau sakant, šio elektronų sluoksnio tankis pasiskirsto



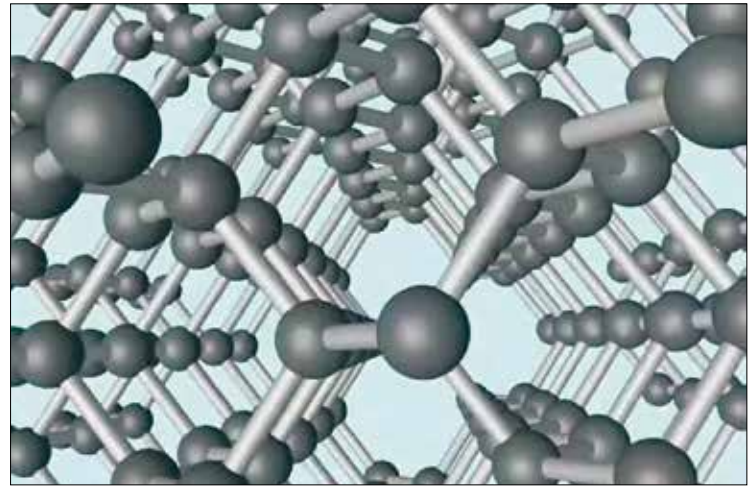
27 PAV. GRYNOJI ANGLIS TURI DU SUSIJUNGIMO TARP ATOMŲ MODELIUS, KURIE ABU SIMETRIJOS POŽIŪRIU OPTIMALŪS.

perpus – dalis viršuje, dalis apačioje pagrindinės anglies atomų plokštumos atžvilgiu.) Atkreipkite dėmesį: jeigu kiekvieną orbitalę užima vienas elektronas iš kiekvieno branduolio, puikiai patenkiname Pauli principą, ir kiekvienas anglies branduolys dalijasi keturiais savo elektronais su kaimyniniais branduoliais. Kituose šio skyriaus paveikslėliuose pamatysite, kaip šie pagrindiniai elementai, derinami tarpusavyje, perteikia nuostabią medžiagų iš grynos anglies įvairovę.

Neatsitiktinai šie abu ypač simetriški atomų sąryšio pavyzdžiai pasirodo esantys tie, kurie veda prie palankios (žemos) energijos. Jie palaiko nesuskaičiuojamą daugybę stabilių anglies atomų derinimo būdų – kai kuriuos dabar panagrinėsime.

Deimantas (3D)

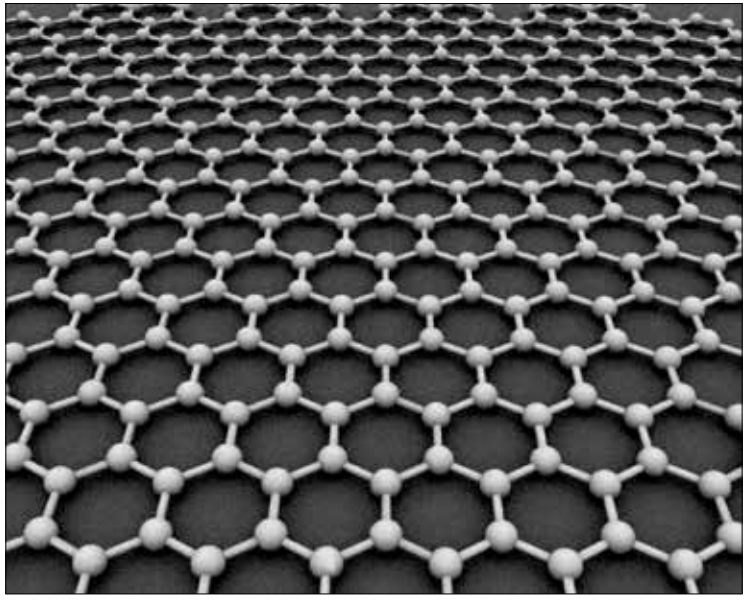
Atomo lygmenyje deimanto sandara simetriška ir harmoninga (28 pav.). Kiekvienas anglies atomo branduolys – tai keturių elektronų orbitalių centras. Orbitalės nusidriekia iki keturių kaimyninių anglies branduolių, kurie išsidėstę taisyklingojo tetraedro viršūnėse. Toks išsidėstymas labai efektyvus, nes elektronai, lankydami du skirtingus branduolius, stengiasi vienas kito išvengti. Taip išsidėstę elektronai „jaučiasi laimingi“ ir daugiau nieko netrokšta. Juos sunku atplėšti – būtent todėl deimantus taip sunku subraižyti! Gryni deimantai skaidrūs iš esmės dėl tų pačių priežasčių: regimos šviesos fotonai negali suteikti pakankamai energijos, kad priverstų elektroną pakeisti savo būseną. (Negryni deimantai, susidarę prie anglies prisitvirtinus kitiems elementams, arba deimantai su defektais, t. y. pažeistos kristalinės struktūros deimantai, gali turėti tam tikrą spalvą. Štai kodėl egzistuoja sudėtinga juvelyrinių deimantų rūšiavimo ir įvertinimo sistema. Kai kurios netobulybės atrodo geriau nei kitos ar netgi geriau nei kai kurios tobulybės...)



28 PAV. DEIMANTO SANDARA. KIEKVIENAS ANGLIES ATOMO BRANDUOLYS DALIJASI ELEKTRONAIS SU KITAIS KETURIAIS BRANDUOLIAIS JĮ SUPANČIO TETRAEDRO VIRŠŪNĖSE. TAI ERDVĘ UŽPILDANTI TRIMATĖ STRUKTŪRA.

Grafenas (2D) ir grafitas (2+1)

Grafitas, o ne deimantas – štai pati stabiliausia elementariosios anglies forma normalaus slėgio ir kambario temperatūros sąlygomis. Nepaisant plačiai išreklamuotos reputacijos, deimantai nėra amžini: per ganėtinai ilgą laiką jie virsta grafitu (tačiau nepasiduokite panikai). Grafitas – tai juodos spalvos medžiaga, iš kurios gaminamos pieštukų šerdelės, ji taip pat plačiai naudojama kaip pramoninis tepalas. Atomo lygmenyje grafitas – smarkiai sluoksniuota medžiaga, kurią sudaro daugybė grafeno (29 pav.) sluoksnių, silpnai surištų tarpusavyje. Dėl tarpsluoksnio ryšio silpnumo medžiagos sluoksniai lengvai slysta vienas kito paviršiumi ir atsisluoksniuoja. Tuo aiškinamos grafito tepamosios savybės ir savybė palikti paviršiuje brūkšnius. Sakome, kad grafito matmenys 2 + 1, nes dvimačiai jo lakštai gali būti iki begalybės kraunami vienas ant kito.



29 PAV. GRAFENO SANDARA. KIEKVIENAS ANGLIES ATOMO BRANDUOLYS DALIJASI ELEKTRONAIS SU TRIMIS KITAIS BRANDUOLIAIS LYGIAKRAŠČIO TRIKAMPIO VIRŠŪNĖSE. ŠIOJE KORĮ PRIMENANČIOJE STRUKTŪROJE, KURI GALI TĘSTIS BE GALO, ATPAŽĮSTAME VIENĄ IŠ TRIJŲ BEGALINIŲ PLATONO PAVIRŠIŲ.

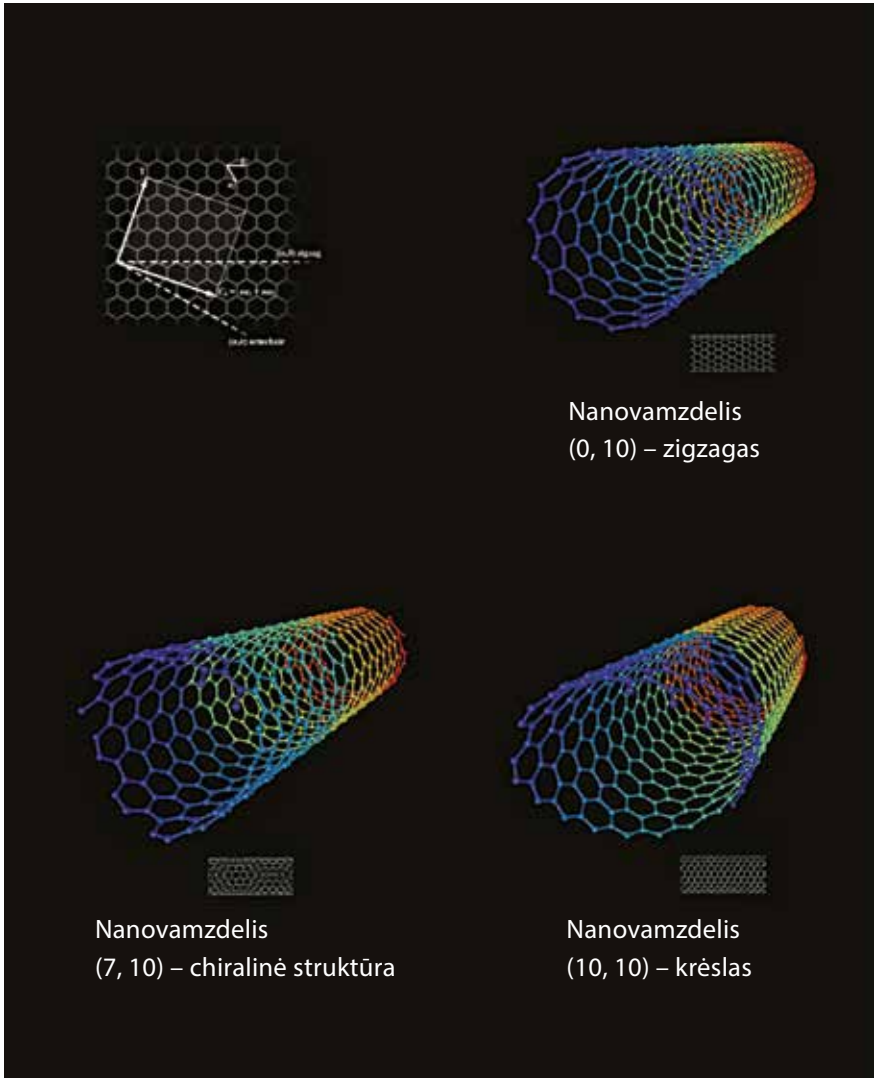
Grafenas, viensluoksnė grafito versija – pati paprasčiausia ir nuostabiausia šio pobūdžio medžiaga.

Grafenas, kol jį pavyko išgauti laboratorijose, buvo ilgai tyrinėjamas teoriškai. Jis toks paprastas ir taisyklingas, kad kvantinės fizikos teoretikai sugebėjo patikimai ir gana detaliai išpranašauti jo savybes. Buvo tikimasi, kad ši medžiaga, jeigu tik pavyks ją pagaminti, taps kažkuo fenomenaliu. Bet ar galima ją pagaminti?

Grafeną pirmą kartą išskyrė Andre Geimas ir Konstantinas Novoselovas 2004 metais. Šiai medžiagai išgauti taikytas metodas turėjo XIX a. mokslui būdingų bruožų, kažkokiu būdu peršokusių į XXI a. Mokslininkai pradėjo nuo brūkšniavimo paprastu pieštuku žinodami, kad pastarojo paliekamą brūkšnį sudaro keli grafito anglies sluoksniai. Po to jie panaudojo lipniąją juostą, kad nuimtų keletą grafito sluoksnių ir perkeltų juos ant plonų mikroskopo mėginių stiklų. Šių dėmių paviršius buvo nereguliarus: pasitaikydavo sričių, kur anglies išvis nebūdavo, ir sričių, kuriose jos būdavo tik vienas sluoksnis (grafenas!), taip pat dėmių, kuriose anglies brūkšnį sudarydavo du sluoksniai ir pan. Apšviesti poliarizuota šviesa, skirtingi sluoksniai demonstravo šiek tiek kitokias spalvas, todėl Geimas ir Novoselovas sugebėjo atpažinti grafeno dėmes ir ištyrinėti jų savybes tiek gerai, kad įrodytų, jog tai iš tikrųjų grafeno dėmės. 2010 m. už šį darbą Geimui ir Novoselovui įteikta Nobelio fizikos premija.

Grafenas turi daug unikalių mechaninių ir elektrinių savybių, kurios leidžia jį pritaikyti daugelyje sričių. Įkvėpti grafeno teikiamų perspektyvų, žmonės jau atrado keletą žymiai veiksmingesnių jo išgavimo būdų. Remiantis vienu optimistiniu ir galbūt ne tokiu jau beprotišku tyrimu, tikimasi, kad per keletą artimiausių metų atsiras grafeno rinka su 100 milijardų dolerių metine apyvarta.

Dabar paminėsiu vieną labai svarbų momentą, kurį lengva suprasti ir kuris glaudžiai susijęs su šia mūsų kelione. Kaip ir deimanto kristalų elektronų atveju, reguliarus, veiksmingas elektronų išsidėstymas grafeno plokštumoje toks palankus, jog juos itin sunku priversti išsiskirstyti. Štai kodėl



ILIUSTRACIJA FF. ĮVAIRIAIS BŪDAIS SUSUKANT GRAFENO LAKŠTĄ GALIMA IŠGAUTI DAUGYBĘ LINIJINIŲ VIENMAČIŲ MOLEKULIŲ VARIANTŲ – NANOVAMZDELIŲ.

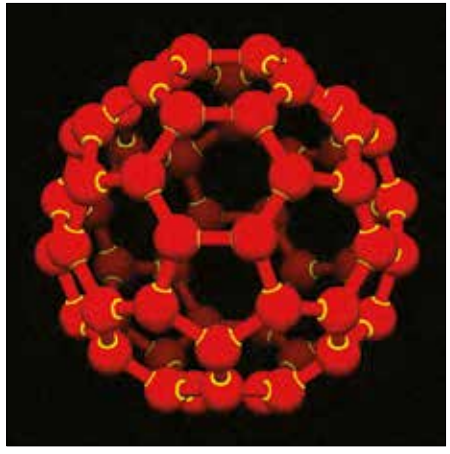
grafenas laikomas ypač patvaria ir stipria medžiaga. Tuo pat metu grafeno lakštas lengvas ir lankstus, nes yra tik vieno atominio sluoksnio storio. 2010 m., pagrįsdamas savo sprendimą įteikti grafeno atradėjams premiją, Nobelio komitetas užsiminė, kad hamakas iš vieno kvadratinio metro grafeno išlaikytų katę, tačiau jis pats svertų ne ką daugiau už vieną jos ūsą. Kiek man žinoma, šio eksperimento dar niekas nepamėgino atlikti.

Nanovamzdeliai (1D)

Dvimatį grafeno lakštą galime susukti į vienmatį vamzdelį, vadinamą nanovamzdeliu. Tą galima padaryti daugeliu būdu, gaunant skirtingo spindulio ir apvijos žingsnio nanovamzdelius (žr. spalvotąją iliustraciją FF). Nanovamzdeliai, kurie tik nežymiai skiriasi vienas nuo kito savo geometrija, gali turėti visiškai skirtingas fizikines savybes. Kvantinės teorijos triumfu galima laikyti galimybę nedviprasmiškai numatyti tokių objektų subtilias savybes vien tik apskaičiavimais, ir šios prognozės visiškai sutampa su eksperimentiniais matavimais.

Fulerenai (0D)

Galiausiai, galima įsivaizduoti, kaip grafeno lakštas perlenkiamas, kad sudarytų baigtinį paviršių. Tą galima padaryti daugeliu būdu. Tiesą sakant, neįmanoma vien iš šešiakampių suformuoti paprastą uždarąjį paviršių, kai kiekvienoje viršūnėje susitinka po tris kraštines. Toks Platono kūnas išvis neegzistuoja! Pati artimiausia figūra – dodekaedras, susidedantis iš penkiakampių. Be to, visų svarbiausia, kad kiekviena dodekaedro viršūnė susieta su kitomis trimis viršūnėmis, todėl gali būti naudojamas pagrindinis struktūrinis elementas, pavaizduotas 27 pav. dešinėje, tačiau trys orbitalės turi būti išlenktos į šalį nuo jų idealios plokštuminės padėties. Nors dodekaedro formos molekulė C_{20}, sudaryta iš 20 anglies atomų, iš tikrųjų egzistuoja, didesnės formos, apimančios papildomus šešiakampius, reikalauja mažesnio iškraipymo ir noriau susiformuoja. Gražus „futbolo kamuolys“ – molekulė

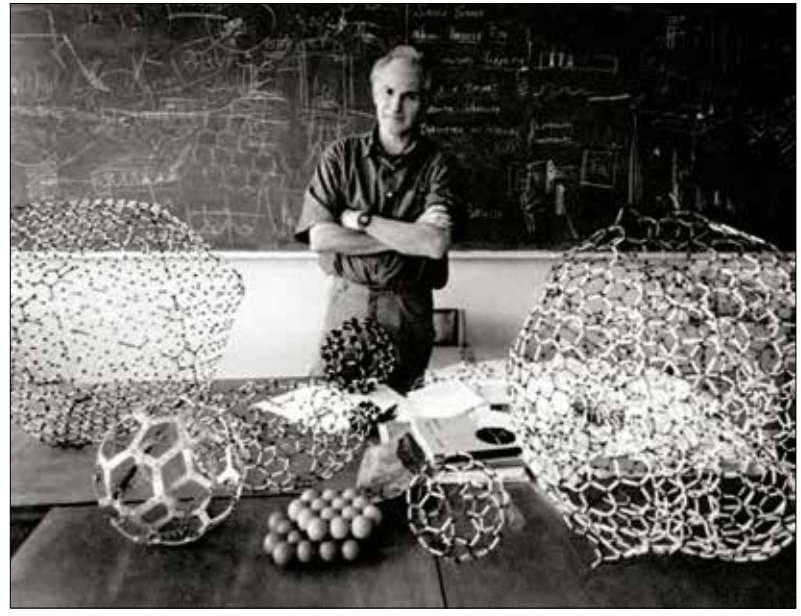


30 PAV. FULERENO SANDARA. ČIA ANGLIES STRUKTŪRA VISIŠKAI UŽDARA IR SUDARO BAIGTINĮ OBJEKTĄ. IŠ TOLI JIS ATRODO KAIP TAŠKAS – MATMENYS „KOLAPSUOJA“ IKI NULIO.

C_{60}, parodyta 30 pav., ypač stabili ir plačiai paplitusi.

Rutuliai iš grynos anglies, tarp kurių molekulė C_{60} labai dažna, tačiau jokiu būdu nepriklauso daugumai, susidaro anglis deginant elektriniu būdu, pavyzdžiui, per žaibo išlydžius. Nedideliais kiekiais jų taip pat pasitaiko įprastuose žvakių suodžiuose.

30 pav. parodyta, kaip sudaryta C_{60} – viena iš daugelio molekulių, žinomų kaip Bakminsterio fulerenai, arba „bakibolai“. Čia grafenas susuktas du kartus, kiekviename iš abiejų savo erdvinių matmenų, kad būtų gautas nulinio matmens objektas (kitaip tariant, objektas, kuriame nebeliko krypčių tęstis iki begalybės). Kaip ir grafeno bei nanovamzdelių, jo pagrindinis struktūrinis elementas – anglies atomo branduolio ryšys su trimis kaimyniniais branduoliais. Fulerenas savyje slepia dodekaedrą: jis turi 12 penkiakampių, tolygiai išdėstytų tarp 20 šešiakampių, ir tuos šešiakampius sumažinę iki taškų gausime dodekaedrą. Egzistuoja fulerenų variantai su skirtingu šešiakampių skaičiumi, tačiau dėl topologinių priežasčių jie visada turi 12 penkiakampių. Ši struktūra buvo pavadinta fulerenu jos išradėjo ir architekto Buckminsterio Fullerio (Bakminsterio Fulerio, 1895 –1983) garbei. Jo sukonstruotų „geodezinių kupolų“ mazgai vienas su kitu buvo jungiami strypais į gana panašios formos statinius.



31 PAV. HAROLDAS KROTO SAVO LABORATORIJOJE SU SAVAISIAIS FULERENŲ MODELIAIS.

Manau, kad šią mūsų trumpą išvyką į nuostabiąją grynosios anglies chemiją bus tinkama užbaigti Haroldo Kroto (gim. 1939 m.) nuotrauka (31 pav.). Šis žmogus, stovintis tarp savo rankomis sukurtų molekulių modelių, 1996 m. buvo apdovanotas Nobelio chemijos premija kaip vienas iš darbo apie fulerenus bendraautorių.

Gyvas protas žavisi ne tik deimantų grožiu ir jų akinamu spindesiu, bet ir iš pirmo žvilgsnio nepastebimu grožiu, slypinčiu nuobodžiuose, vienoduose pieštuko štrichuose bei suodžių dėmėse, ir plonyčio audinio lakštuose, ant kurių gali jaukiai įsitaisyti katės.

SIMETRIJA II

LOKALI SPALVA

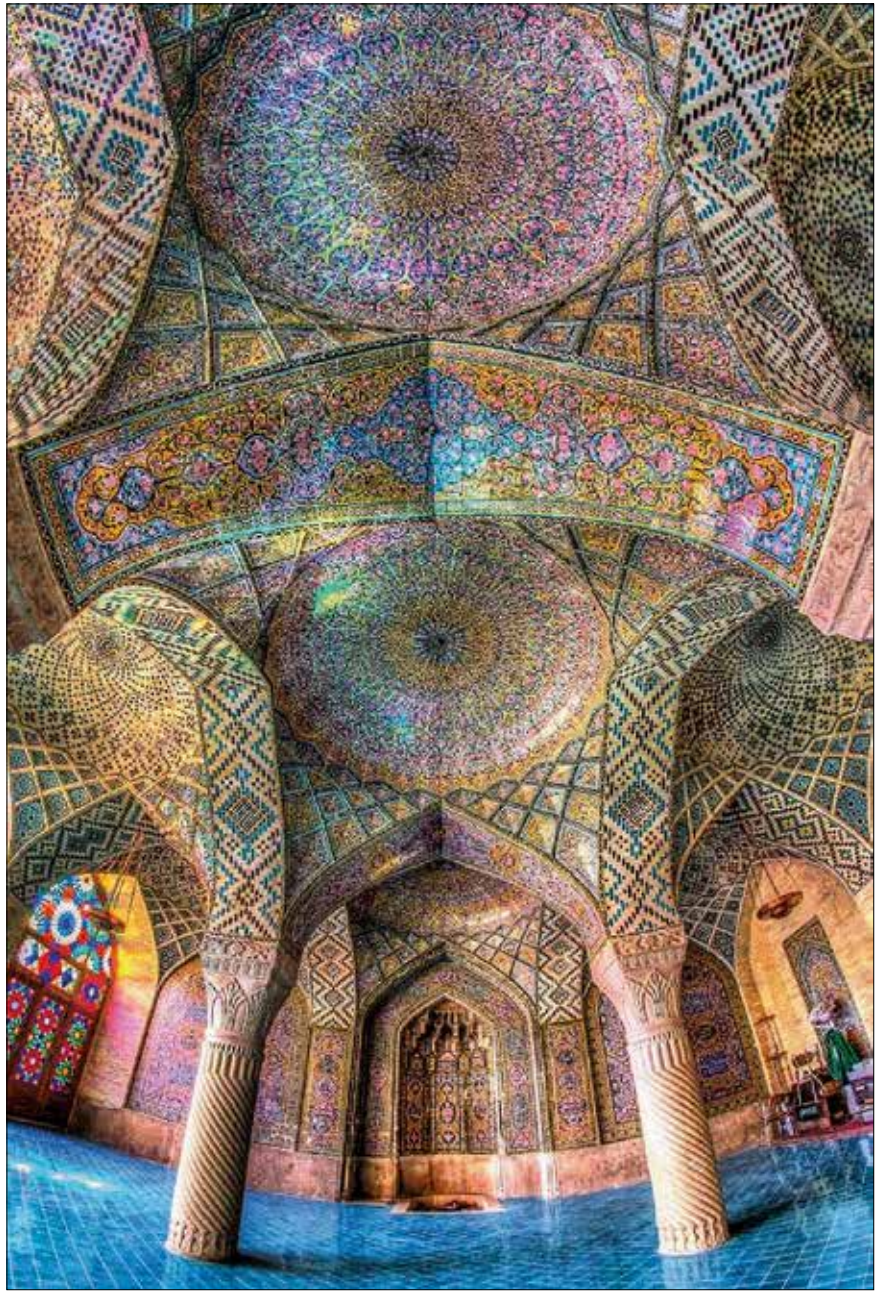
Dabar, daugeliui mūsų meditacijos gijų susieinant, priartėjame prie atsakymo į mūsų Klausimą.

Pirmojoje mūsų interliudijoje apie simetriją matėme, kaip Einšteinas, remdamasis Galilėjaus lokaliąja simetrija, atskleidė savo gravitacijos teoriją, kitaip tariant, bendrąją reliatyvumo teoriją.

Kitame skyriuje aprašysime, kaip lokaliosios simetrijos pagrindu sudaromos sėkmingos trijų pagrindinių Gamtos sąveikų teorijos: elektromagnetizmo teorija, stipriosios ir silpnosios sąveikų teorijos. Naujosios simetrijos apima virsmus tarp dalelių savybių (tiksliau sakant, tarp „spalvinių krūvių“). Simetrijos lokaliosiose formose leidžiame šiems virsmams skirtis vienam nuo kito skirtingose vietose ir skirtingu laiku.

Taigi, kad suteiktume savo kelionei motyvacijos, pamėginkime įsivaizduoti mūsų paskirties punktą.

ILIUSTRACIJA GG. TRANSFORMACIJŲ SPALVINĖJE ERDVĖJE ILIUSTRACIJA. KAIRĖJE VIRŠUJE MATOME ORIGINALŲ SALDAINIŲ PREKYSTALIO BARSELONOJE VAIZDĄ. DEŠINĖJE VIRŠUJE JAM PRITAIKYTA PAPRASTA, GRIEŽTA SPALVINĖS ERDVĖS TRANSFORMACIJA. DVIEJUOSE APATINIUOSE PAVEIKSLĖLIUOSE PRITAIKYTOS DVI SKIRTINGOS LOKALIOSIOS TRANSFORMACIJOS: VIENA SILPNA, O KITA GANĖTINAI STIPRI.



ILIUSTRACIJA HH. GEOMETRIJA, SPALVA, SIMETRIJA, ANAMOFRINĖS FORMOS IR ANACHROMIJA PAGIMDO NUOSTABŲ GROŽĮ.

Anachromija

Anamorfinis menas iškraipo erdvinę atvaizdų struktūrą. Tai puikus vaizdinys tokio pobūdžio erdvėlaikio virsmų, kuriuos bendroji reliatyvumo teorija laiko simetrijomis.

Virsmų rūšys, kurias apima ir kitos sąveikos, geriausiai perteikiamos menine forma – ji menkai išplėtota, jeigu tik išvis egzistuoja. Anamorfiniame mene atvaizdų spalvinė struktūra išlieka nepakitusi. Tuo tarpu anachroniniame mene, priešingai, keičiame spalvinę atvaizdų struktūrą, tačiau erdvinė struktūra lieka nepakitusi.

Šiuo atveju keletas atvaizdų iškalbingesni nei tūkstančiai žodžių.

Spalvotoje iliustracijoje GG pavaizduotas vienas iš novatoriškų anachrominio meno darbų. Joje matome keturias saldumynų mugės Barselonoje nuotraukų versijas. Viršutiniame kairiajame šios iliustracijos kampe yra originalus, minimaliai apdorotas atvaizdas. Viršutiniame dešiniajame kampe matome visuotinės spalvų transformacijos rezultatą, kai kiekvienas vaizdataškis transformuojamas vienodai. (Pedantams: G→R, B→G, R→B, taikant standartinę „raudona – žalia – mėlyna“ schemą RGB.) Dviejose žemiau esančiose iliustracijose pritaikytos sudėtingesnės spalvų transformacijos – *jų pobūdis keičiasi nuo vienos vietos į kitą*. Apatiniame kairiajame kampe matome ganėtinai švelnių transformacijų efektą, tuo tarpu apatiniame dešiniajame kampe prieš mus žymiai radikalesnių transformacijų rezultatas.

ATSAKYMAS Į MŪSŲ KLAUSIMĄ

Šventyklos įkūnija savo architektų ir bendruomenių, kurioms pastarieji atstovauja, idealaus grožio siekį. Jų pasirinktos išraiškos priemonės apima spalvas, geometriją ir simetriją. Panagrinėkime nepaprastai puikią iliustraciją HH. Čia lokali aplinkinių paviršių geometrija ir lokali jų spalvos struktūra keičiasi mums apžvelgiant jas savo žvilgsniu. Tai gyvas įsikūnijimas anamorfijos ir anachromijos – tų pačių motyvų, kuriuos mūsų atliekami Gamtos

fundamentaliosios sandaros tyrinėjimai atranda įkūnytus Jos šerdyje.

Ar pasaulis įkūnija gražias idėjas? Štai jis, mūsų atsakymas, mums prieš akis: taip!

Spalva ir geometrija, simetrija, anachromija ir anamorfija, kaip savaiminiai tikslai – tai tik viena meninio grožio šaka. Musulmonų meno draudimas vaizduoti žmones suvaidino svarbų vaidmenį – iškėlė į priešakinį planą šias grožio formas, lygiai taip pat, kaip fizikiniai statinio stabilumo apribojimai (mums reikalingos kolonos, kad į jas remtųsi lubos, taip pat arkos ir kupolai, kad tolygiai paskirstytų įtempį). Kai yra leistinas, žmonių veidų, kūnų, emocijų, kraštovaizdžių, istorinių scenų ir kitokių objektų vaizdavimas tampa meno kūrinių tema žymiai dažniau, nei šios griežtos grožio formos.

Pasaulis savo gilumine sandara neįkūnija *visų* grožio formų, kaip kad neįkūnija ir tų formų, kurios žmonėms be specialaus išsilavinimo ar be labai neįprasto skonio atrodo pačios patraukliausios. Tačiau pasaulis savo gilumine struktūra tikrai įkūnija *kai kurias* grožio formas, kurios savaime buvo aukštai vertinamos ir intuityviai siejamos su Apvaizda.

KVANTINIS GROŽIS III

GROŽIS – GAMTOS ESMĖ

Mūsų meditacija apie kvantinę realybę jau atskleidė, kad teisingai suvokiamas kasdienės medžiagos pasaulis įkūnija nepaprasto grožio idėjas. Iš tikrųjų, įprasta medžiaga sudaryta iš atomų, kuriuos iš esmės teisinga apibūdinti kaip mažyčius muzikos instrumentus. Sąveikaudami su šviesa, jie realizuoja matematinę Sferų muziką, kuri pranoksta Pitagoro, Platono ir Keplerio vizijas. Molekulėse ir tvarkingos struktūros medžiagose šie atominiai instrumentai skamba kartu kaip harmoningi ansambliai ir sinchronizuoti orkestrai.

Atradę tokius supratimo brangakmenius, mes, būdami tikri, kad šios gyslos dar neišeikvojome, jaučiame įkvėpimą kastis dar giliau. Mūsų naujos įžvalgos suteikia patenkinamą, tačiau vis tiek tik *dalinį* atsakymą į mūsų didįjį Klausimą. Jos masina mus judėti pirmyn, nes mūsų atsakymai pagimdo naujus klausimus, kaip antai:

- *Kas* yra atomų branduoliai?
- *Kodėl* egzistuoja elektronai?
- *Kodėl* egzistuoja fotonai?

Dviejuose paskutiniuose skyriuose aptarsime šiuos ir kitus klausimus, prie kurių mus nuveda pastarieji. Mūsų tyrinėjimai atves mus prie šiuolaikinio supratimo paribių, o vėliau žengsime dar keletą didelių žingsnių už jo ribų. Atskleisime naujas sąvokas ir faktus, kurie ne tik išplaukia iš mūsų ankstesnių temų, bet ir peržengia jų ribas. Artėdami prie klausimo esmės, atrasime naujas grožio rūšis ir imsime regėti, kaip šios naujos grožio rūšys gali susilieti į vieningą ir darnią sintezę. Tikrąja žodžio prasme atrasime, koks iš tiesų gražus mūsų pasaulis, o po to – kiek dar gražesniu jis *gali tapti*.

Šis skyrius skirtas grupei idėjų, kuriomis šiuo metu remiamės aprašydami keturias pagrindines Gamtoje egzistuojančias sąveikas. Dvi iš šių sąveikų, gravitacija ir elektromagnetizmas, jau suvaidino svarbų vaidmenį mūsų meditacijoje. Kitos dvi sąveikos, vadinamosios stiprioji ir silpnoji, atrastos tik XX a. pradžioje, kai į fiziką įsiveržė atomų branduoliai.

Atomų branduoliai labai maži, todėl juos sunku tyrinėti. Mėginimai juos suprasti paskatino ilgalaikę sunkią paiešką, kuri vyravo fundamentaliojoje fizikoje didžiąją XX a. dalį ir kuri toliau tebėra vyraujanti. Kuriam laikui viskas tapo labai sudėtinga ir painu, tačiau galiausiai Gamta padarė tai, ko reikėjo! Šiandien turime stipriosios ir silpnosios sąveikų teorijas, kurios vertos garbingos vietos šalia Niutono (ir Einšteino) gravitacijos teorijų ir Maksvelo elektrodinamikos.

Kaip pamatysime šiame skyriuje, sąvokos ir lygtys, kurių mums reikia, kad apibūdintume stipriąją ir silpnąją sąveikas, veikia kaip natūralus ir gražus apibūdinant gravitaciją ir elektromagnetizmą iškylančių sąvokų ir lygčių sustiprinimas. Ir atvirkščiai, stipriosios ir silpnosios sąveikų samprata teikia mums galimybę naujai pažvelgti į ankstesnes teorijas, labiau sutelkiant dėmesį į bendrą joms visoms esmę. Ši bendra esmė daro aliuziją į dar giliau glūdinčią gilesnę vienovę. Kitame skyriuje pamatysime, kiek šis suvienijimas atrodo pribrendęs įgyvendinimui.

Priartėjimas prie esmės

Viešpataujančios stipriosios, silpnosios, elektromagnetinės ir gravitacinės sąveikų teorijos dažnai suplakamos į vieną ir vadinamos Standartiniu modeliu. Kaip jau esu minėjęs šios knygos įžangoje, šioje kasdieniškoje frazėje slypi pernelyg daug kuklumo. Visų pirma žodžių junginys „*Standartinis* modelis“ turi sveiko proto prieskonį su stipriomis ribotos minties ir menkos vaizduotės konotacijomis. Antra, „Standartinis *modelis*“ skamba beveik kaip „dešinės rankos taisyklė“, sukeldamas aliuziją į kažkokį primityvų ir paskubomis surėstą statinį. Nė viena šių užuominų ar konotacijų neturėtų būti siejama su vienu iš didingiausių laimėjimų – netgi sakyčiau, su pačiu didingiausiu žmonijos minties ir pastangų laimėjimu. Todėl jį vadinu Pagrindų teorija.

Pagrindų teorija vykdo Niutono Analizės ir Sintezės programą. Joje formuluojame pagrindinius dėsnius kaip tikslius teiginius, susijusius su kelių standartinių blokų savybėmis ir sąveikomis, ir išvedame iš šių pagrindų stambesnių kūnų elgesį. Iš kelių sudedamųjų dalių, kurių savybes ir sąveikas esame tiksliai ir išsamiai apibūdinę, sumontuojame medžiagą, kaip ją suprantame, su visu jos turtingumu.

Pagrindų teorija fizikinių dėsnių pavidalu suteikia patikimą pagrindą visoms su fizika susijusioms sritims, kaip antai chemijai, biologijai, medžiagotyrai, inžinerijai bendrąja prasme, astrofizikai ir pagrindiniams kosmologijos aspektams. Jos pagrindai buvo patikrinti gerokai didesniu tikslumu, nei reikalinga šiose srityse, ir pačiomis ekstremaliausiomis sąlygomis.

Pagrindų teorija, kaip pamatysime, įkūnija gražias idėjas. Tačiau šios idėjos neįprastos ir tuo pačiu giliai paslėptos. Norint suvokti jų grožį, reikia pasiekti tam tikrą vaizduotės lygį ir apsišarvuoti kantrybe.

Noras pasiekti tikrąjį suvokimą, kaip paviršutiniško mąstymo ir (arba) nerealių svajonių puoselėjimo priešpriešą, yra amžinas. Viena iš negausių istorijų apie Euklidą – veikiausiai neautentiška – byloja apie tai, kaip jis atsakė savo globėjui krašto valdovui Ptolemėjui I, kai šis paklausė, ar egzistuoja paprastesnis požiūris į geometriją, nei išdėstytas jo veikale *Elementai*. Euklidas neva atsakęs:

Jūsų didenybe, nėra karališko kelio į geometriją.

Vis dėlto viliuosi sugebėjęs jums parodyti, jog geometrijoje egzistuoja gražių dalykų, kuriuos galima pamatyti kad ir labai nesigilinant, pasitelkus vaizduotę ir nuojautą, be užsitęsusių tyrinėjimų.

Čia taip pat pateiksiu atvaizdus ir paaiškinimus, leisiančius jums prabėgomis pažvelgti į kai kuriuos gražius Pagrindų teorijos aspektus. Tai patys svarbiausi jos aspektai, ir tai joks atsitiktinumas!

Eksperimentai, istoriškai prisidėję prie Pagrindų teorijos idėjų išplėtojimo, sujungė į visumą pavienes detales, surinktas stebint didelio ir gluminančio nepastoviųjų dalelių, daugiausiai atrastų per eksperimentus didžiaenergiuose dalelių greitintuvuose, rinkinio elgesį. Įprastuose Pagrindų teorijos vertinimuose daugelis komplikacijų kyla iš jos išorinių apraiškų, įkūnytų „elementariųjų dalelių“, kurios, kaip paaiškėjo, ne tokios ir elementarios, pasaulyje. Dėl tokios painiavos ją pagrindžiančios idėjos gali atrodyti miglotos. Laimė, Pagrindų teorijos pagrindinės idėjos paprastesnės nei ta eksperimentinė bazė, kuri leido jas suformuluoti. Žinoma, svarbu, kad šie eksperimentiniai faktai egzistuoja. Tačiau mūsų meditacijai išeis į naudą, jeigu visų pirma sutelksime dėmesį į idėjas, o ne į jų įrodinėjimą.

Po šių bendrybių leiskite man apibūdinti šio skyriaus turinį. Kad neapsunkintume virškinimo, pateiksime jį keturių patiekalų pavidalu.

Pirmojoje dalyje, pasitelkę vaizdus ir metaforas, išnagrinėsime tai, ką laikau Pagrindų teorijos siela. Centrinės *savybių erdvės ir lokaliosios simetrijos* sąvokos labai gerai tinka šiam vaidmeniui. Kitaip tariant, jos – gražios sąvokos.

Tada Platono idealų lygmenyje mūsų darbas iš esmės bus baigtas. Likusios dalys pridės tuos saitus, kurių reikalauja mūsų Klausimas, kitaip tariant,

Idealu ↔ Realu.

Antrojoje dalyje gana išsamiai aptarsime stipriąją sąveiką, o trečiojoje dalyje silpnąją sąveiką, bet būsime kiek išrankesni. Tačiau išsami silpnosios sąveikos istorija apima daugybę komplikacijų, kurias aptarsime tik paviršutiniškai. (Atvirai kalbant, šiandienos požiūriu jos neatrodo labai gražios!)

Ketvirtoje dalyje labai trumpai pristatysiu visą dalyvių sudėtį ir susumuosiu rezultatus. Tada jau galėsime aiškiai įsivaizduoti ir Pagrindų teorijos grožį, ir jos užsilikusius estetinius trūkumus, ir taip paruošime sceną mūsų paskutinio skyriaus nuotykiams.

1 DALIS. PAGRINDŲ TEORIJOS SIELA

Savybių erdvės

Kaip jau svarstėme pirma, žmonės daugiausiai yra regimojo suvokimo būtybės. Didžioji mūsų smegenų dalis užsiėmusi vaizdinės informacijos apdorojimu, ir mes su tuo susitvarkome itin gerai. Esame iš prigimties apdovanoti geometrų gabumais, prisitaikę organizuoti savo regimąjį suvokimą erdvėje judančių objektų kalba.

Todėl nors ir galima aptarinėti dalelių ir sąveikų savybes pasitelkus vien skaičių ir algebros terminiją, nemėginant išreikšti sąvokų geometriškai, bet vertinant žmogiškuoju požiūriu pravartu čia pasinaudoti dar ir erdvine vizualizacija bei geometrija. Tai leidžia mums pertvarkyti pačias galingiausias savo smegenų sritis ir lengvai manipuliuoti sąvokomis. Kitaip tariant, tai leidžia pamatyti šių sąvokų grožį.

Pagrindinės Pagrindų teorijos lygtys ir jų plėtiniai, kuriuos aptarsime kitame skyriuje, puikiai tinka erdvinei vizualizacijai. Tačiau turime būti pasirengę būti lankstūs ir įvesti keletą pataisų į mūsų kasdienes erdvinės geometrijos sąvokas. Svarbiausia pagrindinė idėja – tai *savybių erdvės* idėja.

Moljero sukurtas personažas ponas Žurdenas apsidžiaugė iš savo filosofijos mokytojo sužinojęs, kad, pasirodo, kalbąs proza:

p. Žurdenas: Kaip?! Kai sakau: „Nikole, atnešk man batus ir pričiupk mano skrybėlę“, – tai proza?

Filosofijos mokytojas: Taip, pone.

p. Žurdenas: Ir kas galėtų pamanyti! Pastaruosius keturiasdešimt metų

su trupučiu kalbu proza – ir tik dabar sužinau!

Tokiu pat būdu suvokiame papildomus matmenis, laukus ir savybių erdves* kasdien, daugelį metų, ir labai tikėtina, kad net nenutuokiame apie jų egzistavimą. Kai žvelgiate į spalvotą fotografiją, jūsų smegenys, be įprastos erdvės, kaskart perkrato ir trimatę (spalvinę) savybių erdvę. Kai žiūrite spalvotą filmą arba televizijos laidą arba sąveikaujate su kompiuterio monitoriaus ekranu, apdorojate trimatę savybių erdvę, apibrėžtą virš erdvėlaikio.

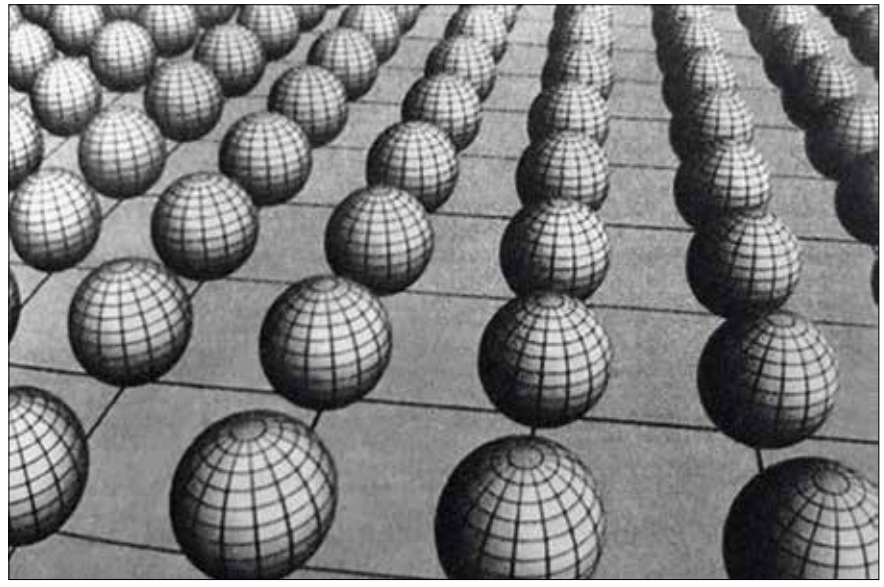
Leiskite man paaiškinti šį drąsų, tačiau akivaizdžiai teisingą teiginį.

Didesnio konkretumo sumetimais aptarkime pavyzdį su kompiuterio ekranu. Kaip galime perteikti jame regimą informaciją? Arba praktiniais sumetimais: jeigu programuojame kompiuterį, kaip pasakome kompiuteriui, ką jis turi daryti, kad atgytų mūsų monitoriaus ekranas?

Galime pavaizduoti skirtingus vaizdo elementus, arba vaizdataškius, pagal jų horizontalią ir vertikalią padėtis. Tam reikalingi du skaičiai – x ir y. Kad būtų palaikomas bendras spalvos suvokimas, kiekvienam vaizdataškiui turime tiksliai apibrėžti (kaip kad mokė mus Maksvelas!) trijų pradinių spalvų intensyvumus. Šios trys pagrindinės spalvos dažniausiai pasirenkamos kaip tam tikros raudonos, žalios ir mėlynos spalvų atmainos, ir jų intensyvumai žymimi raidėmis R, G, B. Todėl, norėdami nurodyti kompiuteriui, ką jis turi išvesti į ekraną duotuoju laiku t bet kuriame ekrano taške, turime nurodyti šešis skaičius. Dvejetas šių skaičių (x, y), kaip jau esame minėję, apibūdina erdvinę padėtį, o trys skaičiai (t, x, y) – padėtį erdvėlaikyje. Likę trys skaičiai apibūdina spalvą. Jeigu juos vertinsime paprastai, kaip skaičius, jie bus labai panašūs į tris pirmuosius skaičius! Todėl logiška (ir, kaip vėliau paaiškėjo, labai produktyvu) skelbti, kad jie apibūdina padėtį tam tikroje naujoje erdvėje, *savybių erdvėje*, esančioje ant erdvėlaikio viršaus.

Štai du paveikslėliai – vienas jų abstraktus, o kitas materialus, kuriais perteikiama savybių erdvės sąvoka (32 pav. ir spalvotosios iliustracijos II ir JJ). Pirmajame paveikslėlyje matome paprastą savybių erdvę, perteiktą geometriškai. Prie kiekvieno įprastos erdvės taško plūduriuoja papildoma er-

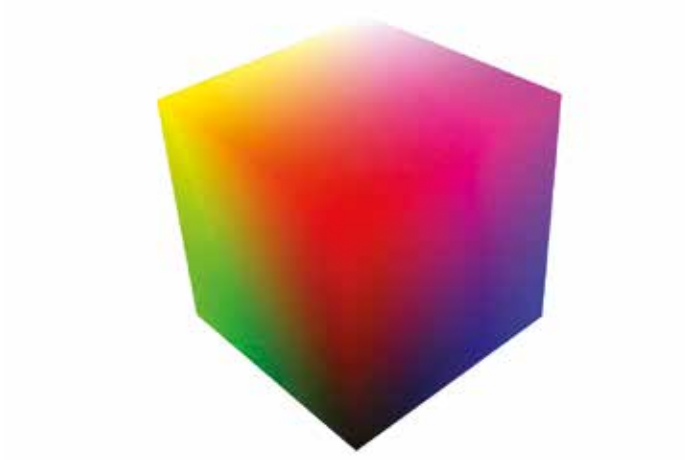
* Šios trys sąvokos taip glaudžiai tarpusavyje susijusios, jog iš esmės jos sukeičiamos vietomis. Daugiau informacijos apie jas rasite *Žodynėlio* straipsneliuose *Matmenys*, *Laukas* ir *Savybių erdvė*.



32 PAV. ABSTRAKČIAI ATVAIZDUOTA PAPILDOMŲ MATMENŲ KONCEPCIJA: VIRŠ KIEKVIENO ĮPRASTOS ERDVĖS TAŠKO EGZISTUOJA PAPILDOMA ERDVĖ, APIMANTI „PAPILDOMUS MATMENIS“. ČIA PAPILDOMI MATMENYS PAVAIZDUOTI KAIP MAŽOS SFEROS.

dvė. Čia abstrakti papildoma erdvė sferos formos. Pirma apibūdintą mūsiškę spalvų savybių erdvę paprasčiausiai galima atvaizduoti kaip trimatį kubą, nes galimi intensyvumai, būdami maksimalios vertės dalys, išdėstyti diapazone nuo nulio iki vieneto. Tai matoma spalvotųjų iliustracijų II ir JJ viršuje. Jų apačioje parodyta erdvė, su kuria susiduriate žvelgdami į kompiuterio monitoriaus ekraną (kaip ką tik aptarėme). Kaip matote, tai tikslus spalvotas 32 pav. atkartojimas!

Vaizdataškiams priskiriamą spalvą apibūdina padėtis trimatėje R, G, B savybių erdvėje, kaip esame minėję anksčiau. Spalvotoje iliustracijoje KK toliau plėtojame spalvos savybių erdvės temą ir pateikiame kai kuriuos jos lankstumo bei produktyvumo aspektus. Įprastas fotografinis atvaizdas paro-



ILIUSTRACIJOS II IR JJ. SPALVOTAS RGB KUBAS APIBŪDINA TURIMAS VAIZDO ELEMENTO (VAIZDATAŠKIO) NUSPALVINIMO GALIMYBES. SPALVINĖ REGA MUMS SUTEIKIA PRIEIGĄ PRIE TRIJŲ PAPILDOMŲ MATMENŲ.

Elektromagnetinė

Silpnoji

Stiprioji

ILIUSTRACIJA KK. ČIA SPALVOS SAVYBIŲ ERDVĖS IDĖJA ILIUSTRUOJAMA APRIBOJANT ATVAIZDĄ LINIJĄ IR VEIDĄ ATITINKANČIŲ SPALVŲ DALIMIS IR TIK PO TO PEREINANT PRIE VISO KUBO. ĮRAŠAI PO PAVEIKSLĖLIAIS – UŽUOMINA Į FAKTĄ, KAD MŪSŲ PAGRINDŲ TEORIJOS NAUDOJA VIENMATES, DVIMATES IR TRIMATES SAVYBIŲ ERDVES.

dytas apatiniame iliustracijos paveikslėlyje. Galime išskaidyti tą pačią pradinę medžiagą pasitelkdami savybių erdvės poerdvio su žemesnėmis erdvinėmis charakteristikomis projekciją. Viršutiniame kairiajame paveikslėlyje projektuojame tik į žalią spalvą (G), tokiu būdu suvesdami savybių erdvę tik į vieną matmenį. Dešiniajame viršutiniame paveikslėlyje projektuojame į žalią ir raudoną spalvas, ignoruodami mėlyną spalvą ir taip suvesdami spalvinių savybių erdvę iki dviejų matmenų.

Tarp šių skirtingų matmenų savybių erdvių ir mūsų Pagrindų teorijų infrastruktūros egzistuoja slėpiningos paralelės. Kaip tik į šį faktą, kurį dabar paaiškinsiu, daro aliuziją iliustracijos žymės „elektromagnetinis“, „silpnas“, „stiprus“.

Kalbant kvantinės teorijos kalba, elektrodinamika nusako, kaip fotonai reaguoja į elektros krūvio pasiskirstymą erdvėje ir laike. Kitaip tariant, fotonai jaučia įelektrintų dalelių padėtis bei greičius ir į juos reaguoja. Tokiu būdu fotonai kiekviename erdvėlaikio taške „mato“ pavienį skaičių, reiškiantį elektros krūvio kiekį tame taške, ir „mato“ jį vienmatėje savybių erdvėje.

Kaip netrukus išsamiai aptarsime, stiprioji sąveika – tai kažkas panašaus į steroidais išpūstą elektrodinamiką. Mūsų stipriosios sąveikos teorijos, kvantinės chromodinamikos (*angl.* santrumpa *QCD*), lygtys panašios į Maksvelo elektrodinamikos lygtis, tik pagrįstos trimate stipriosios sąveikos savybių erdve. Taip pat kvantinėje chromodinamikoje turime ne šiaip pavienį fotoną, o aštuonias į fotoną panašias daleles, gliuonus, kurie įvairiais būdais reaguoja į tai, kas vyksta stipriosios sąveikos savybių erdvėje. Dėl neįtikėtino sutapimo *savybės*, į kurias reaguoja gliuonai, taip pat buvo pramintos *spalvomis*, nors, žinoma, jos niekaip nėra susijusios su spalva įprasta prasme. Stipriosios spalvos veikiau artimesnės elektros krūviui. Tačiau kiek užbėgame sau už akių...

In ir jang, keturis kartus paeiliui

Astrofizikas Johnas Wheeleris (Džonas Vileris) buvo įgudęs išradinėti įsimintinas frazes, kuriomis apibūdindavo fizikines idėjas. Frazė „juodoji bedugnė“ – neužmirštamas vilerizmas, kaip ir posakis „masė be masės“, kuriuo pasinaudosime vėliau. Wheeleris sugebėjo poetiškai apibūdinti Einšteino gravitacijos teorijos, bendrosios reliatyvumo teorijos, esmę, ir šiuo aprašymu galime naudotis kaip atrama:

Medžiaga pasako erdvėlaikiui, kaip išsilenkti.
Erdvėlaikis pasako medžiagai, kaip judėti.

Dėl mūsų vėlesnių tikslų svarbu išdėstyti – o po to ištaisyti! – mintį, kad erdvėlaikis pasako medžiagai, kaip ši turinti judėti. Iš pradžių šiek tiek pasiaiškinsime, kodėl „pasako“, o tada patikslinime „medžiagos“ ir „erdvėlaikio“ prasmę.

Kaip iš tikrųjų erdvėlaikis nurodo medžiagai, kur link judėti? Jo nurodymai, remiantis bendrąją reliatyvumo teorija, labai paprasti: *Stenkis judėti kuo tiesiau!*

Su kreivuoju paviršiumi dažnai siejama du erdvės taškus jungiančių tiesiausių linijų sąvoka. Tai *geodezinės linijos*. Šios linijos, kaip ir tiesės įprastoje euklidinėje geometrijoje, turi tokią savybę: nėra trumpesnio kelio tarp dviejų vienai linijai priklausančių taškų. Tos pačios matematinės sąvokos (kreivumas ir geodezinės linijos) taikomos ne tik paviršiams – kuriuos, šiaip ar taip, galima teisėtai laikyti savarankiškomis dvimatėmis erdvėmis – bet ir erdvei kaip visumai, ir netgi erdvėlaikiui. Ir Einšteino genialumo esmė bendrojoje reliatyvumo teorijoje yra ta, kad jis suteikė gravitacijai formą, kurią poetizavo Wheeleris: gravitacinis „kritimas“ arba „sukimasis“ – tai tik medžiagos mėginimas judėti kuo tiesiau (keliauti geodezinėmis linijomis) kreivame erdvėlaikyje.

Wheelerio apibūdinimas nuostabiai įtaigus, tačiau pernelyg supaprastintas. Galų gale, gravitacija – ne vienintelė sąveika gamtoje! Kad ši poezija būtų tiksli ir kad visiškai atsiskleistų jos potencialas, turime šį tą patobulinti.

Geometrijos mantra

Wheelerio posme žodis „medžiaga“ šiek tiek *per daug* poetiškas. Me-

džiaga gali turėti kelias savybes (pavyzdžiui, elektros krūvį), tačiau erdvėlaikio kreivumas reaguoja tik į energijos ir judesio kiekio visuminį tankį. Todėl vietoj šios frazės turėtume sakyti:

Energija ir judesio kiekis pasako erdvėlaikiui, kaip jam išsilenkti.

Medžiagos judėjimo pobūdį veikia ne tik gravitacija, bet ir kitos jėgos. Šios jėgos sukels nuokrypius nuo pačių tiesiausių (geodezinių) kelių. Taigi, štai ką turime pasakyti:

Erdvėlaikis energijai ir judesio kiekiui pasako, kokia kryptis yra tiesi (erdvėlaikyje).

Taigi, viską sujungę kartu:

Energija ir judesio kiekis pasako erdvėlaikiui, kaip jam išsilenkti.
Erdvėlaikis pasako energijai ir judesio kiekiui, kokia kryptis yra tiesi (erdvėlaikyje).

O dabar eilė elektromagnetizmo Pagrindų teorijai:

Elektros krūvis pasako elektromagnetinei savybių erdvei, kaip jai išsilenkti.
Elektromagnetinė savybių erdvė pasako elektros krūviui, kuri kryptis yra tiesi (elektromagnetinėje savybių erdvėje).

Ir apie silpnąją sąveiką:

Silpnasis krūvis pasako silpnosios sąveikos savybių erdvei, kaip jai išsilenkti.
Silpnosios sąveikos savybių erdvė pasako silpnajam krūviui, kuri kryptis yra tiesi (silpnosios sąveikos savybių erdvėje).

Ir stipriajai sąveikai:

Stiprusis krūvis pasako stipriosios sąveikos savybių erdvei, kaip jai išsilenkti.
Stipriosios sąveikos savybių erdvė pasako stipriajam krūviui, kuri kryptis yra tiesi (stipriosios sąveikos savybių erdvėje).

Pilnutinėje Pagrindų teorijoje, apimančioje visas keturias sąveikas, medžiaga turi keturias savybių rūšis: energiją ir judesio kiekį, elektros krūvį, silpnąjį krūvį ir stiprųjį krūvį. Medžiagos dalelės sklinda per žymiai sudėtingesnę erdvę, nei numatė Wheeleris, per erdvę, kuri, be įprasto erdvėlaikio, apima elektromagnetinės sąveikos, stipriosios ir silpnosios sąveikų savybių erdves. Tačiau, remiantis Pagrindų teorija, medžiaga paklūsta tam pačiam principui *in*, pritaikytam šiai žymiai sudėtingesnei aplinkai:

Tęskite judėjimą kuo tiesesne trajektorija!

In ir jang

Pagrindų teorijos stebuklas – visos keturios sąveikos panašios į keturias variacijas viena tema. Man tai neatrodo pernelyg nerealu, ir, žinoma, gražu matyti šiame dualume

medžiaga || erdvėlaikis

…kinų papildomumo pavyzdį

In || Jang

In – tai takumo principas, susijęs su žeme ir vandeniu (medžiaga). Jis „daro tai, kas vyksta savaime“ (*Oklahoma!*), arba „seka jėgą“ (*Žvaigždžių karai*), kitaip tariant, keliauja mažiausio pasipriešinimo keliu – geodezine linija.

Jang – įdvasinantis principas, susijęs su dangumi (erdvėlaikiu), šviesa (elektromagnetiniu skysčiu – žr. toliau!) arba kitomis varomosiomis jėgomis.

Žvelgiant iš šios perspektyvos, Pagrindų teorijos siela – tai keturguba *in* ir *jang*.

ILIUSTRACIJA A. HE ŠUIFOS NUTAPYTAS VISATOS SIMBOLIS *TAIDZI*, KURĮ RASITE IR ŠIOS KNYGOS FRONTISPISE.

Ši knyga turi vieną išskirtinį bruožą – tai originalus ženklo *Taidzi* (*In-Jang*) atvaizdas, kurį mums padovanojo šiuolaikinis tradicinio kinų meno meistras He Šuifa. Šis ženklas puikuojasi ne tik šios knygos frontispise, bet ir spalvotoje iliustracijoje AA.

Egzistuoja keli *Taidzi* vertimo variantai, iš kurių „aukščiausias poliškumas“ bene pats iškalbingiausias. Jo simbolis apima du kontrastuojančius elementus – *in* (tamsusis pradas) ir *jang* (šviesusis pradas), ir jį dažnai vadina *In* ir *Jang* simboliu. Atkreipiame dėmesį, kad abu šie elementai sudaro nedalomą visumą ir kad kiekvienas jų talpina kitą ir yra talpinamas kitame.

Mūsų patys giliausi fizikinės tikrovės aprašymai kvantinėje teorijoje ir keturiose Pagrindų sąveikos (gravitacinės, elektromagnetinės, stipriosios ir silpnosios) teorijose apima sąvokas, kurios nukreipia mintis į *in* ir *jang*. Nilsas Boras, iškilusis kvantinės teorijos pagrindėjas, matė aiškias paraleles tarp savo papildomumo idėjos ir jungtinio *in* ir *jang* dualumo. Jis susikūrė herbą, kuriame *in* ir *jang* pradams tenka pagrindinis vaidmuo (žr. 42 pav.). Mūsų Pagrindų teorijos sukasi aplink erdvę užpildančių fotonų švytinčio skysčio (*jang*) ir medžiagos (*in*), kurią jie abu valdo, sąveiką.

Srauto mantra

Pasaulio žemėlapis nebūtinai turi atrodyti kaip gaublys. Galime atvaizduoti išlenktojo paviršiaus, pavyzdžiui, Žemės, geometriją, projektuodami duomenis apie atstumus į plokščią tinklelį.

Žvelgiant plačiau, taip pat galime perteikti išlenktos erdvės geometriją, arba išlenktą erdvėlaikį, atvaizduodami informaciją apie atstumus plokščiame tinklelyje. Kiekviename šio tinklelio taške ir kiekviena kryptimi, išeinančia iš šio taško, turėsime skaičių, kuris mums nurodys, kaip toli galime nukeliauti, nužengę šia kryptimi vieną žingsnį. Tokiu būdu pateikiame mūsų erdvės geometriją, priskirdami kiekvienam taškui po kelis skaičius. Šis darinys apibūdina *metrinį lauką* (arba tiesiog *metriką*), kaip tai vadinama matematikoje.

Aptariant erdvėlaikio geometriją, fizikoje apie *metrinį skystį* tinkama kalbėti Faradėjaus ir Maksvelo dvasia. Kaip tik ši sąvoka Einšteino bendro-

joje reliatyvumo teorijoje pakeičia Niutono teorijos gravitacines jėgas.

Kaip kad sugestijuoja terminas „skystis“, metrinis skystis, visai kaip elektromagnetinis Maksvelo teorijos skystis, pradeda gyventi savarankišką gyvenimą. Pavyzdžiui, jis palaiko savarankiškus trikdžius – gravitacines bangas, analogiškas elektromagnetinėms bangoms, kuriomis remdamasis Maksvelas aiškino šviesą, o Hercas sukūrė radiją.

Naudodami šiuos geometriją koduojančius skysčius, gauname srauto mantras:

Energija ir judesio kiekis pasako metriniam skysčiui, kaip tekėti.
Metrinis skystis pasako energijai ir judesio kiekiui, kaip tekėti.
Elektros krūvis pasako elektromagnetiniam skysčiui, kaip tekėti.
Elektromagnetinis skystis pasako elektros krūviui, kaip tekėti.
Silpnasis krūvis pasako silpnajam skysčiui, kaip tekėti.
Silpnasis skystis pasako silpnajam krūviui, kaip tekėti.
Stiprusis krūvis pasako stipriajam skysčiui, kaip tekėti.
Stiprusis skystis pasako stipriajam krūviui, kaip tekėti.

Tam tikra prasme šios srauto mantros – tik geometrijos mantrų perifrazės, tačiau jos atveria naujas patrauklias perspektyvas:

- Pagal tokią formuluotę *in* (medžiaga) ir *jang* (jėga) įgyja vienodą padėtį: kiekviena jų duoda nurodymus kitai. Tai leidžia suprasti, kad jų akivaizdus dvilypumas gali virsti žymiai gilesne vienove. Kitame skyriuje pamatysime, kaip ši groteskinė idėja gali būti įgyvendinta pasitelkus *supersimetriją*.
- Elektromagnetizmui skirta srauto mantra savo dvasia žymiai artimesnė originalioms Faradėjaus ir Maksvelo idėjoms nei mūsų ankstesnė „geometrinė“ mantra. Geometrinė mantra, priešingai, dvasia artimesnė idėjoms, kurios atvedė Einšteiną prie jo gravitacijos teorijos, bendrosios gravitacijos teorijos. Ši idėjų harmonija – tai didi dovana. Ji graži pati savaime. Ir, dar kartą skelbdama kitą mūsų skyrių, ji pakiša mintį apie gilesnę sąveikų vienovę.

- Iš esmės, kai tik geometrija – erdvėlaikio arba savybių erdvės – užkoduojama kaip matematinis skystis, galime lengvai įsivaizduoti, kad šis skystis teka ir pradeda gyventi savarankišką gyvenimą.

LOKALIOSIOS SIMETRIJOS ĮSIKŪNIJIMAS

Dabar iššifravome ir netgi patobulinome antrąją Wheelerio eilėraščio posmo eilutę. Kitaip tariant, aptarėme, kaip jėgos nukreipia medžiagą arba kaip *jang* nukreipia *in*. Kad užbaigtume šį idėjų ciklą, turime aptarti principus, kurie valdo priešingą įtakos kryptį.

Kalbant konkrečiau, susiduriame su šia užduotimi: kaip mums gauti erdvėlaikio ir savybių erdvių išlinkimo lygtis? Mūsų pagrindinis kelrodis principas, *lokalioji simetrija*, tiek pat gražus, kiek ir gilus. Įvedėme šią idėją anksčiau, skyriuje *Simetrija I*, tad dabar ją trumpai prisiminsime, o po to toliau plėtosime temą jos pagrindu.

Prisiminkime, kad 1905 m. sukūręs specialiąją reliatyvumo teoriją Einšteinas netrukus pripažino, jog jos negalima suderinti su Niutono gravitacijos teorija. Jis kankinosi su šia problema ištisą dešimtmetį, pavadinęs šį laikotarpį „nerimastingų paieškų tamsoje metais“.

Einšteiną aplankė nušvitimas – jis atrado lygtis, tinkamas erdvėlaikio kreivumui, ir tuo pačiu užbaigė naują gravitacijos teoriją, bendrąją reliatyvumo teoriją. Jis atrado jas suformulavęs tokį reikalavimą: lygtys turi įkūnyti tai, ką jis pavadino *bendruoju kovariantiškumu*, kuris yra lokaliosios simetrijos erdvėlaikio versija.

Kad giliau suprastume Pagrindų teorijos lokaliąją simetriją, iš pradžių prisiminkime esminę lygčių simetrijos idėją, kurią pristatėme anksčiau, aptardami Maksvelo lygtis. Sakome, kad lygtis (arba lygčių sistema) turi simetriją, jeigu egzistuoja tokie pokyčiai, kuriuos galima taikyti tos lygties dydžiams nepakeičiant jos turinio. Simetrijos reikalavimas suteikia mums ypatingų lygčių suradimo būdą, nes dauguma lygčių, pasirinktų atsitiktinai, *nėra* simetriškos. Taip pat, kalbant subjektyviai, tai būdas surasti ypač *gražias* lygtis.

(Kai kurie žmonės mano, kad žodžiu „simetrija“ apibūdinti lygčių savybių nedera, nes jis, jų nuomone, šiame kontekste pernelyg nutolsta nuo savo kasdienės prasmės. Jeigu ir jūs susiduriate su šia problema, galbūt jums verta prisiminti žodį „invariantiškumas“ – kaip papildymą arba kaip pakaitalą. Kiek pasvarstęs, nusprendžiau pasilikti žodį „simetrija“, nes jis giliai įsišaknijo literatūroje, ir tai susilaukė tam tikro atgarsio. Kad ir kaip šį reiškinį pavadintumėte, pagrindinė idėja tebėra Pokytis be pokyčio.)

Visuotinai priimtina, kitaip tariant, nelokali, arba (žodis, kurį vartosiu aš) nelanksti, fizikos dėsnių simetrija papratai apima visatos kaip visumos kitimą – griežtą kitimą. Pavyzdžiui, postuluojame, kad fizikos dėsnių turinys nepasikeis, jeigu pakeisime visų juose sutinkamų elementų padėtį vienu ir tuo pačiu dydžiu – tarkime, pastumsime viską per vieną metrą konkrečia kryptimi, visur (ir visiems laikams). Gerai įsigilinę suprasite, kad tai tikslus (nors galbūt keistas) būdas pasakyti, jog dėsniai nepripažįsta privilegijuotos padėties erdvėje arba, paprasčiau kalbant, kad dėsniai visur įgauna vienodą formą. Bet pajudinę kai kuriuos objektus labiau nei kitus, pakeisime jų santykinę padėtį. Tai neabejotinai pakeis dėsnių apie jėgas turinį – pavyzdžiui, Niutono gravitacijos dėsnį ir į jį panašų Kulono elektrinių jėgų dėsnį, kurie priklauso nuo atstumo tarp objektų.

Kartu su lokaliąja simetrija atsiranda transformacijos, kintančios erdvėje ir laike. Kaip tik dėl to, kad galime pasirinkti transformacijas lokaliai, nesijaudindami dėl visatos kaip visumos, šią galimybę apibūdiname žodžiu „lokali“. Dar kartą apsvarstykime transformaciją, kurią ką tik aptarėme ankstesnėje pastraipoje: paprastas visų objektų perstūmimas. Iš pirmo žvilgsnio, kaip jau matėme, fizikos dėsnių simetrija gali egzistuoti tik tada, jeigu numatysime visų objektų perstūmimą vienodu atstumu ir viena kryptimi. Pakeitę santykinius atstumus, pakeisime ir sąveikų dėsnius! Tačiau – čia ir glūdi lokaliosios simetrijos joga – jeigu turime metrinį skystį *ir įvesime į jį tam tikras pataisas kartu su perkėlimais*, sugebėsime atstumus tarp objektų ir, atitinkamai, jų sąveikos dėsnius išsaugoti nepakitusius!

Anamorfinis menas, kaip parodyta spalvotoje iliustracijoje EE, pasitarnauja kaip puiki metafora – arba, kalbant dar tiksliau – kaip lokaliosios simetrijos modelis. Jau esame minėję anksčiau, kad projekcinė geometrija – tai menas apie Pokyčius be pokyčių, su kuriais susiduriama, kai žiūrima į tą

patį objektą (pokyčių nėra) iš įvairių požiūrio taškų (pokytis). Tokiu būdu pripažįstame, kad daugelyje skirtingų paveikslų gali būti atvaizduotas tas pats objektas. Tačiau naudodami vis tą patį pradinį objektą galėsime išgauti sudėtingesnius atvaizdus, sudarę sąlygas dalyvauti iškraipančioms terpėms – išgaubtiems veidrodžiams, lęšiams ir prizmėms... arba, kalbant apibendrintai, tam tikroms struktūroms, kurios keičia padėtį erdvėje judėdamos iš vienos vietos į kitą ir išlenkia šviesos pluoštą. *Sudarydami sąlygas tokioms terpėms, imame laikyti, kad vienas ir tas pats objektas gali būti atvaizduotas žymiai didesniame vaizdų diapazone*. Lokalioji simetrija – tai ta pati idėja, tik taikoma ne objektams, o lygtims.

Lokaliosios simetrijos sąlygos primeta mūsų lygtims griežtus apribojimus. Reikalaujame, kad šių lygčių versijų, kurios atrodo labai iškraipytos, padariniai būtų tokie patys kaip ir originalų. Kad tai būtų įmanoma, turime iškelti prielaidą, jog erdvėlaikis (įskaitant ir visas jo palaikomas savybių erdves) užpildytas atitinkamais skysčiais. Priklausomai nuo to, kaip norite šią situaciją aiškinti, galite teigti, kad skysčiai sukelia arba – priešingai – kompensuoja regimus iškraipymus. (Jie sukelia regimus iškraipymus, jeigu stebite eidami nuo objekto link suvokimo; jie *kompensuoja* regimus iškraipymus, jeigu stebite eidami nuo suvokimo link objekto!) Bet kuriuo atveju, jeigu norime turėti lokaliąją simetriją, mums reikalingi šie erdvėlaikį užpildantys skysčiai. Ir jeigu norime, kad šie skysčiai veiktų kaip sėkmingi, universalūs kompensatoriai, jie privalo pasižymėti labai ypatingomis savybėmis. Kitaip tariant, jie turi paklusti labai ypatingoms lygtims.

Tiesą sakant, kaip tik specialiosios reliatyvumo teorijos lokaliosios versijos reikalavimas leido Einšteinui sudaryti lygtis metriniam laukui, kurios tapo bendrosios reliatyvumo teorijos branduoliu! Ir kaip tik reikalavimas lokalių sukimųsi versijų savybių erdvėse paskatino C. N. Yangą ir Robertą Millsą (Milsą) atrasti lygtis, kurios vadinamos jų vardais ir kurios valdo silpnuosius ir stipriuosius skysčius. Yangas ir Millsas rėmėsi Hermanno Weylio, įrodžiusio, kad tokiu būdu galima išvesti Maksvelo lygtis elektromagnetiniam skysčiui, darbu.

Nuo skysčių perėję prie su jais susijusių subatominių dalelių, arba kvantų, pradedame suvokti, kad gravitonų, fotonų ir vikonų bei spalvotųjų gliuonų (atitinkamai, metrinio, elektromagnetinio, silpnojo skysčio ir

ILIUSTRACIJA LL. PLAČIAKAMPIS „ŽUVIES AKIES“ OBJEKTYVAS ŠIAM NUOSTABIAM ŠIUOLAIKINĖS MEČETĖS INTERJERUI PRIDEDA ANTRĄJĮ ANAMORFIJOS LYGĮ.

stipriojo skysčio kvantų) ir jų savybių egzistavimas – tai *neišvengiamas ir išskirtinis įvairių lokaliųjų simetrijų padarinys*. Štai fizikos literatūroje įprastas žargonas kalbant apie šias lokalias simetrijas:

- bendrasis kovariantiškumas – lokaliajai specialiosios reliatyvumo teorijos versijai;
- kalibravimo simetrija $U(1)$ – sukimosi elektros krūvio savybių erdvėje lokaliajai versijai;
- kalibravimo simetrija $SU(2)$ – sukimosi silpnojo krūvio savybių erdvėje lokaliajai versijai;
- kalibravimo simetrija $SU(3)$ – sukimosi stipriojo krūvio savybių erdvėje lokaliajai versijai.

Istorinė termino „kalibravimo simetrija“ kilmė gana įdomi. Ji aptariama šios knygos pastabose.

Kaip ir dera, galime apibendrinti mūsų aptarimą taip, kad jis įsimintų:

Gravitonai – bendrojo kovariantiškumo įsikūnijimai.
Fotonai – kalibravimo simetrijos 1.0 įsikūnijimai.
Vikonai – kalibravimo simetrijos 2.0 įsikūnijimai.
Spalvotieji gliuonai – kalibravimo simetrijos 3.0 įsikūnijimai.

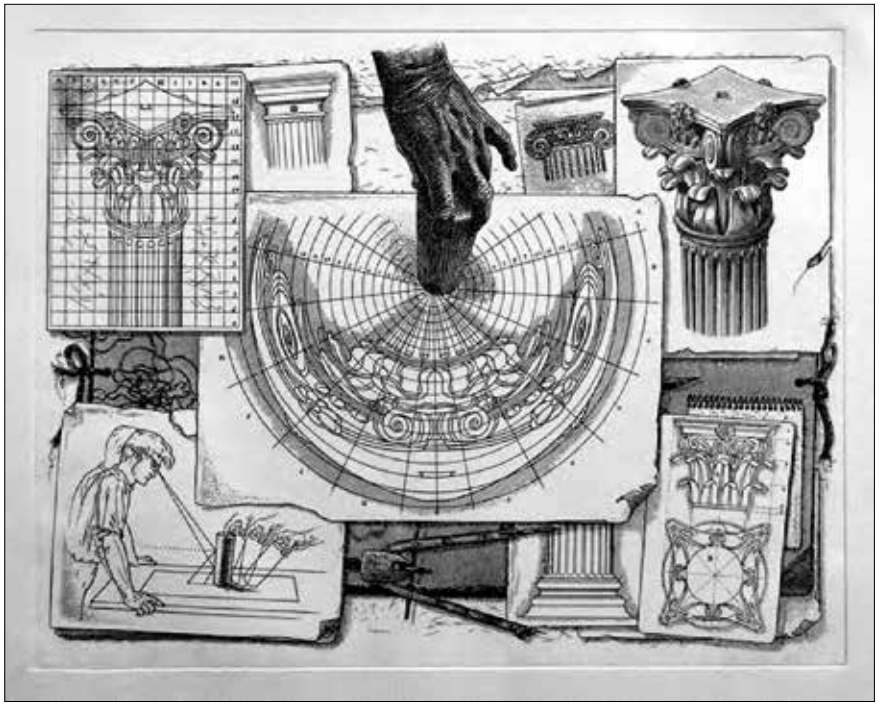
Pašlovinkime šį nuostabų dualumo

Idealu ↔ realu

įsikūnijimą spalvota iliustracija LL. Simetriškų detalių turinčius objektus fotografuojant objektyvu „žuvies akis“*, skirtingų detalių simetrija perteikiama įvairiai, priklausomai nuo jų padėties. Tokie atvaizdai gali perteikti lokaliosios simetrijos dvasią tinkama, keistai gražia vaizdine forma.

Baigdami šį skyrių, pamėginkime pasitelkę 33 pav. perkelti dėmesį nuo teorijų rezultatų prie jų kūrimo proceso. Tai trijų pakopų procesas. Turime

* Itin plataus apžvalgos kampo objektyvas. *Vert. pastaba.*



33 PAV. ANAMORFINIO MENO KŪRIMO PROCESAS.

pasirinkti objektus, kuriuos norime atvaizduoti (medžiagas), tai, kaip leisime šiems objektams atrodyti (transformacijas), o tada terpes, kurios leis atlikti šias transformacijas (skysčius). Šį piešinį, demonstruojantį amorfinio meno kūrimo procesą, galima laikyti atnaujinta spalvoto priedo iliustracijų K ir L versija. Mūsų šiuolaikinis Meistras – kruopštus amatininkas, tačiau dabar jau žinome, kad jo mintys žymiai lakesnės, o jo instrumentai žymiai įvairesni – ir jo požiūris žymiai žaismingesnis – nei Meistro, kurį įsivaizdavo Bleikas.

KAS IŠ KUR

Kai dalelė juda savybių erdvėje, pasakytume (kalbėdami įprasta kalba), kad ji pavirto kitos rūšies dalele. Pavyzdžiui, „raudonasis“ kvarkas – kitaip tariant, kvarkas su raudonos spalvos krūvio vienetu – gali virsti „mėlynuoju“ kvarku. Tačiau dabar turime kitą šios situacijos įvertinimo būdą, užgriebiantį giliau. Žvelgdami iš šios naujos perspektyvos matome, kad šios dvi dalelės – raudonasis kvarkas ir mėlynasis kvarkas – iš tikrųjų yra viena ir ta pati esybė, užimanti skirtingas padėtis! Tokiu būdu, *Kas* užkoduoja *Kur*.

Kadangi spalvotieji gliuonai reaguoja būtent į spalvinį krūvį, jie nusprendžia, ką jiems daryti „žvalgant“, kur yra dalelės – arba, taikant kiek bendresnę formuluotę, kaip atrodo banginių funkcijų arba laukų pasiskirstymas spalvinių savybių erdvėje. Šiems gliuonams visų svarbiausia – padėtis ir dar kartą padėtis – padėtis toje savybių erdvėje, kaip ir padėtis erdvėlaikyje. Ir atvirkščiai, stebėdami spalvotųjų gliuonų elgesį, gauname informaciją iš spalvos krūvio erdvės. Savybių erdvės, iš pradžių įvestos kaip paspirtis vaizduotei, tuo būdu virsta apčiuopiamais tikrovės elementais.

2 DALIS. APIE STIPRIĄJĄ SĄVEIKĄ KONKREČIAU

Atidengiant atomų branduolius

Svarbiausią atradimą, paskatinusį sukurti šiuolaikinius sėkmingus atomo modelius, padarė Hansas Geigeris ir Ernestas Marsdenas 1911 m. Dirbdami Rezerfordo (Rutherfordo) laboratorijoje ir realizuodami jo idėją, Geigeris ir Marsdenas ištyrė alfa dalelių, skleidžiamų radžiui yrant į ploną auksinės folijos lakštą, nuokrypius. Jiedu stebėjo smarkaus nuokrypio atvejus. Štai ką apie šį epizodą papasakojo Rezerfordas:

Tai, ko gero, buvo pats nuostabiausias mano gyvenimo įvykis. Tai buvo veik taip neįtikėtina, tarsi būtumėte iššovę 15 colių [artilerijos] sviedinį į vyniojamojo popieriaus lakštą, o jis būtų atšokęs atgal ir pataikęs į jus. Kiek pamąstęs supratau, kad tokią atgalinę sklaidą turėjo sukelti vienintelis susidūrimas, ir atlikęs apskaičiavimus pamačiau, kad buvo įmanoma gauti kažką panašaus į tokio pobūdžio dydį, jeigu tik būtų galima paimti sistemą, kurioje didžioji atomo masės dalis sukoncentruota smulkučiame branduolyje. Ir kaip tik tada man šovė galvon atomo su mažyčiu masyviu turinčiu krūvį centru idėja...

Rezerfordas pasiūlė apibrėžtą, nuostabiai paprastą modelį, kuriuo galima paaiškinti šiuos stebėjimus. Jis iškėlė prielaidą, kad kiekvienas atomas turi po mažytį branduolį, talpinantį savyje visą atomo teigiamą krūvį ir veik visą jo masę. Tuo galima paaiškinti retą, tačiau galingą atgalinę sklaidą – branduolys nenori judėti (nes yra sunkus) ir gali atstumti alfa dalelę (nes jame sutelktas krūvis). Rezerfordas įdarbino šį modelį ir paskelbė jį galiojančiu, *kiekybiškai* paaiškinęs didelio kampo nuokrypį. Likusioji atomo dalis, pagal Rezerfordą, susideda iš žymiai lengvesnių, neigiamą krūvį turinčių elektronų, kažkodėl pasklidusių žymiai didesniame tūryje.

Tai buvo epochinis įvykis. Jis parodė, kad medžiagos atomo struktūros pažinimą galima patogiai suskirstyti į dvi užduotis. Pirmoji užduotis (tai, ką dabar vadiname atomo fizika) – laikyti sunkų, teigiamai įelektrintą branduolį duotybe, o tada nustatyti, kaip su juo santykiauja elektronai. Šią kvantinio grožio sritį jau esame aptarę.

Antroji užduotis (tai, ką dabar vadiname branduolio fizika) – suprasti, iš ko sudaryti šie atomų centrai ir kokiems dėsniams jie paklūsta.

Labai greitai paaiškėjo, kad branduolio fizikos negalima aiškinti vien tik elektrinėmis jėgomis. Iš tikrųjų, kad būtų išspręsta atomo branduolyje koncentruoto teigiamo krūvio problema, elektrinio modelio nepakako. Jeigu nenusveria kita, galingesnė jėga, elektrinės stūmos jėga susprogdina branduolį. O jeigu gravitacija? Kai masės tokios menkos, ją drąsiai galima ignoruoti. Čia turėjo veikti naujos, klasikinei fizikai nežinomos jėgos.

Branduolio fizika iškėlė dvi užduotis: viena jų – egzistencinė, o kita – dinaminė. Egzistencinės užduoties esmė – nustatyti branduolio sudedamąsias dalis; dinaminės užduoties esmė – perprasti jėgas, kuriomis šios sudedamosios dalys veikia viena kitą. Su sudedamųjų dalių surašymu pavyko susidoroti per keletą metų, ir ganėtinai paprastai. Viena sudedamoji dalis buvo daugmaž akivaizdi. Vandenilio atomo branduolys yra stabilus, (aiškiai nematomas) nedalomas ir turi vieną (teigiamą) krūvio vienetą. Jis pats lengviausias iš visų branduolių, o kiti lengvi branduoliai turi mases, kurios artimos jo masės sveikojo skaičiaus kartotiniams. Atitinkamai, šis *protonas* – taip pavadintas Rezerfordo – viena iš sudedamųjų dalių.

Antrąjį komponentą 1932 m. atrado Jamesas Chadwickas (Džeimsas Čedvikas). Neutronas – tai elektriškai neutrali dalelė, tik šiek tiek sunkesnė už protoną. Jo atradimas suteikė mums paprastą, tačiau protingą sampratą to, kas yra atomų branduoliai – tai vienas su kitu susietų protonų ir neutronų santalkos. Ši samprata leido sudėlioti į vietas daugelį pastebėtų faktų. Pavyzdžiui, skirtingų cheminių elementų branduoliai skiriasi vienas nuo kito tik turimų protonų skaičiumi, nes šis skaičius nulemia branduolio elektrinį krūvį, kuris valdo jo sąveiką su atomą supančiais elektronais, o pastarieji, savo ruožtu, valdo jo chemiją. Skirtingi protonų skaičiai branduolyje reiškia skirtingus cheminius elementus. Su neuronais, atliekančiais antrojo žaidėjo vaidmenį, išsprendžiame izotopų mįslę. Izotopinius branduolius turinčių atomų cheminės savybės vienodos, tačiau jų masės skiriasi. Šių atomų branduoliai turi tą patį skaičių protonų, tačiau skirtingą neutronų skaičių. Tokiu būdu, paprastas atomo branduolio modelis (protonas + neutronas) vienu metu paaiškina cheminių elementų įvairovę ir izotopų egzistavimą.

Buvo manoma, kad, žengiant kitą žingsnį, svarbu išsiaiškinti, kokios jėgos veikia tarp protonų ir neutronų išlaikydamos juos kartu. Kaip jau esame minėję, reikėjo ieškoti kitų jėgų, nes elektromagnetizmas nori branduolius perplėšti, o gravitacija tokia silpna, kad jos galima nepaisyti.

Tačiau branduolius veikiančių jėgų tyrinėjimo eksperimentai netrukus nuvedė nenumatytomis kryptimis. Faktiškai jie visi buvo grindžiami pradinio Geigerio ir Marsdeno eksperimento strategija. Tarkime, tiriant protonų sąveiką, protonų pluoštai būdavo iššaunami į kitus protonus (į vandenilio taikinį) stebint, kas iš to išeis. Regint skirtingus kampinius nuokrypius, galima pamėginti padaryti išvadas apie juos sukeliančią jėgą. Naudojant skirtingų energijų protonų ir skirtingomis kryptimis besisukančių protonų pluoš-

tus analizę galima pagerinti. Tokio tipo eksperimentai netrukus atskleidė, kad sąveikos tarp protonų ir neutronų nepaklūsta įprastoms lygtims. Jos priklauso ne tik nuo atstumo, bet ir nuo greičio bei sukinio, ir ši priklausomybė gali būti labai sudėtinga.

Pažvelgę giliau pamatysime, kad eksperimentai netrukus palaidojo viltį – mūsų Klausimo viltį, kad protonai ir neutronai – tai paprastos dalelės ir kad kokia nors gražia „jėga“, tradicine šio žodžio prasme, galima paaiškinti, kas iš tikrųjų vyksta šioms dalelės sąveikaujant. Nes kai didelę energiją turintys protonai trenkdavosi į kitus protonus, eksperimentuotojai gaudavo ne vien dviejų susiduriančių dalelių nuokrypį. Vietoj jų atsirasdavo ištisas dalelių srautas!

Iš esmės, eksperimentai, kuriais buvo siekiama atrasti paprastą jėgą, atskleidė naują ir netikėtą dalelių pasaulį. Mezonai π, ρ, K, η, ρ, ω, K^*, φ ir barionai Λ, Σ, Ξ, Δ, Ω, Σ^*, Ξ^*, Ω yra pačios lengviausios ir prieinamiausios iš jų. (Egzistuoja dešimtys kitų dalelių.) Šios dalelės, visos be išimties, labai nestabilios ir gyvuoja ne ilgiau kaip mikrosekundę (o daugeliu atvejų ir dar trumpiau). Išvados apie jų egzistavimą ir savybes turi būti daromos remiantis jų skilimo produktų tyrimais detektoriuose, įtaisytuose didžiaenergiuose greitintuvuose, pavyzdžiui, tokiuose, kaip greitintuvai Brukheiveno nacionalinėje laboratorijoje, *Fermilab* ir CERN laboratorijose. Visos kartu šios naujos dalelės vadinamos *hadronais*.

Lygiai taip pat, kaip drugelių klasifikacija ar arklių paleontologija, hadronų „zoologijos sodo“ sudėtis ir jo gyventojų charakteristikos – masės, sukiniai, gyvavimo trukmė, skilimo pobūdis – užburia tikrus žinovus. Tačiau siekdami savo grožio paieškose labiau priartėti prie esmės, turime pereiti prie platesnių klausimų. Kad sklandžiai judėtume toliau, leiskite man trumpai apibendrinti dvi itin svarbias pamokas, kurias mums pateikia šis „zoologijos sodas“.

Hadronai apima dvi karalystes – barionus ir mezonus. Protonai ir neutronai – tai barionų prototipai. Visi barionai turi keletą bendrų savybių. Visi jie patiria stiprią artisiekių jėgų sąveiką vienas kito arba mezonų akivaizdoje ir (specialistams) jie visi yra fermionai. Mezonai taip pat turi bendrų savybių. Jie visi patiria stiprią artisiekių jėgų sąveiką vienas kito ir barionų akivaizdoje ir (specialistams) jie visi yra bozonai.

Protonai ir neutronai nėra nei paprasti, nei elementarūs. Analizuoti atomo branduolius skaidant juos į protonus ir neutronus – išties naudingas žingsnis. Tačiau šios dalelės nėra nei paprastos, nei elementarios – jų sąveikos sudėtingos, ir jos tėra tik dvi žymiai didesnės panašių dalelių šeimos narės. Kad pažvelgtume į jas iš reikiamos perspektyvos ir užbaigtume medžiagos analizę, turime pasitelkti platesnį požiūrį.

Kvarkinis modelis

Kvarkinį modelį sugalvojo Murray Gell-Mannas (Mari Gel-Manas) ir George'as Zweigas (Džordžas Cveigas), ir jis tapo puikia vaizduotės galios ir vaizdų atpažinimo demonstracija.

Pagal kvarkinį modelį, barionai yra trijų elementaresnių esybių– trijų rūšių, arba „aromatų“, kvarkų surištosios būsenos: viršutinio *u*, apatinio *d* ir keisto *s*. (Kol kas to pakanka, tad atidėsiu žymiai sunkesnių, itin nestabilių kvarkų *c, b, t* aptarimą vėlesniam laikui.)

Tačiau kaip tik trys kvarkų aromatai – *u, d, s* – generuoja šimtus skirtingų barionų? Reikalas tas, kad duotasis kvarkų trejetas, tarkime, *u, u, d,* gali egzistuoti būdamas daugelio skirtingų judesio būsenų, analogiškų Boro kvantuotoms elektronų orbitoms atomuose arba nuostoviosioms būsenoms, pavaizduotoms 26 pav. skyriuje *Kvantinis grožis I*. Atitinkamai, šios diskretiškai skirtingos būsenos turi skirtingas energijas ir – jeigu taikysime formulę $m = E/c^2$ – skirtingas mases. Todėl, žvelgiant eksperimentuotojo akimis, jos atrodo kaip skirtingos dalelės! Tokiu būdu aptinkame, kad daugelis skirtingų dalelių atspindi tą pačią medžiaginę struktūrą, sudarančią jų pagrindą ir užfiksuotą skirtingose vidinio judėjimo būsenose.

Panašiai kvarkinis modelis postuluoja, kad mezonai – tai vieno kvarko ir vieno antikvarko surištosios būsenos. Kiekviena kvarko ir antikvarko pora, tarkime, *ud*, būdama skirtingos judėjimo būsenos, generuoja daugybę skirtingų mezonų.

Kvarkinis modelis leidžia įtikinamai paaiškinti ir hadroninių jėgų sudėtingumą. Net jeigu pavieniai kvarkai sąveikauja paprastai, susitikus trims surištosios būsenos kvarkams arba kvarko ir antikvarko poroms, išlieka di-

ILIUSTRACIJA MM. ATRODO, KVARKAMS REIKALINGOS TAM TIKROS JĖGOS, VEIKIANČIOS SPYRUOKLĖS ARBA GUMINĖS JUOSTELĖS PRINCIPU. JOS VEIKIA TUO STIPRIAU, KUO LABIAU ĮTEMPIAMA TOKIA DU KVARKUS JUNGIANTI SPYRUOKLĖ (ARBA GUMA).

džiulė kryžminio ryšio arba nuslopinimo galimybė. Būtent dėl tų pačių priežasčių paprasta chemija, pagrįsta atomų sąveika, pasirodo esanti sudėtinga ir produktyvi, nors jėgos, veikiančios tarp pavienių elektronų, kuriais ji grindžiama, neįtikėtinai paprastos.

Kvarkinis modelis tapo svarbiausiu žingsniu organizuojant hadronų „zoologijos sodą“. Jis perteikia hadronų paveikslą, savo aiškinamąja galia panašų į Boro atomo modelį. Tačiau kvarkinis modelis, kaip ir Boro modelis, taip pat ribotas. Nors kvarkinis modelis savo dvasia teisingas ir istoriškai svarbus, jis stokoja logiškumo ir yra tik pusiau matematinis. Negana to, jis susidūrė su didžiule problema, kurią dabar ir aptarsime.

Kvarkinis modelis pateikė sėkmingą ir *vaizdų* daugelio protonų, neutronų ir jiems giminingų hadronų savybių paaiškinimą. Tačiau kvarkams jis priskyrė ir ganėtinai keistų savybių. Galimas daiktas, kad pati keisčiausia iš tokių savybių yra lokalizavimas, komiškai atvaizduotas karikatūroje (spalvota iliustracija MM), paimtoje iš plakato, išleisto Nobelio premijos suteikimo man proga. Manoma, kad kvarkai yra protonų konstrukciniai blokai, tačiau nepaisant didžiulių pastangų, pavienės dalelės su kvarko savybėmis (tokios, kurios turi dalinį krūvį, lygų ⅔ arba – ⅓ protono elektrinio krūvio) niekada nebuvo aptiktos. Tokiu būdu kvarkai grupėmis po tris gali sudaryti protonus, kuriuose tarp jų veiktų vidutinio stiprumo jėgos. Tačiau dėl tam tikrų priežasčių jie negali išsilaisvinti, nes yra suvaržyti.

Kad paaiškintume šį elgesį, mums, atrodo, prireiks saitų tarp kvarkų, panašių į spyruoklę arba guminę juostelę, kurie traukia kvarką tuo stipriau, kuo labiau išsitempia tarpinę padėtį užimanti spyruoklė arba guminė juostelė didinant atstumą. Spyruoklės ir guminės juostelės, žinoma, jau patys savaime yra sudėtingi fizikiniai objektai, todėl netinka postuluoti jų dalyvavimą elementariųjų dalelių teorijoje. Ir jeigu vis dėlto taip darome, iškyla klausimas: iš ko sudaryta ši spyruoklė?

Fizikai priprato, kad pagrindinės jėgos didėjant atstumui silpnėja, kaip kad būna gravitacinių ir elektromagnetinių jėgų atveju, todėl išlaikymas tapo sunkiu galvosūkiu. Daugelis fizikų dėl to taip ir nesugebėjo prisiversti rimtai vertinti kvarkus.

PROVERŽIS: KVANTINĖ CHROMODINAMIKA

Maksvelo elektrodinamikos lygtys, Niutono (o vėliau Einšteino) gravitacijos lygtys ir Šriodingerio, o vėliau Diraco fizikos lygtys nustatė aukštus grožio, aiškumo ir tikslumo standartus. Nei sudėtingos lygtys (o tiksliau – lentelės), apibūdinančios branduolines jėgas, nei bendros kvarkinio modelio idėjos net nepriartėja prie šių standartų.

Ir vis dėlto, aiškios, tikslios stipriąją sąveiką apibūdinančios lygtys egzistavo. Jomis daug metų nebuvo naudojamasi, kol pagaliau sugebėjome jas pritaikyti. Tai lygtys, paremtos Maksvelo lygtimis, įkūnijančios tas vizijas, kurias trumpai aptarėme šio skyriaus pirmojoje dalyje.

Beveik 20 metų skiria Yango ir Millso pasiūlytą šių lygčių formuluotę ir kvantinės chromodinamikos atsiradimą, kaip jų įgyvendinimą tikrovėje. Ši istorija – stulbinamas santykio

Idealu → Realu

pavyzdys.

Stipriosios sąveikos sferoje negali būti abejonių, kad atsakymas į mūsų Klausimą

Ar pasaulis įkūnija gražias idėjas?

...yra paprastas:

Taip, įkūnija.

Hipertrofuotas Maksvelas

Kvantinė chromodinamika (angl. *QCD*) remiasi idėjomis ir lygtimis, kurios yra grandiozinis Maksvelo elektromagnetizmo lygčių apibendrinimas, išplėstas siekiant įtraukti dar daugiau simetrijos. Man patinka teigti,

kad kvantinė chromodinamika primena hipertrofuotą kvantinę elektrodinamiką (angl. *QED*).

Kvantinei elektrodinamikai būdingas vienos rūšies krūvis – elektros krūvis. Jis gali būti teigiamas (kaip protonų) ir neigiamas (kaip elektronų), tačiau abiem atvejais išmatuojame jo kiekį pavieniu skaičiumi (teigiamu arba neigiamu). O štai kvantinė chromodinamika disponuoja net trijų rūšių krūviais. Šie krūviai be jokios rimtos priežasties vadinami spalvomis; dėl didesnio aiškumo vadinkime jas raudona, žalia ir mėlyna.

Kvantinė elektrodinamika turi vieną dalelę, tarpininkaujančią sąveikai. Tai fotonas, kuris reaguoja į elektros krūvį. Tuo tarpu kvantinė chromodinamika apima iš karto *aštuonias* sąveikai tarpininkaujančias daleles, kurios vadinamos spalvotaisiais gliuonais. Dvi iš jų, panašiai kaip ir fotonas, reaguoja į spalvinį krūvį. (O kodėl jų ne trys? Paaiškinsime kitoje pastraipoje.) Likusiosios šešios dalelės tarpininkauja *transformacijoms* iš vienos spalvos į kitą. Taigi, egzistuoja gliuonas, paverčiantis raudono krūvio vienetą žalio krūvio vienetu, kitas gliuonas paverčia žalio krūvio vienetą mėlyno krūvio vienetu ir pan.

Išbalinimo taisyklė – tai graži, fizikiniu požiūriu svarbi kvantinės chromodinamikos savybė, kurią ganėtinai nesunku suformuluoti ir kurią labai lengva pademonstruoti matematiškai, nors sunku intuityviai pagrįsti. (Bent jau aš neradau būdo, kaip tą padaryti.) Remiantis išbalinimo taisykle, raudono krūvio vieneto, žalio krūvio vieneto ir mėlyno krūvio vieneto buvimo toje pačioje vietoje galutinis efektas yra nulinis: šie vienetai anuliuojasi. (Specialistams: manau, kad jie čia įgauna antisimetrinę konfigūraciją.) Tai miglotai primena, kaip sudėjus trejetą spektro spalvų (raudoną, žalią ir mėlyną) galima gauti neutralią baltą spalvą – iš čia ir terminas „išbalinimas“, nors, žinoma, šių procesų fizika visiškai skirtinga. Kaip tik dėl šios išbalinimo taisyklės, paverčiančios vieną krūvių derinį bejėgiu, gauname tik dviejų, o ne trijų rūšių gliuonus, reaguojančius į spalvinį krūvį.

Kiekvienas kvarkas perneša vieną spalvinio užtaiso vienetą. Kvarko spalva – savarankiška savybė, kurią turime nurodyti kaip kitų savybių, pavyzdžiui, elektros krūvio ar masės, papildymą, ir ji ne mažiau svarbi. Tačiau ne taip kaip elektros krūvis ar masė, *kvarko spalva – tai ne vienas skaičius, o trys. Tiksliau kalbant, jis užkoduoja padėtį trimatėje savybių erdvėje*. Šių nau-

ILIUSTRACIJA NN. ELEKTRONAS IR ANTIELEKTRONAS (POZITRONAS), PAGREITINTI IKI DIDELĖS ENERGIJOS IR JUDANTYS PRIEŠINGOMIS KRYPTIMIS, PATYRĖ ANIHILIACIJĄ, KURIOS PADARINIAI IR PARODYTI ŠIAME PAVEIKSLĖLYJE. MATOME TRIS DALELIŲ GRUPES, JUDANČIAS – LABAI GREITAI – TRIMIS SKIRTINGOMIS KRYPTIMIS. ŠIOS TRYS ČIURKŠLĖS YRA KVARKO, ANTIKVARKO IR SPALVOTOJO GLIUONO ĮSIKŪNIJIMAI.

jų krūvio rūšių egzistavimas – kvantinės chromodinamikos pagrindas. Šis faktas toks esminis, toks gražus ir toks svarbus vėlesniems pokyčiams, jog mums tiesiog privalu apžvelgti, kaip jis pagrindžiamas tikrovėje.

Keista kvarkų ir gliuonų tikrovė

Kvarkus pirmą kartą pavyko „pamatyti“ per eksperimentus, kuriuos XX a. septintojo dešimtmečio pabaigoje Stanfordo tiesiniame greitintuve atliko Jerome'as Friedmanas (Džeromas Fridmanas), Henry Kendallas (Henris Kendalas) ir Richardas Tayloras (Ričardas Teiloras). Iš esmės jie fotografavo protonų vidų. Naudodami labai didelės energijos (virtualiuosius) fotonus jie sugebėjo išskaidyti labai mažus atstumus ir laiką.

Šios akimirkinės nuotraukos daug ką atskleidė! Retrospektyviai ypač dera išskirti trejetą netikėtų atradimų.

Protonai sudaryti iš kvarkų. Akimirkinės nuotraukos buvo padarytos naudojant fotonus, todėl jose pavyko užfiksuoti elektros krūvio pasiskirstymą protono viduje. Jos parodė, kad šis krūvis sutelktas labai mažose, taškinėse struktūrose, o ne išsisklaidęs po visą branduolį. Stulbinamas Rezerfordo bei Geigerio ir Marsdeno atradimo pakartojimas, tačiau dabar jau protono, o ne atomo viduje! Krūvio kiekis tose taškinėse struktūrose ir kitos savybės sutapo su lūkesčiais, sužadintais kvarkinio modelio.

Protonų viduje kvarkai beveik laisvi. Kai kuriose nuotraukose matyti trys kvarkai – nieko daugiau, ir atrodo, kad kone kiekvieno kvarko padėtis beveik nepriklausoma nuo kitų kvarkų padėties. Iš to išplaukia išvada, kad protono viduje sąveika tarp kvarkų silpna. Kita vertus, daugelis kitų eksperimentų rodo, kad kvarkai niekada neištrūksta iš protono kaip savarankiškos dalelės. Todėl mums reikalinga jėga, kuri būtų santykinai maža mažais atstumais, tačiau taptų galinga atstumui didėjant. Pagrindinis stipriosios sąveikos dinamikos paradoksas, kurį paminėjome anksčiau, čia išryškėja tiek, tarsi būtų iškaltas akmenyje.

Protonai – tai žymiai daugiau, nei vien trys kvarkai. Keliose nuotraukose pavyko užfiksuoti papildomus kvarkų-antikvarkų porų pėdsakus. Tai perne-

lyg nestebina: protonuose sukaupta ganėtinai daug energijos, o kvarkų masė labai maža, todėl sukurti juos lygiai taip pat lengva, kaip parašyti formulę $m = E/c^2$ – su labai maža m!

Tačiau žymiai svarbiau tai, ko *nebuvo* pastebėta šiose akimirkinėse nuotraukose. Sudėję visą stebėjimais nustatytą kvarkų judesio energiją gausite tik apie *pusę* to dydžio, kuris sudaro visą protono masę. Fotonai yra akli elektriškai neutralioms dalelėms, tad akivaizdi tokio aklumo interpretacija gali būti tokia: protonai turi tam tikrą svarbų elektriškai neutralų komponentą kartu su elektriškai įkrautais kvarkais. Ši mikrokosminė „juodosios medžiagos“ problema tapo požymiu, rodančiu, kad protonai – kažkas daugiau, nei vien tik trejetas kvarkų. Kaip netrukus pamatysime, spalvotieji gliuonai ir yra ši trūkstama sudedamoji dalis.

Vėlesni eksperimentai, atliekami su didesne energija, atskleidė kitokį, aiškiai juntamą kvarkų ir gliuonų tikrovės aspektą. Jį pamatysite pažvelgę į spalvotą iliustraciją NN.

Kad apibūdintumėme tai, kas atsiranda iš itin didelės energijos susidūrimų (pavyzdžiui, iš elektronų susidūrimų su pozitronais, kaip pavaizduota iliustracijoje NN) arba iš protonų susidūrimų su protonais (kaip CERN laboratorijos didžiajame hadronų priešpriešinių srautų greitintuve), visų geriausia pradėti nuo įsivaizdavimo, kad sukėlėme kvarkus, antikvarkus ir gliuonus – net jeigu šios dalelės „neegzistuoja“ (jos yra išlaikymo būsenos) – ir pereiti nuo jo prie to, ką faktiškai stebime. (Visai netrukus tai taps neįtikėtinai aišku.)

Reikalas tas, kad greitai judantis kvarkas, antikvarkas arba gliuonas materializuojasi laboratorijoje kaip hadronų *čiurkšlė*, judanti veik ta pačia kryptimi. Dalelių pilnutinė energija ir judesio kiekis čiurkšlėje kartu sudaro kvarko, antikvarko arba gliuono, nuo kurio ši čiurkšlė prasidėjo, pradinę energiją, nes energija ir judesio kiekis tvarūs. Todėl jeigu esame pasiruošę prisimerkti ir „judėti kartu su srautu“ – kitaip tariant, sekti jo energiją ir judesio kiekį, užmiršę, kad pastarieji yra pasiskirstę tarp daugelio hadronų – galime pamatyti pagrindines elementariąsias daleles. Tai labai naudinga interpretuojant rezultatus, nes galime žymiai geriau numatyti, kaip susidaro paprastoms lygtims paklūstantys kvarkai, antikvarkai ir gliuonai, nei hadornai, kurių sandara gerokai sudėtingesnė.

Mūsų dienomis nuvykę į didelės energijos fizikų konferenciją išgirsite eksperimentuotojus ramiai besišnekučiuojant apie neegzistuojančių dalelių (kvarkų, antikvarkų arba gliuonų) gamybą ir jų savybių nustatymą. Tai tapo įprasta šios srities pokalbių tema. Žinoma, jie turi omenyje atliktus atitinkamų čiurkšlių stebėjimus. Tokiu būdu tai, kas matematiškai Idealu, tampa apčiuopiamai Realu.

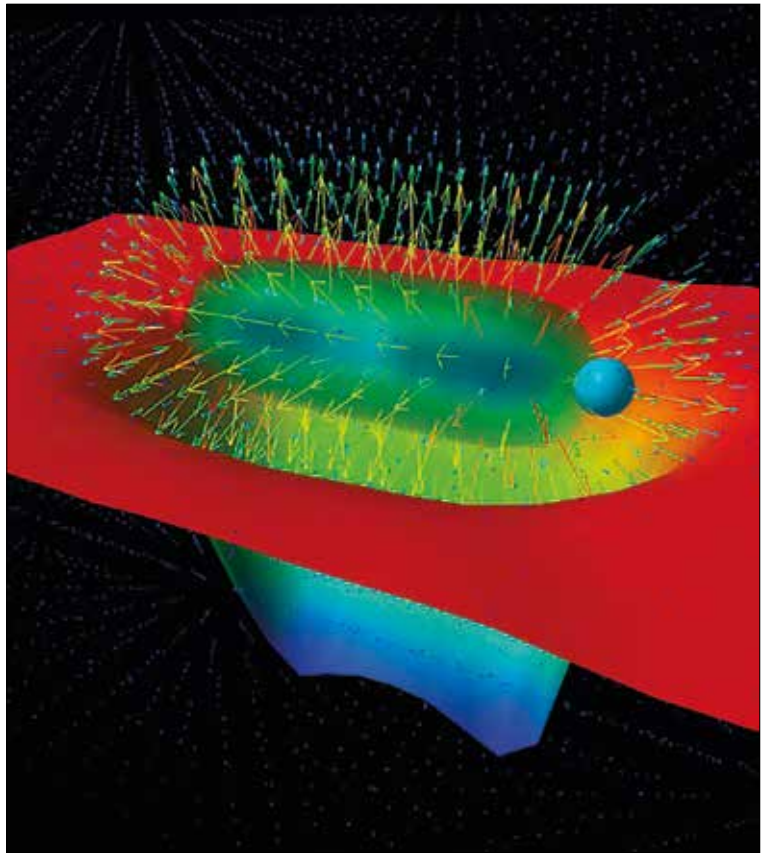
Savaime lipnūs klijai

Šviesa lengvai pereina per šviesą. Jeigu tai nebūtų tiesa, vaizdinius pranešimus, kuriuos mums siunčia pasaulis, iškraipytų sklaida, ir juos būtų žymiai sunkiau interpretuoti. Kvantinėje elektrodinamikoje šis paprastas faktas savaime suprantamas: fotonai reaguoja į elektros krūvį, tačiau patys fotonai elektriškai neutralūs.

Pats svarbiausias *kiekybinis* skirtumas tarp kvantinės chromodinamikos ir kvantinės elektrodinamikos yra toks: ne taip kaip fotonai, *spalvotieji gliuonai sąveikauja vienas su kitu*. Aptarkime, pavyzdžiui, spalvotąjį gliuoną, paverčiantį raudonojo krūvio vienetą mėlynojo krūvio vienetu. Pavadinkime jį *RB*. Kai toks gliuonas sugeriamas, sugėriklio pilnutinis raudonasis krūvis sumažėja vienetu, o jo pilnutinis mėlynasis krūvis vienetu padidėja. Bet šie krūviai išsaugomi, todėl darome išvadą, kad *RB*, jeigu laikysime jį dalele, perneša „minus vieną“ vienetą raudonojo krūvio ir „plius vieną“ vienetą mėlynojo krūvio. Jis *ne* neutralus. Kiti gliuonai, kurie keičiasi arba keičia raudonąjį ar mėlynąjį krūvius arba į juos reaguoja, sąveikaus su *RB*. Ir lygiai taip pat su visais kitais: aštuoni spalvotieji gliuonai formuoja tarpusavyje sąveikaujančių dalelių kompleksą.

Nuo šių kvantų perėjus prie laukų, kuriuos jie sudaro, išryškėja nuostabus šios sąveikos efektas. Gliuonų jėgų linijos traukia viena kitą! Ir laukai, užuot tolygiai paskleidę savo įtaką erdvėje, koncentruojasi į vamzdelius (žr. spalvotą iliustraciją OO – ir palyginkite ją su 20 pav.).

Spalvotųjų „klijų“ savaiminis lipnumas yra kvarkų išlaikymo supratimo raktas. Gliuonų srauto vamzdeliai – tai ir yra staiga atsirandančios „guminės juostelės“, pasirengusios sukurti išlaikymo efektą! Didėjant atstumui tarp



ILIUSTRACIJA OO. „JĖGOS LINIJOS“ (TAIKANT FARADĖJaUS TERMINOLOGIJĄ), JUNGIANČIOS KVARKĄ SU ANTIKVARKU, SUFORMUOJA SIAURĄ VAMZDELĮ. ŠIS VAMZDELIS – TAI SPALVOTO ELEKTRINIO LAUKO SRAUTAS, KURIS TEKA IŠ KVARKO (ŠALTINIO) Į JĮ SUGERIANTĮ ANTIKVARKĄ. KADANGI SPALVŲ ELEKTRINIUS LAUKUS SUDARANTYS GLIUONAI „LIPNŪS“, JIE SUSIJUNGIA TARPUSAVYJE. ŠIS REIŠKINYS – TAI KVARKŲ IŠLAIKYMO RAKTAS.

spalvinio krūvio ir jo priešybės, jie turi būti sujungti ilgesniu srauto vamzdeliu. Kad nauji laukai įgytų energijos, vienam papildomo atskyrimo vienetui reikia baigtinio energijos kiekio. Dėl to atsiranda pasipriešinimo jėga, ir ši jėga didinant atstumą nė kiek nesilpnėja. Kad spalvinis krūvis būtų visiškai išlaisvintas, prireiktų begalinio energijos kiekio, tačiau to negali būti, todėl tas krūvis visada lieka išlaikymo būsenos.

Savaiminis gliuono lipnumas – dar ir patrauklus būdas įvesti ir vizualizuoti asimptotinės laisvės sąvoką. Savaiminis lipnumas sutelkia spalvinius laukus toli nuo kvarko, todėl šie veikia su didesne jėga, nei veiktų priešingu atveju, tarsi telkianti jėgas kariuomenė. Ir priešingai, kad paaiškintume duotąją jėgą tolumoje, galime pradėti nuo silpnesnių jėgų, nei įsivaizdavome pradžioje. Čia ir glūdi visa asimptotinės laisvės esmė: *silpna mažu atstumu jėga gali pagimdyti galingą jėgą dideliu atstumu*. Tai kaip tik tokio pobūdžio elgesys, kokio mums, kaip veikiausiai pamenate, reikia, kad paaiškintume Friedmano, Kendallo ir Tayloro protonų akimirkines nuotraukas.

Asimptotinę laisvę galime interpretuoti ir remdamiesi požiūriu į tai, kaip *zonduojame* šią sąveiką. Didelių energijų zondai jautriai reaguoja į artisiekės jėgos elgesį. Veikiant *didelei energijai* „beveik laisvė“ *mažais atstumais* atsispindi sąveikų silpnumu ir elgesio paprastumu.

Netikėtai atsirandantis kvantinės chromodinamikos paprastumas veikiant didelei energijai – puiki Gamtos dovana fizikams, ieškantiems fundamentaliojo supratimo. Iš tikrųjų ji apipila tikru dovanų lietumi.

SUPRATIMO DOVANOS

Ankstyvoji visata gali būti suvokiama. Labai ankstyvame savo vystymosi etape, iš karto po Didžiojo Sprogimo, visata iš tikrųjų buvo tapusi didelės energijos vieta. Asimptotinė laisvė teikia mums galimybę patikimai sumodeliuoti jos turinį.

Galime gauti informaciją iš didelės energijos susidūrimų. Vyraujanti jėga dalyvaujant didelei energijai supaprastėja, todėl galime tiksliai apskaičiuoti

jos padarinius. Tai leidžia mums interpretuoti ekstremaliai smarkių susidūrimų tarp protonų rezultatus ir kruopščiai juos ištirti ieškant naujų padarinių. Pavyzdžiui, Didysis hadronų priešpriešinių srautų greitintuvas tapo priemone, padėjusia atrasti Higgso bozoną (apie tai kalbėsime kiek vėliau šiame skyriuje). Artimiausioje ateityje sužinosime, ar tikrai daug žadančios, ambicingos sąveikų suvienijimo teorijos apibūdina tikrovę. Apie tai kalbėsime kitame skyriuje.

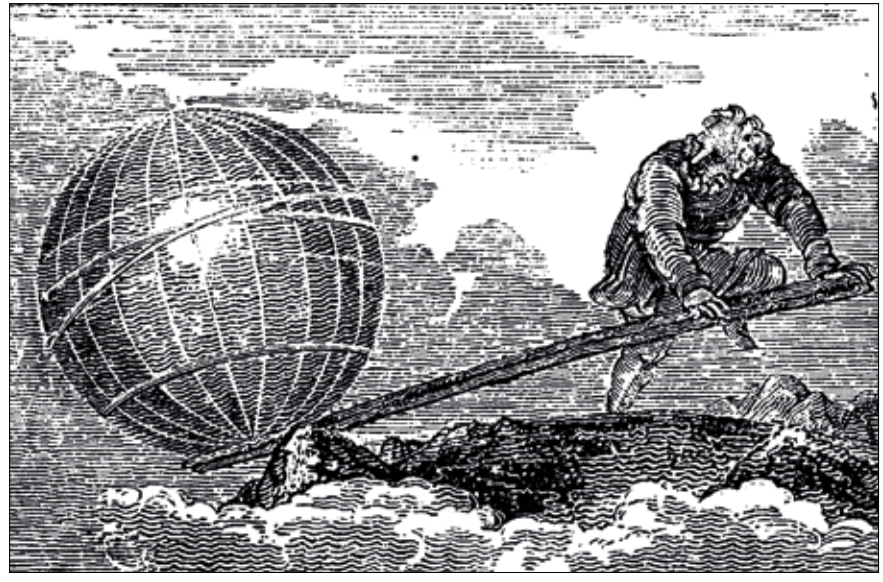
Skirtingos jėgos pasirodo esančios ne tokios ir skirtingos. Kai stebime jų elgesį veikiant labai didelėms energijoms (arba labai artimu atstumu), stulbinamas *matematinis* kvantinės chromodinamikos ir kvantinės elektrodinamikos lygčių panašumas virsta artimu *fizikiniu* jų padarinių panašumu. Stiprioji kvantinės chromodinamikos sąveika ir supaprastėja, ir nusilpsta, kol kvarkai nepradeda elgtis veik taip pat kaip elektronai, o gliuonai – veik taip pat kaip fotonai. Galima būtų pasakyti, kad hipertrofijos efektas sušvelnėja. Turint omenyje tokį ryškų matematinį ir fizinį panašumą, unifikuotos teorijos egzistavimo galimybė gerokai išauga. Simetrija pagrįsta kvantinė chromodinamika atveria duris unifikacijai, o asimptotinė laisvė įstumia mus per jas. Plėtodami šią idėją iki galo, įvesdami ir silpnąją sąveiką su gravitacija, pamatysime, kad ji paaiškina keletą kitais atvejais paslaptingų „sutapimų“. Visų sąveikų unifikaciją, kaip dabartinį mūsų Klausimo paribį, išgvildensime kitame skyriuje.

Ačiū tau, motina Gamta, už šias dovanas!

Svertas ir šydo virpėjimas

Labai sunku kurti tokias dalelių ir sąveikų teorijas, kurias būtų galima suderinti tiek su kvantinės mechanikos, tiek su specialios reliatyvumo teorijos principais. Ir tai puiku! Tai reiškia, kad tikėjimas kvantine mechanika ir specialiąja reliatyvumo teorija suteikia mums galingą svertą, reikalingą mūsų tikslui pasiekti. Prieinamos teorijos ganėtinai griežtos – jų neįmanoma pernelyg keisti išvengiant prieštaravimų; tai suteikia joms galios. Jų nedaug, todėl jas galima lengvai apžvelgti.

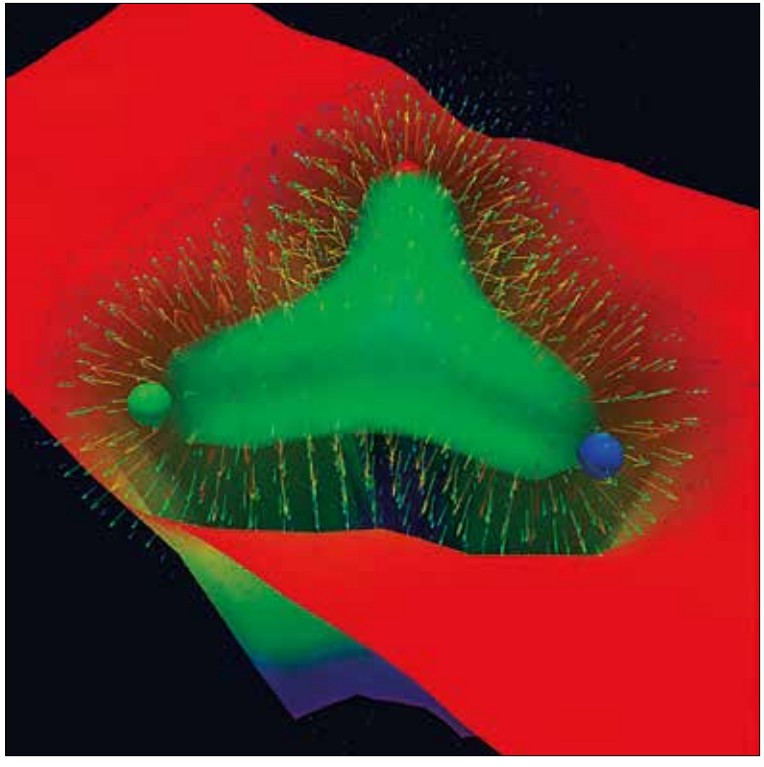
Su tokiu svertu teisingas faktas gali privesti prie milžiniškų padarinių.



34 PAV. „DUOKITE MAN ATRAMOS TAŠKĄ, IR PAJUDINSIU ŽEMĘ.“ (ARCHIMEDAS)

Paaiškėja, kad asimptotinė laisvė ir yra toks faktas! Eksperimentinį atradimą, kad stiprioji sąveika tarp arti vienas kito esančių kvarkų ne tokia ir stipri, buvo itin sunku suderinti su kitais mums žinomais faktais. Pagal daugelį nei kvantinei mechanikai, nei specialiajai reliatyvumo teorijai neprieštaraujančių teorijų, toks tokį atstumia, todėl jėgų fokusuotė nevyksta. Priešingas elgesys – kai sąveika mažėjant atstumui stiprėja – paplitęs žymiai labiau. Todėl kai mudu su Davidu Grossu (Deividu Grosu) ir nepriklausomai nuo mūsų Davidas Politzeris (Deividas Policeris) atradome, kad tai įmanoma, tai buvo toks momentas, kurį Kabala apibūdina kaip „Šventyklos šydo suvirpėjimą“, kai sujuda skraistė, slepianti nuo mūsų žvilgsnių dieviškąjį pasaulį.

Remdamiesi keliais kitais faktais – ir svarbiausias iš jų yra faktas, kad galime susieti tris kvarkus sudarydami barioną, kur spalviniai krūviai vienas kitą anuliuoja (išbalinimo taisyklė!) – mudu su Grossu tęsėme vienintelės įmanomos stipriosios sąveikos teorijos, kurią dabar vadiname kvantine chro-



ILIUSTRACIJA PP. ŠI FIGŪRA – SVARBUS ANKSTESNĖS FIGŪROS (OO) VARIANTAS. ČIA SRAUTO PASISKIRSTYMAS SUJUNGIA TRIS KVARKUS. TAI BARIONŲ, PAVYZDŽIUI, PROTONŲ, KURIE SUDARO MŪSŲ MEDŽIAGĄ, PAGRINDAS. TU ESI TAI – *TAT TVAM ASI*.

modinamika (pagrįsta lokaliąja simetrija ir trimate savybių erdve), paieškas. Netgi dabar, iš naujo skaitydamas mūsų pareiškimą –

> *Galų gale prisiminkime, kad siūlomos teorijos, atrodo, yra unikaliai gamtos išskirtos, jeigu priimsime už gryną pinigą SLAC rezultatus ir pernormavimo grupės požiūrį į kvantinę lauko teoriją –*

patiriu tą patį didžiulį su nerimu sumišusį džiaugsmą, kurį jaučiau tada. Pati kvantinė chromodinamika, vertinant istoriškai, buvo pirmoji asimptotinės laisvės dovana.

Nauja fizikos rūšis

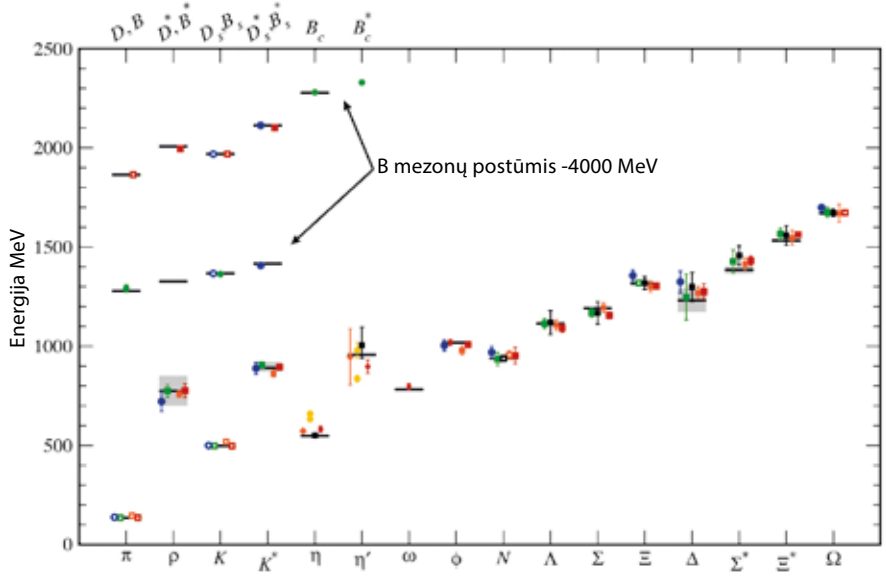
Jau kelis dešimtmečius paeiliui priimta dalyti fiziką į dvi atšakas: teoriją ir eksperimentą. Iš principo, abi šios atšakos siekia geresnio fizinio pasaulio suvokimo, tik skirtingomis priemonėmis.

Per pastaruosius metus, kuriuos lydi sprogimą primenantis kompiuterių galios augimas, užsimezgė ir pražydo trečioji atšaka. Galėtume ją pavadinti skaitmeniniu eksperimentavimu ar modeliavimu arba tiesiog „sudėtingų lygčių sprendimu“. Jai būdingi tiek teorijos, tiek eksperimento elementai, tačiau ji smarkiai skiriasi nuo abiejų metodų. Ši nauja fizikos rūšis tapo itin svarbi ir sėkminga kvantinėje chromodinamikoje.

Kvantinė chromodinamika suteikia mums idealiai apibrėžtas lygtis, kurių galime išmokyti kompiuterius. Tą padarę, iš karto įgyjame prieigą prie ypač greitų, nenuilstančių, sąžiningų ir nepermaldaujamai tikslių talkininkų, kuriems pasaulyje už viską labiausiai patinka skaičiuoti. Prabėgomis žvilgtelėkime į dvejetą svarbių momentų, susijusių su pastaruoju požiūriu. Jie leidžia mūsų stipriosios sąveikos aptarimą užbaigti puikiu apibendrinimu.

Visų pirma, grįžkime prie klausimo, nuo kurio pradėjome: kas yra atomo branduoliai? Šio klausimo esmė, kaip matėme, glūdi pačiame paprasčiausiame atvejyje: kas yra protonas? Žinodami lygtis, kurioms jis paklūsta, galime išgauti detalų herojaus portretą. Tokiu būdu aptinkame, kad mūsų gilumoje slypinti medžiaga nepaprastai graži (iliustracija PP) ir subtili (iliustracija QQ).

ILIUSTRACIJA QQ. EGZISTUOJA GALIMYBĖ, KAD TRYS SRAUTŲ VAMZDŽIAI GALI TURĖTI SANKIRTĄ. TAI YPATINGAS TRISPALVĖS KVANTINĖS CHROMODINAMIKOS (QCD) BRUOŽAS, „IŠBLUKINIMO TAISYKLĖ", PAAIŠKINTA TEKSTE. SRAUTŲ PASISKIRSTYMAS ILIUSTRACIJOJE MM IŠ PLAKATO, SUKURTO NOBELIO PREMIJOS ĮTEIKIMO MAN PROGA, NĖRA VISIŠKAI TIKSLUS (ŽR. ILIUSTRACIJĄ PP), TAČIAU ŠIAME PIEŠINYJE IŠ NOBELIO PREMIJOS LAUREATO DIPLOMO VISKAS PAVAIZDUOTA TIKSLIAI!



35 PAV. SĖKMINGAS HADRONŲ MASĖS APSKAIČIAVIMAS, PAGRĮSTAS KVANTINE CHROMODINAMIKA: MASĖS (DIDŽIOSIOS DALIES) ŠALTINIS.

Galiausiai, kaip tinkamą mūsų diskusijos apie kvantinę chromodinamiką kulminaciją, patvirtinkime dokumentais masės (didžiosios dalies) kilmę. Kukliai atrodantis 35 pav. apibendrina monumentalų mokslo pasiekimą ir žymi svarbią mūsų Klausimo gairę.

Horizontaliojoje ašyje matote mezonų ir barionų pavadinimus. Ir vėl, nors apie šias daleles dar daug ką galima pasakyti, ir įvairios smulkmenos specialistams būtų įdomios, dabartiniams tikslams pakaks pastebėti, kad egzistuoja daugybė hadronų ir kad šie hadronai turi įvairius pavadinimus (sudarytus iš įvairių graikų ir lotynų abėcėlių raidžių, kartais pažymėtų žvaigždute arba brūkšneliu) ir skirtingas mases. Virš kiekvieno pavadinimo rasite horizontalią atkarpą, rodančią *eksperimentiškai išmatuotą* tos dalelės masės vertę. (Kai kurios šių dalelių itin trumpaamžės, ir tai „paskleidžia" jų masę ganėtinai plačiame diapazone. Tokiais atvejais, pavyzdžiui, su dalele ρ pamatysite pilką kvadratą, supantį centrinę atkarpą.) Šalia kiekvienos atkarpos yra

išblukę taškai su juos kertančiomis vertikaliomis linijomis – jie žymi dalelės masės apskaičiuotas vertes, kurias įvairios mokslininkų komandos gavo tiesiogiai iš kvantinės chromodinamikos lygčių. Vertikalios atkarpos atspindi diapazoną skaičiavimų neapibrėžčių, atsiradusių dėl kompiuterių veikimo laiko apribojimo ir kitų veiksnių. Turiu pastebėti, kad šie skaičiavimai nepaprastai sunkūs. Juose naudojami labai protingi algoritmai, jie atliekami taikant pačias galingiausias skaičiavimo sistemas pasaulyje ir ilgai trunka.

Visi rezultatai mezonų π, ρ, K, K^*, η, $\grave{\eta}$, ω, φ ir barionų N, Λ, Σ, Ξ, Δ, Σ^*, Ξ^*, Ω „pagrindinėms sekoms“ – tai išvediniai, gauti iš trijų įvedinių: vidutinės kylančiojo ir krintančiojo kvarkų masės, keistojo kvarko masės ir spalvinio krūvio vieneto. Kaip galite pamatyti, sutarimas tarp matavimo ir skaičiavimo rezultatų stulbinamas.

Noriu pabrėžti, kad šių skaičiavimų išvediniai žymiai platesni, nei pradiniai įvedami duomenys (įvediniai). Kvantinės chromodinamikos lygtis griežtai riboja simetrija, tad jose mažai galimybių įvesti pataisas. Pakartosiu, kad siekiant šių skaičiavimų tikslumo reikia nurodyti tik trejetą įvedinių: kylančiojo ir krintančiojo kvarko vidutinę masę, keistojo kvarko masę ir spalvinio krūvio vienetą (sąveikos jėgos bendras matas). Todėl jeigu kažkas su kažkuo nedera, ten nėra kur pasislėpti! Mums tikrai pravartu, remiantis skaičiavimais, surasti visus stebimus hadronus su tomis masėmis, kurias patvirtina mūsų stebėjimai. Ir, visų svarbiausia, mums geriau nesurasti nieko, ko nesame stebėję – ypač jokių izoliuotų kvarkų ar gliuonų!

Ir šį išbandymą ordalija* teorija atlaiko triumfuodama. Tarp apskaičiuotų masių yra dalelės, vadinamos *N*, masė. Tai nėra tik kita masė, nes *N* reiškia nukloną, kitaip tariant, protoną arba neutroną. (Skirtumas tarp protono ir neutrono masių pernelyg mažas, kad būtų tokiu mastu pastebėtas.) Ta mūsų aptikta masė labai mažai priklauso nuo kvarkų masių, kurios atitinkamais atvejais ganėtinai mažos.

* Ordalija – būdas nustatyti teisiamojo kaltumą ar nekaltumą duodant jam skausmingą užduotį. Kaltinamasis, atlikęs užduotį be žymesnių sužalojimų, būdavo išteisinamas. Viduramžių Europoje toks išmėginimas, kaip ir dvikova, buvo laikomi „Dievo teismu“ (lot. *judicium Dei*) – manyta, kad Dievas įsikiša ir padeda nekaltam žmogui. *Vert. pastaba*.

Taigi: *veik visa nuklono masė, o tai reiškia, kad ir veik visa įprastos medžiagos visatoje masė, atsiranda iš grynos energijos* pagal formulę:

$$m = E/c^2$$

Nuklono masė išplaukia iš kvarkų išlaikymo būsenos kinetinės energijos ir gliuonų lauko energijos, kurios užtikrina išlaikymą. Gauname Masę be Masės, iškylančią tiesiogiai iš grynai konceptualių kvantinės chromodinamikos lygčių, pagrįstų simetrija.

Ar pasaulis įkūnija gražias idėjas? Galite kirsti lažybų, jog įkūnija. Ir jūs taip pat jas įkūnijate.

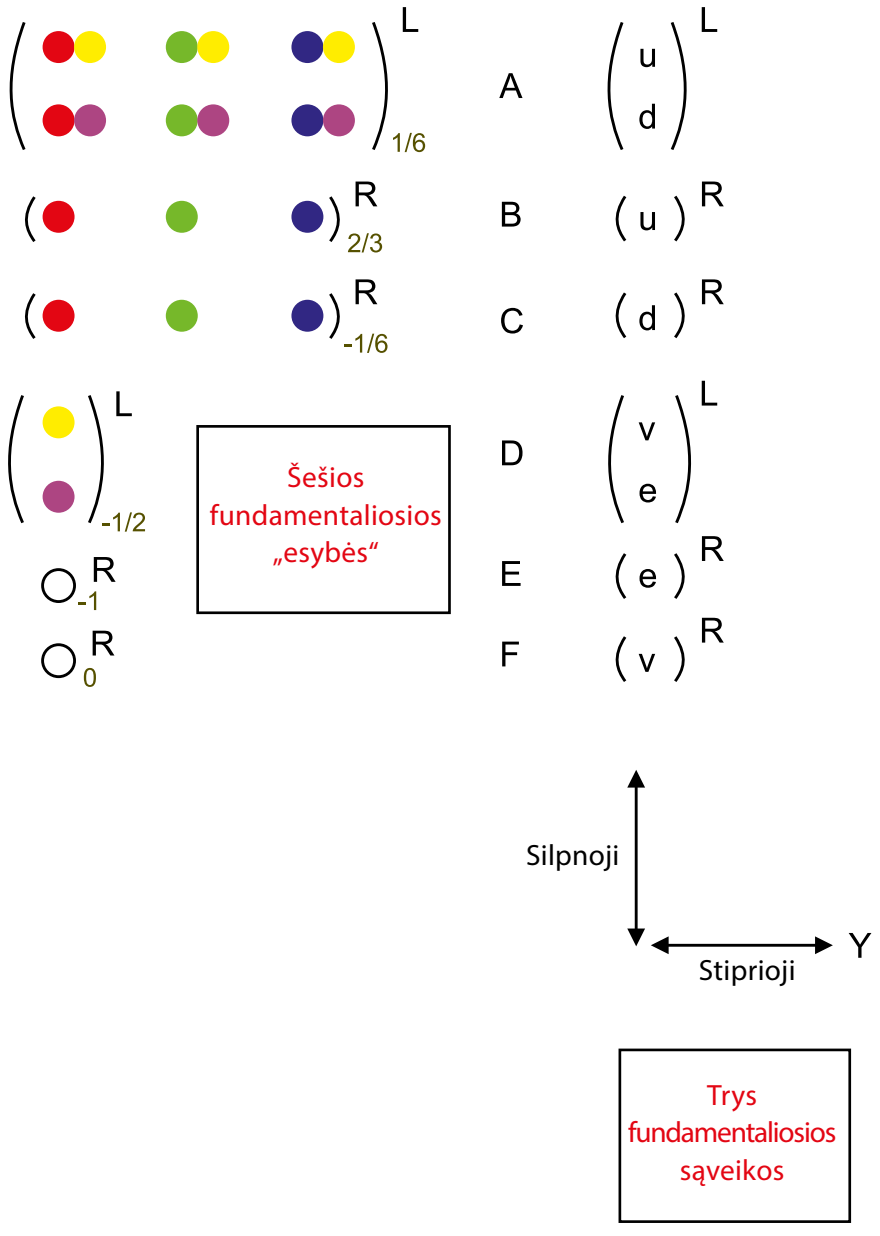
3 DALIS. SILPNOJI SĄVEIKA

Kvantinė chromodinamika (*QCD*) valdo pagrindinę dinamiką, pagal kurią protonai, neutronai ir kiti hadronai susidaro iš kvarkų gliuonų, ir branduolius surišančias jėgas – vadinamąją stipriąją sąveiką. Kvantinė elektrodinamika (*QED*), kaip jau aptarėme, valdo šviesos, atomų ir chemijos pasaulius.

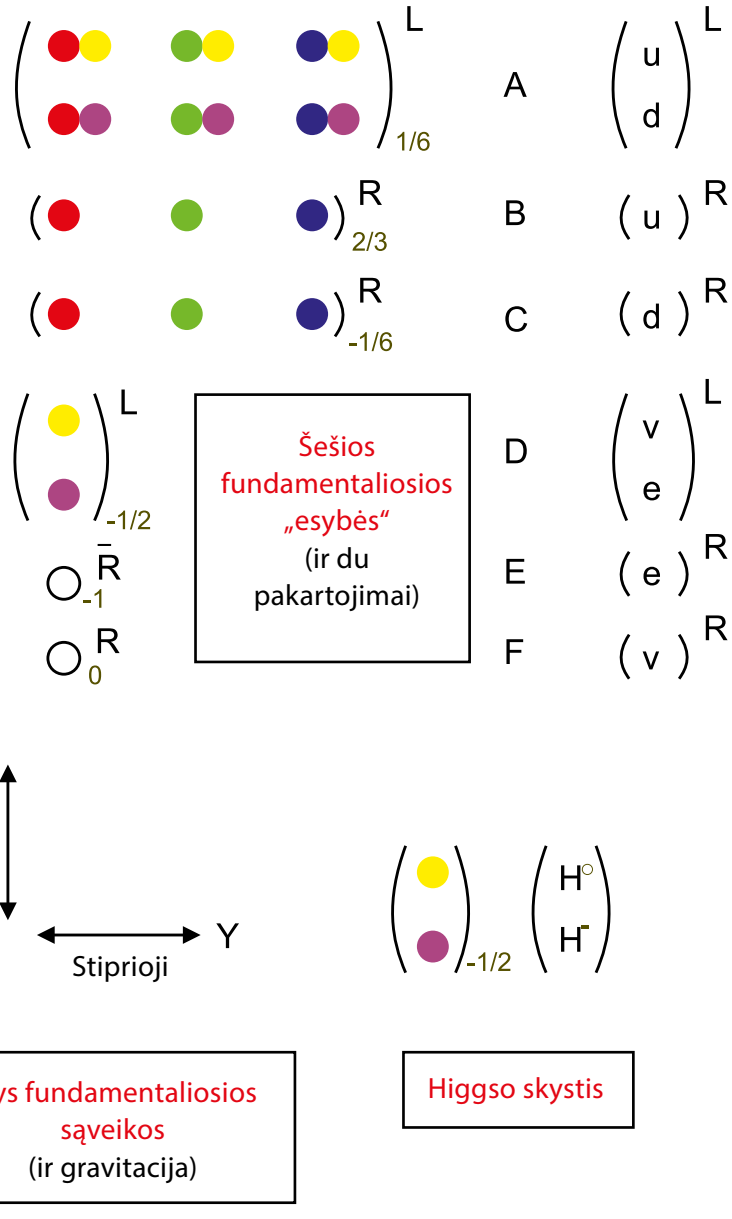
Tačiau nė viena iš šių didžių teorijų neapima procesų, per kuriuos protonai virsta neutronais, ir atvirkščiai. Ir vis dėlto tokie virsmai vyksta. Kaip galime juos nusakyti? Kad paaiškintų šiuos įvykius, fizikai turėjo šalia gravitacijos, elektromagnetizmo ir stipriosios sąveikos įvesti dar vieną sąveiką.

Šis naujas papildas, ši ketvirta fundamentalioji jėga, vadinama silpnąja sąveika. Silpnoji sąveika užbaigia mūsų dabartinį fizikos paveikslą – Pagrindų teoriją.

Gyvybė Žemėje egzistuoja dėl mažytės Saulės išspinduliuotos energijos dalelės, kurią suvokiame kaip Saulės šviesą. Saulės galia kyla iš protonų virsmo neutronais, kurio metu išsiskiria energija. Silpnoji jėga šia itin savita prasme leidžia egzistuoti gyvybei.



ILIUSTRACIJOS RR IR SS. PAGRINDŲ TEORIJOS SANTRAUKA, 1 ŽINGSNIS.



ILIUSTRACIJOS TT IR UU. PAGRINDŲ TEORIJOS SANTRAUKA, 2 ŽINGSNIS.

Silpnosios sąveikos pagrindai

Norint pateikti išsamų silpnosios jėgos aprašymą prireiktų pažinties su dviem didelėmis personažų grupėmis – su gluminančia daugybe dalelių ir ilgu atradėjų garbės sąrašu, o dėl to tektų perkratyti daugybę įvairių smulkmenų, neturinčių tiesioginio ryšio su mūsų pagrindinėmis temomis. Čia apsiribosiu dviejų trumpų, supaprastintų ryškiausių momentų, kuriuos pasirinkau dėl jų fundamentalios reikšmės ir dėl jų sąsajų su mūsų gvildenamais klausimais, aprašymu. Mūsų žinios apibendrintos spalvotose iliustracijose RR, SS, TT ir UU, kurios suteikia paspirtį, reikalingą galutinei unifikacijai įgyvendinti. Kad mūsų tolesnė kelionė būtų mažiau paini, galbūt norėsite remtis šiomis iliustracijomis.

Kvarkų virsmas. Kadangi, kaip jau aptarėme anksčiau, protonai ir neutronai yra sudėtingi deriniai, sudaryti iš fundamentalesnių kvarkų ir gliuonų, turime surasti ir fundamentalesnę virsmo „protonas ↔ neutronas“ priežastį. Giluminė struktūra, sudaranti šių virsmų pagrindą, yra šis kvarkinis procesas:

$$d \rightarrow u + e + \bar{\nu}$$

Kadangi neutronai pagrįsti kvarkų *udd* triadomis, o protonai – *uud* triadomis, kvarko virsmas $d \rightarrow u$ leidžia neutronui virsti protonu. Tokią transformaciją lydi elektrono e ir antineutrino $\bar{\nu}$ emisija. Tokiu būdu, mūsų esminė sąveika tarp kvarkų realizuojama hadronų lygmenyje kaip

$$\mathrm{n} \rightarrow \mathrm{p} + \mathrm{e} + \bar{\nu}$$

Šis lėtas skilimas (trunkantis 15 minučių) – tai izoliuotų neutronų likimas. (Kad būtų stabilūs, neutronai turi būti surišti branduolio viduje.)

Pagrindinės kvantinės mechanikos taisyklės skelbia, kad galiojančius procesus gausime ir pakeitę bet kurią dalelę jos antidalele ir perkėlę ją į priešingą reakcijos pusę, arba apsukę reakcijos rodyklę priešinga kryptimi. Taikydami šias taisykles mūsų procesui $d \rightarrow u + e + \bar{\nu}$, gauname galimybes tokių procesų kaip

$$d + \bar{u} \rightarrow e + \bar{\nu}$$
$$d + \bar{e} + \nu \leftarrow u$$

...ir daugybę kitų. Jie duoda pradžią daugeliui skirtingų branduolinio skilimo (radioaktyvumo) formų, destabilizuoja kitus hadronus, sukelia daugelį virsmų kosmologijoje ir astrofizikoje (įskaitant visų cheminių elementų iš pirmapradžio protonų ir neutronų mišinio sintezę). Galimų reakcijų pavyzdys: pirmasis iš šių procesų, $d + \bar{u} \rightarrow e + \bar{\nu}$, veda tiesiogiai prie $\bar{\pi}$ mezono (kurio pagrindą sudaro kvarko ir antikvarko pora $d\bar{u}$) skilimo į elektroną ir antineutriną.

Šališkumas ir lyginumo pažaida. Labai gilų silpnosios sąveikos aspektą, pavadintą lyginumo pažaida, 1956 m. teoriškai atrado T. D. Lee (T. D. Li) ir C. N. Yangas. Kad jį apibūdintume, turime įvesti dalelės *šališkumo* sąvoką. Ji taikoma dalelėms, kurios juda ir kartu sukasi.

Jeigu objektas sukasi aplink tam tikrą ašį, galime priskirti šiai ašiai kryptį tokiu būdu: įsivaizduokite mūsų besisukantį objektą kaip čiuožėją ant ledo. Jeigu sukantis jos dešinioji ranka juda pirmyn, į pilvo pusę, pasirenkame kryptį nuo jos kojų link galvos; jeigu sukinys jos dešiniąją ranką priartina prie nugaros, pasirenkame kryptį nuo jos galvos link kojų.

Mus dominančios dalelės turi mažą būdingą sukinį. Jos visada sukasi, tarsi nepailstančios čiuožėjos ant ledo. Galime pritaikyti joms tą pačią logiką ir gauti su jų sukiniu susijusią kryptį. Jeigu mūsų dalelė juda ta kryptimi, sakome, kad ji dešiniakryptė. Jeigu ji juda priešinga kryptimi, sakome, kad ji kairiakryptė. Kitaip tariant, dalelės šališkumas orientuoja jos sukinį jos greičio atžvilgiu.

Lee ir Yangas manė, kad kairiakrypčiai kvarkai, elektronai ir neutrinai (ir miuonai bei τ leptonai) dalyvauja silpnojoje sąveikoje lygiai taip pat, kaip ir dešiniakrypčiai antikvarkai, antielektronai (pozitronai) ir antineutrinai (taip pat antimiuonai ir anti- τ leptonai), o štai dalelės, kurių sukinio kryptingumas priešingas, to nedaro. Eksperimentai šią jų prielaidą patvirtino.

Dar vienas spalvotasis anamorfas: nuo „??“ iki „!“

Silpnosios sąveikos transformacinis aspektas ir keletas kitų specifinių aspektų pakišo Sheldonui Glashow (Šeldonui Glešou), taip pat Abdusui Salamui ir Johnui Wardui (Džonui Vordui) idėją, kad, galimas daiktas, silpnąją sąveiką taip pat galima apibūdinti kaip lokaliosios simetrijos įsikūnijimą.

Pasitelkę jau išplėtotas idėjas ir vaizdinius, galime pamatyti, kaip ta sąveika veikia. Norime, kad mūsų pagrindinis silpnasis procesas (kad būtų aiškiau, paimsime formą $u + e \rightarrow d + v$) vyktų per judesius savybių erdvėje. Kad kvarkai *u* ir *d* galėtų būti ta pati esybė įvairiose padėtyse, ir tokia pat kaip *e* ir *v*, savybių erdvė privalo turėti (mažiausiai) du matmenis. Tada galėsime peržvelgti visą mūsų procesą, kuris iš pirmo žvilgsnio apima dalių tapatybės pokyčius – to, *kas* jos yra, kaip jų vietos pokytį – to, *kur* jos yra. Tai veikiantis principas „*kas* iš *kur*“!

Teorija, pagrįsta lokaliąja simetrija, siekia toliau, parūpindama mums skystį, kuris valdo judėjimą savybių erdvėje. Pats elementariausias šio skysčio veikimas – tai, kas nutinka sukuriant arba sunaikinant pačius mažiausius jo vienetus, arba kvantus. Taigi, mūsų procesas pačiame elementariausiame kvantiniame lygyje gali vykti tokiu būdu:

u išspinduliuoja vikoną W^+ ir virsta *d* kvarku; elektronas *e* sugeria vikoną W^+ ir virsta neutrinu *v*.
Arba galimas ir kitoks variantas:

elektronas *e* išspinduliuoja vikoną W^- ir virsta neutrinu *v*; *u* kvarkas sugeria vikoną W^- ir virsta *d* kvarku.

Vikonas W^+ paprastai vadinamas W^+ bozonu, o viršutinis indeksas žymi jo elektros krūvį. Vikonas W^-, arba W^- bozonas – tai jo antidalelė. Išsiaiškinę lokaliąja simetriją pamatysite, kad egzistuoja trečias, elektriškai neutralus vikonas *Z*, arba *Z* bozonas.

Siūlydami šią lokaliąją teoriją, Glashow, Salamas ir Wardas vadovavosi mūsų jėzuitišku šūkiu „daugiau palaimos vertas tas, kuris prašo atleidimo, o ne leidimo“, nes apgalvotai ignoravo kitą Yango ir Millso teorijos aspektą.

Yango ir Millso teorijos lokalioji simetrija reikalauja, kad W^+, W^- ir *Z* turėtų *nulinę masę*. Visos atitinkamos nulinės masės prognozės gravitonams, fotonams ir spalvotiesiems gliuonams atitinka tikrovę ir taip nulemia didžiulę lokaliosios simetrijos sėkmę. Tačiau silpnosios sąveikos teorijoje ši prognozė neveikia. Jeigu vikonai turėtų nulinę masę, jie būtų lengvai matomi (kaip ir fotonai) per susidūrimus greitintuvuose arba per chemines reakcijas. Iš esmės, silpnoji sąveika nebūtų silpnoji!

Trumpai kalbant, silpnosios sąveikos atveju lokalioji simetrija atrodo pernelyg gerai, kad būtų tiesa.

Kad suderintume Idealų su Realiu, turime įvesti dar vieną idėją – ir ji graži! Nauja idėja – tai *savaiminė* simetrijos pažaida, kurią šiame kontekste pasiūlė Robertas Broutas (Brautas) ir François Englert'as (Fransua Engleras) ir nepriklausomai nuo jų Peteris Higgsas (Piteris Higgsas), taip pat Geraldas (Džeraldas) Guralnikas, Carlas (Karlas) Hagenas ir Tomas Kibble (Kiblas). Ji leidžia mums vienu metu pyragaitį ir suvalgyti, ir išsaugoti. Kalbant tiksliau, galime išsaugoti lokaliosios simetrijos lygtis su jos puikiu silpnosios sąveikos principu „*kas* iš *kur*“, leisdami bozonams turėti nenulinę masę, kaip ir buvo stebėta. Toliau išsamiau gvildensime jų drąsią ir galingą idėją po privalomo istorinio etiudo, kuris tinkamu būdu užbaigia mūsų pasakojimą apie silpnąją sąveiką kaip tokią.

Kaip tik Stevenas Weinbergas susintetino šias dvi minties linijas – simetriją ir simetrijos pažaidą – kurdamas visus tenkinančią silpnosios sąveikos teoriją, kuri įtraukta į šiuolaikinę Pagrindų teoriją. Tačiau iš pradžių buvo visai neaišku, ar ši teorija suteiks teisingus arba bent jau ribotus atsakymus, jeigu bus atsižvelgta į kvantinius svyravimus. Gerardusas 't Hooftas ('t Hoftas) ir Martinusas Veltmanas pademonstravo, kad suteiks, ir pristatė skaičiavimo metodus, dėl kurių ši teorija tapo dar tikslesnė ir naudingesnė. Freemanas Dysonas (Frimanas Daisonas) anksčiau panašiai papildė kvantinę chromodinamiką, ką padaryti jam buvo žymiai lengviau (nors vis tiek pakankamai sunku).

HIGGSO SKYSTIS, HIGGSO LAUKAS, HIGGSO DALELĖ

Vienoje vandens užtvindytoje planetoje tolimoje galaktikoje žuvys evoliucionavo taip, kad tapo protingomis būtybėmis – tiek protingomis, kad kai kurios jų tapo fizikais ir pradėjo tyrinėti, kaip juda kūnai. Iš pradžių žuvys išplėtojo labai sudėtingus judėjimo dėsnius, nes (kaip *mes* žinome) kūnų judėjimas vandenyje ganėtinai sudėtingas. Tačiau kartą geniali žuvis – Žuvis Niutonas pareiškė, kad pagrindiniai judėjimo dėsniai žymiai paprastesni ir gražesni: iš esmės – tai Niutono judėjimo dėsniai. Žuvis iškėlė prielaidą, kad stebimas judėjimas atrodo sudėtingas dėl pasaulį užpildžiusios medžiagos – pavadinkime ją „vandeniu“ – poveikio. Žuvims galiausiai pavyko išskirti vandens molekules ir taip patvirtini Žuvies Niutono teoriją.

Remiantis Higgso mechanizmu, esame panašūs į tokias žuvis. Mes panardinti į kosminį vandenyną, kuris apsunkina stebimus fizikos dėsnius.

Lygtys dalelėms su nuline mase, įskaitant Maksvelo lygtis, Yango ir Millso lygtis bei Einšteino lygtis bendrajai reliatyvumo teorijai, yra ypač gražios. Kaip jau kalbėjome, jos gali užtikrinti didžiulį kiekį simetrijos – lokaliosios simetrijos. Fotonai turi nulinę masę, taip pat kaip ir spalvotieji gliuonai pagal kvantinę chromodinamiką ir gravitonai pagal gravitacijos teoriją. Kad turėtume gražias lygtis ir kad mūsų Gamtos apibūdinimas būtų tolygus, norėtume sukurti pasaulį iš nulinės masės konstrukcinių blokų.

Deja, keleto rūšių elementariosios dalelės atsisako pataikauti mūsų troškimams. Antai silpnosioms sąveikoms tarpininkaujantys bozonai W ir Z turi solidžias mases. (Kaip tik dėl to esant žemoms energijoms silpnosios sąveikos yra artisiekės ir veikia silpnai.) Jų masės kelia apmaudą, nes kitais atžvilgiais, kaip ką tik matėme, bozonai W ir Z nuostabiai panašūs į fotonus.

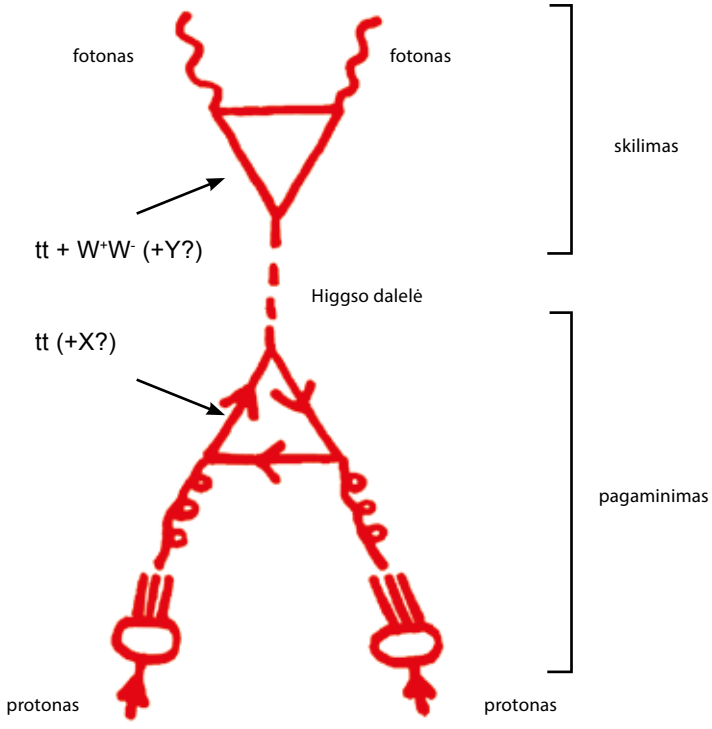
Ar galima šią kliūtį įveikti? Būtina atsižvelgti į tai, kad fotonų elgesį gali veikti medžiagos, per kurią jie juda, savybės. Pažįstamas pavyzdys: šviesa, pereidama per stiklą arba vandenį, sulėtėja. Tokį reiškinį, kai šviesa tampa „vangesnė“ nei paprastai, galima grubiai prilyginti atvejui, kai šviesa įgyja inercijos. Mažiau žinomas, tačiau mūsų dabartinių tikslų atžvilgiu gilesnis pavyzdys – fotonų elgesys superlaidininkuose. Lygtys, kurios apibūdina fotonus superlaidininkuose, yra *matematiškai identiškos* lygtims, apibūdinančioms masyvias daleles. Superlaidininko viduje fotonai efektyviai tampa dalelėmis su nuline mase.

Higgso mechanizmo esmė glūdi idėjoje, kad „tuščia erdvė“ – kitaip tariant, erdvė, neturinti dalelių ir spinduliuotės – iš tikrųjų yra pripildyta medžiaginės terpės, kuri paverčia bozonus W ir Z masyviomis dalelėmis. Ši idėja leidžia mums išsaugoti gražias lygtis bemasėms dalelėms atiduodant tinkamą pagarbą tikrovės nuomonei. Taigi, mums reikalinga medžiaga, kuri daro bozonams W ir Z tą patį, ką fotonams daro superlaidininkai. Be to, hipotetinė kosminė terpė turi kurti mases žymiai didesniu mastu: bozonų W ir Z masės (ne)tuščioje erdvėje yra maždaug 10^{16} kartų didesnės nei fotonų masės superlaidininkuose.

Fizikai jau daug metų remiasi Higgso mechanizmu ir juo naudodamiesi skina šlovę po šlovės. Daugelį bozonų W ir Z sąveikos aspektų, neskaitant jų masės, pavyko tiksliai numatyti naudojantis gražiomis masės neturinčių dalelių ir kalibravimo simetrijos lygtimis su jų padariniais, modifikuotais erdvės užpildančios medžiagos. Tokiu būdu sukaupėme storą patikimų faktų bylą, patvirtinančią mūsų nuosavo „kosminio vandenyno“ egzistavimą. Tačiau galiausiai ši versija buvo pagrįsta netiesioginiais įrodymais. Nebuvo jokio aiškaus atsakymo į akivaizdų klausimą: iš ko jis sudarytas?

Jokia žinoma medžiaga negalėjo būti kosminiu vandenynu. Joks žinomų kvarkų, leptonų, gliuonų ar kitų dalelių derinys neturėjo tam reikalingų savybių. Reikėjo kažko naujo.

Iš esmės, kosminį Higgso vandenyną galėjo sudaryti kelios medžiagos, ir visos šios medžiagos taip pat galėjo būti sudėtinės. Teorinėje elementariųjų dalelių fizikoje galima rasti šimtus, jei ne tūkstančius, tokio pobūdžio prielaidų. Tačiau tarp visų logiškų galimybių egzistuoja vadinamasis minimalus modelis – pats paprasčiausias ir pats ekonomiškiausias. Šiame minimaliame modelyje kosminę medžiagą sudaro tik vienas komponentas. Nors šioje srityje vartojama terminija kartu ir paini, ir nuolat besikeičianti, čia, kai kalbu apie „Higgso dalelę“, turiu omenyje unikalią naują dalelę, kuri buvo įvesta tam, kad užbaigtų minimalų modelį.



36 PAV. ŠIAME PIEŠINĖLYJE PAVAIZDUOTAS PROCESAS, PER KURĮ PASITELKUS GLIUONUS BUVO IŠGAUTA IR PIRMĄ KARTĄ STEBĖTA EKSPERIMENTIŠKAI HIGGSO DALELĖ. TAI PUIKI DEMONSTRACIJA TO, KAIP IŠVIEN VEIKIA DAUGELIS PAGRINDŲ TEORIJOS ASPEKTŲ IR GILUMINIAI KVANTINĖS TEORIJOS PRINCIPAI.

Galime padaryti daugybę išvadų apie tai, kaip Higgso dalelė sąveikauja su kitomis medžiagos formomis. Nepaisant visko, būdami šio kosminio vandenyno viduje, mes visi nuo neatmenamų laikų *masiškai* stebime Higgso dalelių savybes. Faktiškai visos šios dalelės savybės nuspėjamos vieninteliu būdu, kai tik tampa žinoma jos masė. Pavyzdžiui, tiek jos sukinys, tiek elektros krūvis turi būti lygūs nuliui, nes ji turi atrodyti kaip „nieko“ kvantas. Žinojome, ko ieškome, todėl mums pavyko sukurti protingą Higgso dalelės paieškų strategiją. Pagrindinis procesas, kurį pasitelkus buvo atrasta Higgso dalelė, pavaizduotas 36 pav.

Pirmasis žingsnis – sukurti šią dalelę. Vyraujantis jos pagaminimo mechanizmas ganėtinai įsimintinas. Įprastos medžiagos ryšys su Higgso dalele H labai silpnas. (Kaip tik dėl to elektronai ir protonai gali būti žymiai lengvesni nei W ir Z – jie nejaučia jos pasipriešinimo.) Iš tikrųjų vyraujanti sąraiša atsiranda ne tiesiogiai, o dėl „gliuonų susiliejimo“ šalutinio proceso. Ir šį procesą aptikau 1976 m. Jis parodytas 36 pav. apačioje.

Gliuonai nesijungia su Higgso dalele tiesiogiai. Jų sąveika – grynai kvantinis reiškinys. Kvantinei mechanikai būdingi savaiminiai svyravimai, arba „virtualiosios dalelės“. Paprastai tokie svyravimai atsiranda ir išnyksta be jokio pastebimo rezultato, išskyrus jų poveikį gretimoms tikrosioms dalelėms. Vykstant pačiam svarbiausiam gliuonų susiliejimo procesui, gliuonai įšvirkščia energijos virtualiajai porai, kurią sudaro viršūninis kvarkas t ir antiviršūninis antikvarkas $\bar{t}$. Kvarkas t ir antikvarkas $\bar{t}$ stipriai sąveikauja su Higgso dalele – tai pagrindinė priežastis, dėl ko jie sunkūs – taigi, egzistuoja didelė galimybė, kad prieš išnykdami jie „pagimdys“ tą dalelę.

Pats veiksmingiausias būdas išgauti iš susiduriančių protonų Higgso dalelę – pasiekti, kad susidurtų du gliuonai, po vieną nuo kiekvieno protono. Likusieji protonai materializuojasi kaip netvarkingas fonas, kuriame paprastai esti tuzinai dalelių.

H suskilimas į du fotonus ($H \to \gamma\gamma$), parodytas arčiau viršutinės 36 pav. dalies, vyksta labai panašiu būdu. Fotonai tiesiogiai su Higgso dalele nesijungia, jungiasi tik per virtualiąsias $\bar{t}$ t ir W^+ W^- poras. Nors tai ganėtinai reta skilimo rūšis, ji buvo svarbiausia H dalelės atradimui, nes eksperimentiniu požiūriu ji turi du didelius privalumus.

Pirmasis privalumas – didelės energijos fotonų energiją ir judesio kiekį galima gana tiksliai išmatuoti. Kad nustatytume fotonų poros „efektyviąją masę“, galime juos sujungti, remdamiesi specialiosios reliatyvumo teorijos kinematika. Jeigu fotonai iš šios poros atsirado skilus dalelei su mase M, jų efektyvioji masė bus lygi M.

Antrasis privalumas – didelės energijos fotonų poras ganėtinai sunku sukurti taikant eilinius procesus (nesusijusius su Higgso dalele), todėl fonas gan lengvai suvaldomas.

Išnaudodami abu šiuos privalumus, eksperimentuotojai sukūrė paieškų strategiją: išmatuoti daugelio fotonų porų efektyviąsias mases ir ieškoti būdų padidinti vieną konkrečią vertę gretimų verčių atžvilgiu.

Ir – trumpai kalbant – jiems pasisekė!

O štai ir premija: kadangi foną galima patikimai apskaičiuoti, sustiprinimo dydis fono atžvilgiu suteikia H susidarymo dažnio matą, padaugintą iš šakojimosi koeficiento – į porą $\gamma\gamma$. Tada galima patikrinti, ar išmatuotas sustiprinimas derinasi su minimalios H vertės prognozėmis. Tai ypač įdomu, nes šie dažniai atveria naują langą į nežinomybę. Juk gali egzistuoti ir kitos sunkiosios dalelės, kol kas niekieno nestebėtos, tačiau įnešančios tam tikrą indėlį savo virtualiąja forma! Kol kas stebėjimų rezultatai patvirtina tik minimalų modelį be jokių „puošmenų“, tačiau didesnis tikslumas kartu ir pasiekiamas, ir labai pageidautinas.

Užburiantis vakaras

Iki pat dešimtos valandos vakaro (arba maždaug iki tada) ta 1976 m. vasaros diena, kaip vėliau paaiškėjo, pati produktyviausia mano mokslinės karjeros diena, neatrodė daug žadanti. Mano jauniausiajai dukrai Amity (Emiti) skaudėjo ausį, ji visą dieną buvo nervinga, kaprizinga ir reikalavo dėmesio. Mudu su Betsy, nepatyrę tėvai, neseniai atvykę į mums nepažįstamą improvizuotą *Fermilab* kaimelį, stengėmės iš visų jėgų. Atėjus tamsiai, Vidurio Vakarams būdingai nakčiai išsekusi Amity, o kiek vėliau ir Betsy, užmigo. Jos buvo panašios į ramybės angelus.

Budrumas ir energija, kurių reikėjo, kad susidoročiau su mažų krizių virtine, vis dar buvo manyje, nors pačios krizės jau buvo praėjusios. Kad sumažinčiau mane kaustančią įtampą, kaip kad esu įpratęs tokiais atvejais, nutariau išeiti pasivaikščioti. Naktis buvo giedra ir šviesi; dangus žėrėjo; horizonto linija tolumoje buvo nepaprastai aiški; ir netgi žemė, apšviesta mėnesienos, buvo pasakiškai nuostabi. Su žemiškųjų angelų atvaizdais, kurie vis dar buvo manyje, supamas nežemiško reginio staiga pajutau nepaprastą dvasios pakilimą. Tai buvo metas, skirtas didingoms mintims.

Per keletą ankstesnių metų silpnosios, stipriosios ir elektromagnetinės

sąveikų teorijos, pagrįstos lokaliąja simetrija, iš drąsaus nuotykio virto visuotinai įprasta išmintimi. Apgalvojus šią situaciją, man atėjo į galvą mintis, kad tuo metu, kai įvairūs kvarkai, leptonai, gliuonai ir vikonai – jau nekalbant apie fotonus – atsidūrė dėmesio centre ir tapo gerai apgalvotų eksperimentinių programų svarbiausia dalimi, simetrijos pažaida liko palyginti menkai ištirta. Nebuvo netgi įtikinamo pasiūlymo patikrinti patį paprasčiausią „minimalų“ modelį su vienintele Higgso dalele, kaip aprašyta anksčiau.

Pagrindinė problema paprasta: Higgso dalelei šiame modelyje patinka jungtis su sunkiosiomis dalelėmis, tačiau stabiliosios medžiagos dalelės, kurias galime tyrinėti tiesiogiai arba greitintuvuose, labai lengvos. Spalvotųjų gliuonų, kaip ir fotonų, masė nulinė, tuo tarpu u ir d kvarkai ir elektronai nežymią masę turi.

Tačiau neseniai (priminsiu, jog kalbama apie 1976 m.) buvo kilęs didžiulis susidomėjimas sunkesniais kvarkais. Žavusis kvarkas c buvo dar visai neseniai atrastas, ir buvo daugybė svarių priežasčių įtarti, kad egzistuoja dvi papildomos, dar sunkesnės kvarkų rūšys. (Ir jos iš tiesų egzistuoja. Gelminis kvarkas b buvo aptiktas gana greitai, 1977 m., tuo tarpu viršūninis kvarkas tik 1995 m. Jiems jau buvo duoti vardai, ir jų savybės – su vienintele išimtimi jų masės pavidalu – buvo apskaičiuotos dar iki tol, kol jų egzistavimas buvo patvirtintas eksperimentiškai.) Todėl buvo logiška apsvarstyti, ar nauji sunkesnieji kvarkai galėtų atverti vartus, pro kuriuos galėtume nusigauti iki Higgso dalelės. Iš karto supratau, jog tai įmanoma. Galima taikyti tas pačias gudrybes, kurios leido pasiekti sėkmę su žaviaisiais kvarkais, kad būtų sukurti mezonai, pagrįsti $\bar{b}b$ arba $\bar{t}t$. Šie sunkesni kvarkai energingai poruosis su Higgso dalelėmis. Jeigu aplinkybės susiklostys palankiai – kalbant iš esmės, jeigu sunkieji kvarkai turės daugiau masės, nei pusė Higgso dalelės masės – tada šiems mezonams skylant atsiras Higgso dalelės. Tąnakt patyriau pirmą svarbų minties nušvitimą.

Dabar beliko apgalvoti konkuruojančius skilimus (be Higgso dalelių) – juk jie gali vyrauti ir paversti visą reikalą grynai akademiniu. Viena iš pačių svarbiausių galimybių, kurias reikėjo apsvarstyti, buvo spalvotųjų gliuonų skilimas. Negalėjau mintyse visko tiksliai sudėlioti, tačiau apytikriais skaičiavimais, atrodė, kad viskas gerai. (Iš tikrųjų taip ir yra.) O dar svarbiau,

kad tai pakišo man mintį: jeigu sunkūs kvarkai gali rištis su Higgso dalelėmis *ir* gliuonais, vadinasi, jie leidžia susieti gliuonus su Higgso dalelėmis! Ir tą akimirką mano galvoje gimė esminis procesas, kurį matote 36 pav. apačioje. Ir vėlgi, tikslūs skaičiavimai būtų tikra kankynė, tačiau, mintyse greitai atlikęs keletą apytikslių skaičiavimų, gavau gana viltingus rezultatus. Iš esmės, supratau, kad net jeigu trūkstami kvarkai būtų labai sunkūs, jie vis tiek įneštų savo indėlį – ir jeigu egzistuotų dar sunkesni kvarkai, jie taip pat dalyvautų šiame procese. Man iš karto tapo aišku, kad tai pagrindinis būdas, kuriuo Higgso dalelės gali susijungti su stabilia medžiaga. Čia atsivėrė daug žadantis langas į nežinomybę. Tai buvo antrasis svarbus nušvitimas, tąnakt aplankęs mane.

Tuo metu priėjau laboratoriją ir nusprendžiau pasukti atgal. Minimalaus Higgso modelio apmąstymai buvo sėkmingi, todėl norėjau apgalvoti, kaip naujas idėjas galima pritaikyti sudėtingesnėms jo versijoms. Pokyčius galima lengvai plėtoti toliau bet kuriuo konkrečiu atveju, todėl ėmiau mąstyti apie tai, kokias komplikacijas būtų visų įdomiausia aptarti. Ypač įdomi idėja – tam tikros papildomos simetrijos, kurią galima spontaniškai pažeisti, egzistavimas. Tai gali atvesti prie naujų masės neturinčių dalelių atsiradimo – fantastiška galimybė! Toks buvo mano trečiasis praregėjimas tą naktį.

Prinstone, kuriame iki tol dėsčiau ištisus metus, tam tikri objektai, kuriuos pavadinome instantonais – jų čia net nemėginsiu paaiškinti – sukėlė visuotinį susijaudinimą. Instantonai pažeidžia simetriją ypač įdomiais būdais, tad pagalvojau, kad juos taip pat būtų pravartu įtraukti – turėčiau kažką tokio, apie ką galėčiau papasakoti kolegoms ir apie ką jiems būtų įdomu išgirsti. Miglotai jaučiau: dalelė, kuri priešingu atveju būtų bemasė, pagal mano trečiąjį praregėjimą, įgis labai mažą masę ir turės kitų įdomių savybių. Tai buvo mano ketvirtasis svarbus tos nakties praregėjimas, parvedęs mane namo.

Šių keturių nušvitimų likimas skirtingas. Pirmajam tiesiog nepasisekė. Gelminis *b* kvarkas, palyginti su Higgso dalele, nėra pakankamai sunkus, o viršūninis *t* kvarkas toks sunkus ir nestabilus, kad jo mezonai niekam tikę.

Antrasis nušvitimas – tai vienas iš mano laimėjimų, kuriais didžiuojuosi

labiausiai. Daugiau nei 30 metų Higgso dalelės atradimo atžvilgiu jis buvo ypač svarbus, kaip kad aprašyta 36 pav. ir jį paaiškinančiame tekste.

Trečiasis dar nedavė rezultatų, tačiau tebėra labai įdomus. Galiausiai, pavadinau šias masės neturinčias daleles *familonais*, ir jų vis dar ieškoma.

Ketvirtasis mane aplankęs nušvitimas pasirodė esąs visų įdomiausias, o galbūt ir pats svarbiausias. Kitą dieną grįžęs į laboratoriją ir peržvelgęs literatūrą šia tema, atradau labai įdomų Roberto Peccei (Pečio) ir Helen Quinn (Kvin) straipsnį. Jame jie aptarė modelį, labai panašų į tą, kurį apmąsčiau aš, ir atkreipė dėmesį į tai, kad jis galėjo išspręsti labai svarbią problemą, vadinamąją problemą θ. Šio modelio esmė tokia: egzistuoja skaičius θ, kuris, remiantis Pagrindų teorija, gali turėti bet kokią reikšmę tarp $-\pi$ ir π, tačiau, kaip rodo stebėjimai, jis labai mažas. Tai arba sutapimas, arba ženklas, kad Pagrindų teorija nepilna. Peccei ir Quinn modelyje šis „sutapimas“ aiškinamas kaip naujos (spontaniškai pažeistos) simetrijos likinys. Tačiau Peccei ir Quinn savo modelyje nepastebėjo naujos lengvos dalelės! Todėl man teko garbė suteikti jai vardą. Keleriais metais anksčiau buvau atkreipęs dėmesį į vieną ploviklį, kurio pavadinimas *Axion* man pasirodė labai tinkamas dalelei. Nusprendžiau, kad jeigu tik turėsiu progą, taip pavadinsiu dalelę. Šalia kitų savybių, problemai θ buvo būdinga ir *aksialinė* srovė. Man tai suteikė landą, kuria pasinaudojęs galėjau šį pavadinimą prastumti nepastebėtą budrių ir konservatyvių žurnalo *Physical Review Letters* redaktorių, ką ir sėkmingai padariau. (Stevenas Weinbergas taip pat pastebėjo šią dalelę, nepriklausomai nuo manęs. Jis ketino ją pavadinti *higletu*. Galų gale, šlovė Viešpačiui, sutarėme dalelę pavadinti *aksionu*.)

Aksiono istorija ilga, paini ir vis dar nesibaigė. Nuolat grįždamas prie šios temos, sukūriau jo gimimo ankstyvoje visatoje teoriją ir pasiūliau galimą aksionų fono, analogiško plačiai žinomam mikrobanginiam fonui, egzistavimo idėją. Remiantis šiuo darbu, stebėti aksioninį foną bus sunku, tačiau visiškai įmanoma. Bebaimių puikių eksperimentuotojų komanda tęsia aktyvias paieškas. Galbūt jau labai greitai aksionas nusipelnys atskiros knygos, nes jis – pagrindinis raktas į visatos juodosios medžiagos paslaptį. O gal jis išvis neegzistuoja? Laikas parodys.

4 DALIS. APIBENDRINIMAS

Sąveikų ir esybių surašymas

Turime keturias fundamentaliąsias sąveikas: gravitaciją, elektromagnetizmą, stipriąją sąveiką ir silpnąją sąveiką. Visos jos teoriškai apibūdinamos pasitelkus lokaliąją simetriją. Gravitacijos teorija, arba Einšteino bendroji reliatyvumo teorija, pagrįsta erdvėlaikio lokaliąja simetrija, tuo tarpu kitų trijų sąveikų teorijos pagrįstos savybių erdvių lokaliąja simetrija.

Bendroji reliatyvumo teorija – turininga teorija, ir ją išties sunku įsisavinti. Tačiau ji pagrįsta sąveika tarp įprasto erdvėlaikio ir energijos judesio kiekio – universalių sąvokų, kurioms nereikalingas išsamus apibūdinimas mūsų apraše. Todėl tikrai nesielgiame nepagarbiai šios sąveikos atžvilgiu pavadindami ją vieninteliu žodžiu – „gravitacija“.

Medžiagos elgesį kitų trijų sąveikų atžvilgiu nulemia srautai savybių erdvėse, todėl tam, kad tinkamai apibūdintume medžiagą, turime apibūdinti geometriją, kurioje ji „gyvena“. Tą padarysiu dviem etapais, kurie atvaizduoti spalvotose iliustracijose RR, SS, TT ir UU. Pirmajame etape praleidau keletą komplikacijų, prie kurių sugrįžau antrajame etape.

Pažvelgę į iliustracijas RR ir SS pamatysite šešis skirtingus blokus. Blokų viduje įrašyti dalelių pavadinimai: *u* ir *d* kvarkai trimis spalvomis (pavyzdžiui, raudonas, žalias ir mėlynas *u* kvarkai) ir leptonai *e* ir *v* (elektronas ir neutrinas). Galimą medžiagos savybių erdvę kiekvienas blokas koduoja tam tikru būdu, kurį netrukus aprašysime. Tokiu būdu šie šeši blokai reiškia šešias skirtingas medžiagos rūšis, kurios užima skirtingas savybių erdves. Kai kurie blokai apima kelių skirtingų rūšių daleles, o pats didžiausias blokas (blokas *A*) jų turi šešias. Mūsų požiūriu – o dar svarbiau, sąveikų požiūriu – skirtingos dalelės viename bloke iš tikrųjų yra viena ir ta pati esybė, stebima iš skirtingų padėčių savybių erdvėje. Mūsų aprašas apima 16 skirtingų rūšių dalelių – stulbinamai didelį mūsų pasaulio elementariųjų sudedamųjų dalių skaičių! Tačiau įsigilinę pamatysime, kad šios 16 dalelių iš esmės atitinka 6 skirtingas *esybes* – žymiai mažiau (bet vis dar pernelyg daug... mums labiau pasiseks kitame skyriuje).

Horizontalia kryptimi atvaizduojame tris stipriojo krūvio erdvės matmenis (arba „spalvas“). Blokai, turintys tris skiltis (*A, B* ir *C*), atitinka esybes, kurios gali judėti trimatėje stipriojo krūvio savybių erdvėje. Vertikalia kryptimi išdėstėme silpnojo krūvio erdvės matmenis. Blokai, turintys dvi skiltis (*A* ir *D*), atitinka esybes, kurios gali judėti dvimatėje silpnojo krūvio savybių erdvėje.

Esybė, kurią atitinka blokas *A*, gali judėti savarankiškai abiem būdais, vadinasi, gali atitikti 3 × 2 = 6 savybių matmenis.

Skaičiai šalia kiekvieno bloko atitinka jo vienmatės elektrinio krūvio savybių erdvės mastą.*

Galų gale, viršutiniai indeksai *L* ir *R* reiškia kairę ir dešinę puses. Lee ir Yangas pademonstravo mums, kad silpnojoje sąveikoje dalyvauja tik kairieji kvarkai ir leptonai. Mūsų apraše tą galima suprasti iš fakto, kad tik blokai su viršutiniu indeksu *L* turi dvi eilutes. Kiekviena dalelė sutinkama tiek kairiojoje, tiek dešiniojoje formoje, tačiau skirtinguose blokuose.

Blokas *F* ypač įdomus. Jame tik vienas įrašas: dešinysis neutrinas v_R.Jis neturi nei stipriojo, nei silpnojo, nei elektromagnetinio krūvio – taigi, yra nematomas visoms negravitacinėms sąveikoms. v_R neturi prieigos prie savybių erdvės, tad turi tenkintis galimybe judėti įprastu erdvėlaikiu.

Tuo ir baigėme pirmąjį mūsų aprašo etapą.

Šeimų pripažinimas

Kad užbaigtume savo Pagrindų teorijos aprašą, turime pridėti dar porą komponentų, kaip parodyta iliustracijose TT ir UU (kur taip pat paminėjau gravitaciją).

Pirmasis komponentas – tai Higgso skystis. Pagal minimaliąją Pagrindų teorijos versiją (kuri, kaip kad aptarėme, visiškai atitinka tikrovę), Higgso skystis jaučia silpnąsias sąveikas, tačiau nejaučia stipriųjų sąveikų. Atitinkamai, jis užima dvimatę savybių erdvę, kaip parodyta iliustracijose TT ir UU.

* Kalbant tiksliau, tai vadinamoji hiperkrūvio savybių erdvė. Išsamesnį šio klausimo ir keleto kitų techninių terminų aptarimą rasite skyriuje *Terminų žodynas* ir knygos gale pateiktose pastabose.

Kitas komponentas – tai paslaptingas viso medžiagos sektoriaus patrigubinimas. Kartu su mūsų iki šiol minimais kvarkais ir leptonais – vadinamąja pirmąja šeima – egzistuoja ir antroji bei trečioji šeimos. Jos užpildo tokios pat rūšies blokus, tačiau jau naujais „gyventojais“, kaip parodyta šioje lentelėje:

Pirmasis	Antrasis	Trečiasis
u	c	t
d	s	b
e	μ	τ
v_e	v_μ	v_τ

Taigi, kaip papildymą kylančiajam kvarkui u turime žavųjį kvarką c ir viršūninį kvarką t; kaip papildymą krintančiajam kvarkui d – keistąjį kvarką s ir gelminį kvarką b; kaip papildymą elekronui e turime miuonus μ ir tau leptonus τ; ir kaip papildymą elektroniniam neutrinui v_e turime miuoną ir neutriną v_μ ir v_τ. (Dabar turime pridėti apatinius indeksus, kad atskirtume vieną nuo kito skirtingus neutrinus.)

Antroji ir trečioji šeimos mūsų dabartiniame gamtiniame pasaulyje atlieka labai ribotą vaidmenį.

Tačiau jos išties egzistuoja, ir jų egzistavimas iškelia tam tikras teorines problemas – problemas, kurių iki šiol nepavyko išspręsti. Pavyzdžiui, dalelių masės apima platų diapazoną, nedemonstruodamos jokio akivaizdaus modelio. Jų silpni skilimai sukelia daug papildomų problemų, įvesdami apie tuziną pataisos koeficientų, kurių reikšmių kol kas nepavyko teoriškai apskaičiuoti. (Jeigu kada nors pajusite poreikį nusodinti fiziką, kuris postringauja apie jo paties sukurtą „Visko teoriją“, tiesiog paklauskite jo apie Cabibbo* (Kabibo) kampą.

Knygos skyriuje *Pastabos* išaiškinau kai kurias šių „šeimyninių“ nesklandumų smulkmenas ir pateikiau keletą nuorodų, leisiančių jums sužinoti daugiau. Likusioje šios meditacijos dalyje sutelksime dėmesį į tuos fizikinės realybės aspektus, kuriais grožis dar labiau išryškėja.

* Nicola Cabbibo (1935 – 2010), italų fizikas, tyrinėjęs silpnąją sąveiką. *Vert. pastaba*.

PRADŽIOS PABAIGA

Jau aptarėme visus Pagrindų teorijos aspektus: Maksvelo elektromagnetizmą, kvantinę chromodinamiką ir (kiek schematiškiau) silpnąją sąveiką ir gravitaciją, taip pat sudarėme objektų, kuriuos šie aspektai veikia, aprašą.

Pagrindų teorija suteikia išsamų ir kovoje išmėgintą matematinį paaiškinimą to, kaip subatominės dalelės jungiasi, kad sudarytų atomus, kaip atomai jungiasi, kad sudarytų molekules, o molekulės – kad sudarytų medžiagas, ir kaip visa tai sąveikauja su šviesa ir spinduliuote. Jos lygtys visapusiškos – ir tuo pačiu ekonomiškos; simetriškos – ir vis tiek pagardintos įdomiomis detalėmis; griežtos – ir vis tiek neįprastai gražios. Pagrindų teorija suteikia tvirtą pagrindą astrofizikai, medžiagotyrai, chemijai ir fizinei biologijai.

Taigi, iš esmės atsakėme į mūsų Klausimą. Pasaulis, kol kalbame apie chemijos, biologijos, astrofizikos, technologijų kūrimo ir kasdienio gyvenimo pasaulį, *iš tiesų* įkūnija gražias idėjas. Kaip matėme, Pagrindų teorija, kuri valdo šias sritis, giliai įsišaknijusi į simetrijos ir geometrijos sąvokas. Ji ir kvantinėje teorijoje elgiasi pagal savo įnorius, pagal taisykles, kurios panašios į muzikos taisykles. Simetrija iš tiesų nulemia struktūrą. Gryna ir tobula Sferų muzika iš tikrųjų atgaivina realybės sielą. Platone ir Pitagore, sveikiname jus!

Ir vis dėlto jaučiu, kad atsakymas, kurį kol kas gavome, dviem atžvilgiais atveda mus ne į mūsų paieškų pabaigą, o tik į pradžios pabaigą.

Visų pirma, liko ir neišspręstų klausimų.

Kaip jau minėjau, esama tam tikrų šeimyninių problemų. Ir astronomai, atrasdami juodąją medžiagą ir juodąją energiją, padarė mums meškos paslaugą. Paaiškėjo, kad mūsų nuostabi teorija apima tik 4 % visos visatos masės! (Žinoma, svoris – dar ne viskas, bet vis dėlto...)

Pažvelgę giliau pamatysime, kad mūsų nuostabūs atsakymai suteikia mums galios įsivaizduoti naujus, ambicingus klausimus ir ieškoti į juos atsakymų. Ir labiausia mums rūpi šis klausimas: ar Pagrindų teorijos nesugretinamos dalys nėra kilusios iš gilesnės vienovės? Likusioje mūsų meditacijos

dalyje aptarsime šį klausimą, ir (manau) pateiksime į jį pirmuosius daug žadančius atsakymus.

Antra, prieš mus atviros durys.

Iš esmės pasiekę suvokimą to, kas *yra* medžiaga, atsidūrėme padėtyje šachmatų žaidimo taisykles perpratusio vaiko arba pradedančiojo muzikanto, kuris ką tik išsiaiškino, kokius garsus gali išgauti iš savo instrumento. Tokios pamatinės žinios – tik pasirengimas meistrystei, o ne pati meistrystė.

Ar galime, pasitelkę vaizduotę ir skaičiavimus, o ne bandymų ir klaidų metodą, kurti ateities medžiagas? Ar galime sugauti pranešimus, kuriuos visata transliuoja gravitacijos bangomis, neutrinais ir aksionais? Ar galime ištyrinėti žmogaus protą, molekulė po molekulės, ir sistemingai jį tobulinti? Ar galime sukonstruoti kvantinius kompiuterius ir jų padedami sukurti išties svetimas mums intelekto formas? Užduoti tokius klausimus – vadinasi, vieno Aukso amžiaus brandume atrasti naujų aukso amžių sėklas.

SIMETRIJA III

EMI NĖTER – LAIKAS, ENERGIJA, NUOVOKUMAS

Apskritai tariant, simetrija – tai Pokytis be pokyčio. Tačiau kaip tik nuostabioji Emi Nėter (1882 – 1935) nustatė glaudų ryšį tarp fizikos dėsnių *matematinės* simetrijos ir konkrečių *fizikinių* dydžių, kurie nekinta, egzistavimo. Frazė „*X* bėgant laikui nekinta“ pernelyg ilga ir turi neigiamą prasmę, todėl įprastai ją pakeičiame fraze „*X* yra tvarus“. Šia kalba Nėter teorema skelbia, kad fizikos dėsnių simetrijos sukuria tvarius dydžius.

Tokiu būdu, Emi Nėter darbe mūsų įsivaizduojamas atitikmuo

Idealu ↔ Realu

virsta matematine teorema.

Nekyla abejonių, kad konkretus Nėter poros

simetrija ⇒ tvermės dėsnis

pavyzdys būtų išties savalaikis. Ir čia galime pademonstruoti tikrą brangakmenį. Manau, kad tai pats giliausias rezultatas per visą fizikos istoriją.

Mūsų pavyzdyje simetrija yra tai, ką vadiname transliacijos simetrija. Ši sunkiai suprantama frazė gali atrodyti bauginanti, tačiau jos prasmė paprasta: *tie patys fizikos dėsniai, kurie taikomi šiandien, buvo taikomi praeityje ir bus taikomi ateityje.*

Galbūt iš pradžių prielaida, kad tie patys dėsniai pritaikomi visada, neatrodys panaši į simetrijos prielaidą, tačiau iš esmės tai vienas ir tas pats. Nes ji skelbia, kad pridedant arba atimant konstantą galima *pakeisti* fizikos dėsniuose dalyvaujančio laiko vertę, *nepakeičiant* dėsnio turinio. (Kalbant matematikų ir fizikų kalba, pastovaus dydžio poslinkis erdvėje arba laike dar vadinamas „transliacija“.)

Laiko transliacijos simetrija – tai Mokytojo išmintis:

Kas buvo, tas vėl bus.
Kas padaryta, tas vėl bus daroma.
Nieko naujo nėra po saule[*]

Ir tai, ką Šekspyras apverkia čia:

Jei visa, ką regiu ir ką girdi tu,
Pasaulyje jau buvo kitados, -
Kam sukti galvą be jokios naudos
Ir vėl gimdyti tai, kas pagimdyta?[**]

nėra visiškai tas pats. Laiko poslinkio simetrija pritaikoma dėsniams, kurie susieja įvykius, o ne patiems įvykiams. Jeigu kalbėsime formaliai, laiko poslinkio simetrija – tai mūsų dinaminių lygčių savybė, tačiau ji mums

* Ekleziasto knyga 1, 9. *Vert. pastaba.*

** 59 sonetas. Vertė A. Churginas. *Vert. pastaba.*

nieko nepasako apie pradines sąlygas.

Šios interliudijos pabaigoje laiko poslinkio simetrijos prielaidas peržvelgsiu kritiškai, o kol kas priimkime ją už gryną pinigą.

LAIKAS IR ENERGIJA

Remiantis Nėter teorema, bet kokia dėsnių simetrija reiškia tam tikrų fizikinių dydžių tvermę. Laiko poslinkio simetrijai tvarus dydis – tai energija!

Energijos, kaip fizikinės sąvokos, istorija keista. Norėčiau trumpai išdėstyti kai kuriuos svarbiausius šios istorijos momentus, nes jie įdomūs visų pirma tuo, kad nušviečia Emi Nėter idėjos svarbą.

Trumpa energijos istorija

Šiandien pripažįstame, kad energija priverčia pasaulį dirbti. Ieškome jos šaltinių, kaupiame ją, aptariame jos kainą, svarstome kompromisinius sprendimus, susijusius su skirtingais jos išgavimo būdais, ir t. t. Tačiau energijos pasiekiamumas neturėtų mūsų suklaidinti ir užmaskuoti jai būdingo neįprastumo.

Idėja, kad energijos tvermė – tai esminis principas, iškilo tik XIX a. viduryje. Net ir tada klausimas, *kodėl* taip turi būti, buvo ganėtinai paslaptingas ir liko toks iki Nėter praregėjimo. Ir netgi šiandien, kai paaiškinsiu, kad, man atrodo, tą suprantame ne iki galo.

Per koncepcijų kovas, vykusias iki niutoniškojo aiškumo įsigalėjimo, suprasti judėjimą mėginę mokslininkai spręsdami įvairaus pobūdžio problemas ne kartą buvo aptikę, kad kūno greičio kvadratas nuolat iškyla kaip ypač naudingas kūno judėjimo matas. Pavyzdžiui, Galilėjus nustatė, kad kūnams, judantiems veikiant Žemės sunkio jėgai, kaip antai išmestiems akmenims, iššautiems patrankų sviediniams arba (jis pats tai kruopščiai išmatavo) nuožulnia plokštuma riedantiems kamuoliams ir švytuoklėms fiksuotas aukščio

pokytis, nepriklausomai nuo visų kitų veiksnių, visada sukelia fiksuotą greičio kvadrato pokytį.

Šį keistą rezultatą retrospektyviai suprantame kaip energijos tvermės pavyzdį. Pilnutinė kūno energija turi du dėmenis – kinetinį ir potencinį. Kinetinė energija (judėjimo energija) proporcinga kūno greičio kvadrato, o potencinė energija (padėties energija) – sunkio jėgai netoli Žemės paviršiaus – proporcinga aukščiui, į kurį pakeltas kūnas. Energijos tvermės dėsnis skelbia, kad kinetinės energijos pokyčius turi kompensuoti potencinės energijos pokyčiai – tai dar viena Galilėjaus atradimo formuluotė.

Mūsų pasakojimui svarbu paminėti, kad Galilėjaus rezultatas buvo ne tiesioginis *stebėjimas*, o veikiau *idealizacija*. Jis tą įrodė teoremos forma, matematiniu modeliu, ignoruodamas aerodinaminį pasipriešinimą, trintį ir kitus veiksnius, kurie visada egzistuoja tikrovėje. Naudodamas sunkius kamuolius vietoj, tarkime, plunksnų, ir imdamasis kitų atsargumo priemonių, Galilėjus sugebėjo atlikti eksperimentus minimalizavęs pirma minėtų apsunkinančių veiksnių poveikį, tad jo energijos tvermės modelis ganėtinai tikslus. Tačiau reikia pripažinti, kad Galilėjaus energijos tvermės dėsnio versija (tiksliau, tai, kas ilgainiui tapo šiuo dėsniu) nėra visiškai tinkama jokiai realiai sistemai, ir jis tą puikiai žinojo. Galilėjui tai buvo tik kurioziškas idealizuoto modelio apibūdinimo faktas.

Klasikinėje mechanikoje Niutono energijos tvermės dėsnis tapo bendresne teorema. Ir vis dėlto jis veikiau liko idealizacija, nei tikrovės aprašymu. Niutono energijos tvermės teorema pritaikoma toms dalelių sistemoms, kuriose dalelės sąveikauja tarpusavyje veikiamos jėgų, kurių stiprumas priklauso tik nuo santykinio atstumo tarp jų. Pagal šį modelį teorema nusako, kas yra energija – o būtent: tai dydis, kuris atsiranda teoremoje ir išlieka pastovus laike! Ir vėl paaiškėja, kad pilnutinė energija susideda iš kinetinės ir potencinės dalių. Kinetinė energija visada turi tą pačią formą. Ją galima apskaičiuoti sudėjus visų dalelių masių sandaugas iš greičio kvadrato ir padalijus gautą sumą pusiau. Potencinė energija – tai santykinių padėčių funkcija, kurios tiksli forma priklauso nuo jėgų prigimties. Kol kas viskas gerai. Tačiau trinties jėgos niutoniškoje mechanikoje pažeidžia energijos tvermę! Ir nors šis faktas neprieštarauja Niutono teoremai, nes trinties jėgos nėra įtrauktos į šios teoremos prielaidas – trintis nėra apibūdinama kaip jėga,

priklausanti nuo atstumo tarp dalelių – jis apriboja teoremos pritaikomumą tikrovei.

Jeigu pridėsime Maksvelo elektrodinamiką, reikalai dar labiau komplikuosis, tačiau pagrindinė išvada bus panaši. Išplėstiniame modelyje padarę kai kurias prielaidas, vis dar galime matematiškai išvesti energijos tvermės teoremą. Tačiau, visų pirma, keičiasi energijos prasmė! O tiksliau sakant, šalia kinetinės ir potencinės energijų turime įvesti trečią energijos formą. Atsiranda dar ir lauko energija, kuri – kaip rodo jos pavadinimas – priklauso nuo laukų stiprio. Ir tik pilnutinė energija – kinetinė + potencinė + lauko – išlieka pastovi. Dar blogiau, netgi ši sudėtingesnė energijos tvermės dėsnio versija galioja tik tuo atveju, jeigu ignoruojama trintis ir elektrinis atsparumas.

Pamenu, kad pirmą kartą sužinojęs apie šiuos dalykus aiškiai pajutau nusivylimą ir skepticizmą. Man atrodė, kad vadinamasis energijos tvermės „dėsnis“ yra bjaurus, prastai sukomplektuotas darinys. Kaskart, kai tik būdavo atrandama nauja jėga ar reiškinys, jis pažeisdavo egzistuojantį „dėsnį“, o tada tekdavo išgalvoti naują energijos rūšį, kad būtų galima kaip įmanoma geriau užlopyti skyles, ir netgi po lopymo galėdavo atsirasti nauji protėkiai. Nei Niutono mechanikoje, nei Maksvelo elektrodinamikoje energijos tvermė neveikia kaip tikslus ir bendras dėsnis. Atrodo, kad ji veikiau yra naudingas, tačiau apytikris rezultatas, kurį galima pritaikyti tam tikrais ypatingais atvejais. Kiek galėjau spręsti, ji neturėjo gilaus konceptualaus pagrindo ir visada būdavo tik apytikslė, todėl neturėjau jokio pagrindo tikėtis, kad energijos tvermės dėsnis galėtų tapti patikimu vedliu tyrinėjant kažką visiškai nauja.

Idėja, kad energijos tvermė gali būti fundamentalus principas, kuris tiksliai vykdomas, laipsniškai išsiplėtojo XIX a. viduryje ir pabaigoje. Tai buvo technologijų poreikio įkvėptas atradimas.

Nuo pat civilizacijos priešaušrio žmonija išmėgino daugybę būdų siekdama priversti daiktus judėti ir tuo būdu atlikti įvairias naudingas užduotis, tokias kaip žmonių ir prekių pervežimas, tvirtovių apsiaustis, grūdų malimas ir daugybė kitų veiklos sričių. Per pramonės perversmą mašinos tapo ekonominio gyvenimo pagrindu, ir jų optimizavimas tapo svarbiu reikalu, todėl užduotys, susijusios su tuo, kaip priversti jas veikti, buvo intensyviai

sprendžiamos tiek eksperimentiškai, tiek teoriškai. Apmąstymai apie energiją ir jos virsmus tapo vienu iš vaisingiausių šios veiklos metodų. Konkrečiai kalbant, paaiškėjo, kad realūs (ir tariami) energijos tvermės dėsnio pažeidimai, atsirandantys dėl trinties ir elektrinio atsparumo, visada sukelia energijos *nuostolius*. (Su praktine potekste, kad būtina sutelkti dėmesį į energijos bet kuria jos forma kainą ir į jos nuostolių mažinimą.) Ši tendencija negrįžtamai prarasti energiją, paaiškinanti inžinierių nesėkmes sukurti savaimines, savaeiges mašinas – vadinamuosius amžinuosius variklius, padėjo suprasti, kodėl mašinoms išvis reikalingi energijos šaltiniai. Negana to, pastebėta, kad energijos *praradimą* visada lydi šilumos *išskyrimas*. Keletas mokslininkų – skirtingais aiškumo laipsniais – traktavo šią situaciją teigiamai. Jie iškėlė prielaidą, kad energijos tvermė – iš tiesų neginčijama tiesa, tačiau, norint tą suprasti, būtina pripažinti, kad šiluma – tai dar viena energijos forma. Įkvėptas šios vizijos, Džeimsas Preskotas Džaulis (James Prescott Jouel) atliko seriją įspūdingų bandymų, kuriuose, panaudodamas krintančius kūnus, privertė judėti vandenį įšildančius laivaračius norėdamas kiekybiškai pademonstruoti pagrindinę savo idėją: žinomas energijos kiekis (nuo krintančio kūno) sukuria jam proporcingą energijos kiekį.

Po šio triumfo mokslo pasaulis priėmė energijos tvermę kaip darbinį principą. Gamta prakalbo ir aiškiai pareiškė, kad šioje idėjoje glūdi kažkas labai teisinga.

Tačiau trūkstant svaresnio patvirtinimo, nei faktas, kad „tai veikia“, šis dėsnis ir toliau buvo laikomas paslaptingu, menkai pagrįstu. „Tai veikia“ iš esmės reiškia, kad „tai kol kas veikia“. Nebuvo galima būti tikriems, kad koks nors naujas atradimas neatskleis kokių nors spragų. Tokių dalykų jau buvo nutikę. *Masės* tvermė buvo Niutono mechanikos kertinis akmuo, ir ji daugiau nei du šimtmečius iš tiesų puikiai tarnavo kaip dangaus mechanikos ir visų kitų inžinerijos sričių darbinis principas. Masės tvermę kruopščiai patikrino ir pradėjo naudoti Antuanas Lavuazjė (Antoin Lavoisier) savo eksperimentuose, kurie padėjo pagrindus šiuolaikinei kiekybinei chemijos analizei. Tačiau XX a. šiurkštus masės tvermės pažeidimas tapo įprastu ekstremaliosios fizikos reiškiniu. Didelės energijos elektronų ir pozitronų priešpriešinių srautų greitintuve susidūrus dviem labai lengvoms dalelėms (elektronui ir pozitronui) paprastai susidaro dešimtys dalelių, kurių pilnutinė

masė tūkstančius kartų viršija pilnutinę įvedinio masę!

Kol energija priminė šiupinį, pagamintą iš skirtingų jos rūšių – kinetinės (susijusios su judėjimu), potencinės (susijusios su kūno padėtimi ar būsena), lauko energijos (susijusios su krūvių ir srovių sąveika), šilumos (susijusios su temperatūrų pokyčiais) ir daugelio kitų, kurių čia neminėsiu – ji atrodė esanti atvira tolesnėms modifikacijoms ir tam tikroms galimoms išimtims.

Emi Nėter ištyrė energijos sąvoką itin kruopščiai. Pagrindusi energijos tvermę fizikos dėsnių nekintamumu laike, ji parodė jos tikrąją esmę ir atskleidė joje slypintį grožį. Pasitelkusi matematinę magiją, Emi Nėter nerangią varlę pavertė nuostabaus grožio princese. Technologijų raidos nulemta šiuolaikinė energijos tvermės dėsnio samprata, kurios aukščiausiu tašku laikytinas Nėter požiūris kildinti ją iš simetrijos – nuostabus pavyzdys to, kaip

$$\text{Realu} \rightarrow \text{Idealu}.$$

Ar galėjo energijos tvermė pasukti tuo pačiu keliu kaip ir masės tvermė? Moksle šventa tik tikrovė, o tikrovė gali pateikti staigmenų, nesvarbu, ar esame joms pasirengę, ar ne. Tačiau Nėter teorema gerokai padidina statomą sumą: paaiškėjus, kad energija nėra tvari, mums tektų permąstyti esmines sąvokas, kuriomis formuluojame fizikos dėsnius arba savo idėjas apie laikinąjį vienalytiškumą, arba ir viena, ir kita. Dauguma mūsų tokį rezultatą laiko perspėjimu, kuris reiškia: vargu ar gali būti vaisingi samprotavimai apie energijos tvermės pažeidimą neturint jokio Gamtos duoto ženklo apie juos. Kam šauktis bėdos?

Kitos Nėter pamokos

Fizikos dėsnių vienalytiškumas erdvėje, kaip ir jų vienalytiškumas laike, atspindi tam tikros rūšies simetriją, kuri vadinama erdvinio poslinkio simetrija. Pagal Nėter teoremą, turi egzistuoti tam tikras tvarus dydis. Tai *judesio kiekis*. Fizikos dėsniai žiūrint iš skirtingų vietų taip pat turi atrodyti

vienodai. Tai dar vienas simetrijos principas, pavadintas sukimo simetrija. Remiantis Nėter teorema, turi būti tam tikras tvarus dydis, ir jis išties egzistuoja – tai *judesio kiekio momentas*. Kaip ir energijos tvermė, šie didingi tvermės dėsniai turi ilgą ir nuostabią istoriją. Jie buvo išvesti dar iki Nėter tam tikrais ypatingais atvejais ir iškėlus žymiai griežtesnes prielaidas. Iš tikrųjų, vienas iš Keplerio dėsnių – tas, kuris skelbia, kad planetos spindulys-vektorius per lygius laiko tarpus apibrėžia lygius plotus – atspindi judesio kiekio momento tvarumą, nes apibrėžimo greitis yra proporcingas judesio kiekio momento dydžiui. Tačiau Nėter teorema, susiedama juos su paprastais kokybiniais fizikinės tikrovės aspektais, suteikia mums gilų suvokimą, *kodėl* šie dėsniai egzistuoja.

Šiuolaikinės fizikos paribyje, kaip netrukus aptarsime, Nėter teorema tapo vienu iš svarbiausių instrumentų, be kurių neįmanomi tolesni atradimai. Jos padedami sujungiame teorinę galimos simetrijos estetiką ir klausimą:

Ar mano lygtys *gražios?*

...su rūsčia fizikinio matavimo realybe ir klausimu

Ar mano lygtys *teisingos?*

Visa tai teikė daug vilčių ir atrodė įkvepiančiai. Vis dėlto jaučiu, kad kažko svarbaus vis dar trūksta. Ir aš toks ne vienintelis: pats Nilsas Boras, XX a. trečiajame dešimtmetyje susidūręs su sunkiai suprantamais radioaktyvumo tyrinėjimų eksperimentų rezultatais, kurį laiką flirtavo su idėja, kad energija nėra tvari. Levas Landau, dar viena gerbiama figūra tarp fizikų, vėliau iškėlė prielaidą, kad žvaigždės pažeidžia energijos tvermę. (Žvaigždžių energijos šaltinis – branduolinė reakcija – nebuvo išaiškintas iki pat XX a. vidurio.)

Visos išvados grindžiamos prielaidomis, ir Nėter teorema – ne išimtis. Tiesą sakant, prielaidos, kuriomis grindžiama Nėter teorema, ganėtinai abstrakčios, specialios, ir jas sunku aiškiai apibrėžti. (Specialistams: įrodyta, kad ši teorema galioja sistemoms, kurių lygtys gautos kaitant lagranžianus. Yra

daugybė svarių priežasčių žavėtis sistemomis, kurios gali būti tokiu būdu apibūdinamos, tačiau šios priežastys sudėtingos, ir nėra aišku, bent jau man, kodėl jos privalomos – ir ar išvis privalomos.) Manau, kad turėtų būti labiau tiesioginis, intuityvesnis tokio svarbaus, paprastai suformuluoto rezultato paaiškinimas. Jeigu tokį paaiškinimą turėčiau, būčiau laimingas galėdamas juo pasidalyti. Kol kas galiu pasakyti tik tiek, kad vis dar ieškau!

O ŠTAI IR PATI EMI NĖTER!

Čia aptariamas didis Emi Nėter rezultatas matematinėje fizikoje buvo jaunatviškos galios demonstravimas. Pagrindinis jos gyvenimo darbas buvo susijęs su grynąja matematika. Tiesą sakant, jos specialybė ir buvo matematikos išgryninimas. Ji suteikė algebrai daugiau abstraktumo ir lankstumo – pritaikė įmantrias išradingų matematikų išmąstytas konstrukcijas algebrinei geometrijai ir skaičių teorijai. Paprastindama pagrindus, Emi Nėter pasiūlė kūrybinius jų plėtojimo metodus.

Savo aistros skatinama, ji nugalėdavo žiaurius išbandymus ir prietarus. Davidas (Deividas) Hilbertas norėjo, kad Emi Nėter dirbtų kartu su juo pasaulyje garsiausiame matematikos fakultete Getingene. Hilbertas rašė: „Nesuprantu, kodėl kandidatės lytis laikoma argumentu prieš ją... Juk čia universitetas, o ne pirtis.“ Tačiau nulėmė ne jo nuomonė. Emi Nėter kuriam laikui buvo palikta kaip kviestinė neapmokama lektorė. Tačiau Nėter, kuri buvo ne tik intelektualė, bet ir žydė, atėjus į valdžią naciams buvo priversta bėgti iš Vokietijos. Hermannas Weylis, atiduodamas duoklę jos nepalenkiamai dvasiai tuo sunkiu išmėginimų metu, vėliau rašė:

> *Emi Nėter – jos drąsa, jos atvirumas, jos nesirūpinimas savo likimu, jos taikinga dvasia – mums buvo moralinė paguoda pačiame visos šios neapykantos, niekšybių, nevilties ir sielvarto sūkuryje.*

37 PAV. EMI NĖTER, MATEMATIKĖ IR TAURUS ŽMOGUS.

Kiti amžininkai patvirtina jos nesavanaudiškumą, jos didžiadvasiškumą, o labiausiai – jos aistringą atsidavimą matematikai. Ji, kaip prisimena jos studentė Olga Taussky (Tauski), dažnai tiek užsimiršdavo, kad imdavo „pašėlusiai gestikuliuoti“ ir nepastebėdavo, kaip iš jos išsitaršiusių ilgų plaukų išlakstydavo segtukai. Apmąstydamas Emi Nėter darbus ir skaitydamas ištraukas iš jos biografijos, prisimenu, kaip Novalis apibūdino Spinozą – „žmogus, apgirtęs nuo Dievo“. Emi Nėter buvo moteris, apgirtusi nuo matematikos. Panašu, jog ši dvidešimtmetės Emi Nėter nuotrauka perteikia jos dvasią.

SIMETRIJA, SVEIKAS PROTAS IR PASAULIO KONSTRUKCIJA

Džeimsas Bosvelas (James Boswell) savo knygoje *Life of Samuel Johnson (Samuelio Džonsono gyvenimas)* atpasakoja tokį epizodą:

> *Išėję iš bažnyčios, kurį laiką stovėjome ir šnekučiavomės apie vyskupo Berklio išmoningą sofistiką, kuria jis įrodinėjo, kad medžiaga neegzistuoja ir kad viskas, kas yra visatoje, tik idealas. Pastebėjau, kad, nors mes ir įsitikinę, jog jo doktrina neteisinga, jos neįmanoma paneigti. Niekada nepamiršiu, kaip gyvai į šį klausimą atsakė Džonsonas: jis taip stipriai spyrė į didžiulį akmenį, jog šis atšoko nuo jo kojos, ir tarė: „Štai taip ją paneigiu.“*

Deividas Hjūmas (David Hume), mėgdžiodamas Berklį, sugalvojo dar įmantresnių argumentų, palaikančių radikalųjį skepticizmą. Hjūmas laikė, kad prielaida, skelbianti, jog fizikinis elgesys yra vienarūšis laike, neįrodoma. Tačiau be šios prielaidos joks spėjimas nėra patikimas – netgi, pavyzdžiui, spėjimas, kad rytoj patekės Saulė. Ir vis dėlto, elgesio universalumas, pagal Hjūmą, yra tik iracionalus tikėjimo aktas. Bertranas Raselas susiejo Hjūmo analizę su įsimintinu anekdotu:

> *Žmogus, kasdien lesinęs vištą visą šios gyvenimą, galiausiai nusuka jai galvą, parodydamas, kad vištai praverstų šiuolaikiškesnis požiūris į Gamtos universalumą.*

Ir Raselas tęsia toliau:

> *Todėl svarbu nustatyti, ar filosofijos plotmėje egzistuoja koks nors atsakymas Hjūmui, kuris būtų visiškai arba iš dalies empirinis. Priešingu atveju nėra jokio intelektinio skirtumo tarp sveiko proto ir beprotybės.*

Šiame skyriuje, įkvėptas Džonsono, ketinu mesti iššūkį Hjūmui ir Raselui.

Kad pasaulį paverstume saugia sveiko proto buveine, grįžkime prie pagrindų ir aptarkime, ką reiškia pagrįsti tikėjimą. Pradėsime nuo Aristotelio garsiojo silogizmo, nuo kurio prasidėjo logikos, kaip savarankiško dalyko, studijos. Iš pirmo žvilgsnio, šie klasikiniai teiginiai:

Visi žmonės mirtingi.
Sokratas – žmogus.
Vadinasi, Sokratas mirtingas.

sudaro gilumo ir loginės galios įspūdį. Žmogus padaro naują neabejotiną išvadą iš senų faktų.

Tačiau kiek pagalvojus, toks samprotavimas gali pasirodyti tuščias. Galų gale, įgyjame teisę patvirtinti, kad „visi žmonės mirtingi“, tik tada, jeigu jau žinome, kad Sokratas – konkretus žmogus – mirtingas. Tokiu būdu, toks samprotavimas neišvengiamai sudaro užburtą ratą.

Ir vis dėlto, sunku atsikratyti jausmo, kad čia vyksta kažkas itin naudingo ir neįprasto. Manau, jog čia esama vieno gilaus momento: galime būti tikresni dėl bendro teiginio, kad „visi žmonės mirtingi“, ir sutapatinimo „Sokratas žmogus“, nei dėl konkretaus tvirtinimo, kad „Sokratas mirtingas“, jeigu pastarasis nesusiejamas su šia informacija.

Tvirtinimo „visi žmonės mirtingi“ jėga, savaime aišku, neiškyla iš visuotinio žmonių surašymo su paskesniu individualiu patikrinimu, ar numirė kiekvienas šios klasės atstovas. Juk svarbiausia – daugelis mūsų dar nemirė! Tai veikiau bendro supratimo, ką reiškia būti žmogumi, įskaitant žmogaus neilgaamžiškumą, jo senėjimo fiziologiją ir kt.), rezultatas. Nemirtinga būtybė turėtų skirtis nuo „žmogaus“ (visuotinai priimtina šio žodžio prasme) taip žymiai, kad apibūdintume ją visai kitu žodžiu. Ir Sokratas, kuris, nors ir buvo akivaizdžiai neeilinis žmogus, taip pat turėjo tėvus, kurie buvo žmonės, jo kūnas nesiskyrė nuo kitų žmonių kūnų, jį buvo galima sužeisti mūšyje, jis brendo ir senėjo tokiu pačiu greičiu, kaip ir kiti žmonės... Trumpai kalbant, Sokratas puikiai tiko kategorijai „žmonės“. Taigi, šį silogizmą Sokratui buvo galima pritaikyti dar iki jam numirštant – ką jis, žinoma, galiausiai ir padarė.

Beje, ar Aristoteliui nebūtų atrodę įtaigiau vietoj šio silogizmo pasirinkti kitokį, iš tiesų induktyvinį pavyzdį?

Visi žmonės mirtingi.
Aristotelis – žmogus.
Vadinasi, Aristotelis mirtingas.

Tai būtų jį labiau sužmoginę. Be to, mokydamas savo garsųjį mokinį Aleksandrą Didįjį, Aristotelis galėjo taikyti tokį variantą:

Visi žmonės mirtingi.
Aleksandras – žmogus.
Vadinasi, Aleksandras mirtingas.

Šios eilutės būtų galėjusios pakeisti istorijos eigą, įtikinusios Aleksandrą Didįjį labiau rūpintis savimi. Tačiau labiau tikėtina, kad Aristoteliui tai būtų pasibaigę tremtimi ar netgi dar blogiau.

Kada nors, galbūt jau labai greitai, kai medicinos technologijos gerokai patobulės ir (arba) žmogaus protas išsiverš už tradicinio žmogaus kūno ribų, mums galbūt teks iš naujo peržiūrėti teiginį „visi žmonės mirtingi“. Pavyzdžiui, šio silogizmo statusas gali sukelti tam tikrų abejonių:

Visi žmonės mirtingi.
Ray Kurzweilas (Rėjus Kurcveilas) – žmogus.*
Vadinasi, Ray Kurzweilas mirtingas.

Kai tik išauš tokia laiminga diena (jeigu tik ji išauš), žmonės šį silogizmą veikiausiai pradės teiginiu, kad „visi žmonės senovėje buvo mirtingi“ arba kita panašia formuluote, ir pratęs jį kaip ir anksčiau, tik įterpdami kiek subtilesnių skirtumų. Bet kuriuo atveju Sokrato, Aristotelio ir Aleksandro Didžiojo mirtingumu niekada nebuvo rimtai abejojama, netgi gerokai prieš jų tikrąją mirtį, ir kaip tik dėl silogizmuose nurodytos priežasties, jeigu tik juos teisingai suprasime.

* Futuristas ir dirbtinio intelekto tyrinėtojas (JAV), iškėlęs skaitmeninio nemirtingumo prielaidą. *Vert. pastaba.*

Labai svarbus su mūsų dabartiniais tikslais susijęs punktas skelbia, kad platesni ir tvirtesni pagrindai suteikia išvadoms daugiau svarumo. Bendri teiginiai gali tapti tvirtu pamatu konkretiems tvirtinimams, net jei ir atrodo, kad pastarieji pasako žymiai mažiau.

O jeigu prisiminsime Raselo vištą? Ji samprotauja:

Kiekvieną dieną Gerasis ūkininkas mane lesina.
Rytoj bus dar viena diena.
Gerasis ūkininkas palesins mane rytoj.

Tai labai panašu į ankstesnius silogizmus! Tačiau išvaizda – dar ne viskas. Nors šis silogizmas turi tą pačią loginę *formą*, jo faktinis *turinys* gerokai skiriasi. Pakankamai protinga višta pastebėtų, kad gerasis ūkininkas ne visada ją lesina vienodai, ne visada kasdien tuo pačiu laiku ir kad gerasis ūkininkas daro daugybę kitų dalykų. Pakankamai protinga višta pamėgintų sukurti teoriją, kuri aprėptų daugiau gerojo ūkininko veiksmų, ir – jeigu būtų ypač įžvalgi – pradėtų galvoti apie gerąjį ūkininką kaip apie savanaudį, turintį tam tikrų asmeninių paskatų. Be to, višta galėtų pastebėti, kad gerasis ūkininkas ir jo šeimos nariai maitinasi biologinės kilmės produktais, kad derlius yra surenkamas, kad ūkyje laikomi gyvuliai kartkartėmis paslaptingai pradingsta ir kt. Tada višta pradėtų įtarinėti, kad artėja Paskutiniojo teismo diena, kai gerasis ūkininkas *liausis* elgęsis taip, kaip nurodo pirmoji silogizmo eilutė. Teiginys „visi žmonės mirtingi“ išlaiko kruopštų patikrinimą ir sudaro dalį visa apimančios, nuoseklios pasaulėžiūros, tuo tarpu teiginys „kiekvieną dieną Gerasis ūkininkas mane lesina“ toks nėra.

Kad priimtume Raselo iššūkį, atsakytume Hjūmui ir apgintume sveiką protą, turime pagrįsti savo prielaidą apie Gamtos universalumą. Galime šiai prielaidai suteikti daugiau svarumo ją plačiau ir tvirčiau pagrįsdami, kaip kad ką tik aptarėme. Mūsiškė laiko vienalytiškumo formuluotė kaip tvirtinimas apie fizikinių dėsnių simetriją padeda tą padaryti keliais būdais. Galime iš jos padaryti daug išvadų, kurios jokiu būdu nėra akivaizdžios, tačiau kurios, pasirodo, yra tikros fizikinio pasaulio savybės. Paprasčiausia būtų pakartoti tikslius matavimus skirtingu laiku ir patikrinti, ar jų rezultatai sutampa. Gaudami informaciją apie tolimas žvaigždes ir galaktikas, labiau įsigiliname į praeitį, nes šviesa keliauja pastoviuoju greičiu. Galime įsitikinti, kad jų spektro linijos kadaise turėjo tokią pačią struktūrą, kaip ir tos linijos, kurias matome dabar. Tokiu būdų gauname patvirtinimą, kad tada galiojo tie patys atomo fizikos dėsniai, kurie galioja dabar. Ir, įkvėpti Nėter, galime patikrinti energijos tvermę! Ir tai jokiu būdu nėra mėginimas paauksuoti leliją*, nes energijos tvermė gauna puikią patikrą analizuojant elementariųjų dalelių sąveikos reakcijas, per kurias tyrinėjamos itin ekstremalios sąlygos.

Dabar, kai visi šie ir kiti patikrinimai buvo atlikti itin kruopščiai ir tiksliai, argumentai sveiko proto naudai yra tvirti.

Kad užbaigtume šį aptarimą, šalia laiko vienalytiškumo, turime paminėti dar du fizikinių dėsnių vienalytiškumo faktus, veik vienodai esminius pasaulio sandaros atžvilgiu: erdvės vienalytiškumą ir medžiagos vienalytiškumą. Erdvės vienalytiškumas, kurį minėjome anksčiau, tikrinamas tais pačiais laboratoriniais ir astronominiais bandymais, kaip ir laiko vienalytiškumas. Be to, įkvėpti Nėter, galime patikrinti jį kitaip – tikrindami judesio kiekio tvermę! Ir vėlgi tai joks mėginimas sutirštinti spalvas, nes judesio kiekio tvermė kruopščiai tikrinama atliekant elementariųjų dalelių reakcijas, kai tiriamos itin ekstremalios sąlygos.

Galų gale, egzistuoja *medžiagos vienalytiškumas* – stebėjimais patvirtintas faktas, kad visi elektronai (pavyzdžiui) turi visiškai tas pačias savybes. Ši prielaida numanoma kiekvienoje atomo fizikos, elektronikos ir chemijos pritaikymo srityje. Nors ji dažnai laikoma savaime suprantamu dalyku, ji toli gražu nėra akivaizdi.

Žmonių organizuotoje gamyboje sukeičiamųjų dalių pritaikymas buvo revoliucinė naujovė, kuriai įgyvendinti prireikė sunkaus triūso. Tačiau dar gerokai iki Samuelio Kolto ir Henrio Fordo įvestų naujovių Meistras numatė sukeičiamųjų dalių privalumus. Šiandienos Pagrindų teorijoje elektronų sukeičiamumas išplaukia iš fakto, kad visi elektronai (pavyzdžiui) yra minimalūs sužadinimai – kvantai – visur esančiame elektroniniame skystyje ir kad šio skysčio savybės yra vienalytės erdvėje ir laike. Tokiu būdu, kvantinės teorijos ribose medžiagos vienalytiškumui patvirtinti nebūtinos atskiros

* Angl. k. *gilding the lily*. Posakis *paauksuoti leliją,* sudarytas iš dviejų Šekspyro frazių – *gild refined gold* ir *paint the lily*, t. y. *paauksuoti gryną auksą* ir *nuspalvinti leliją*, reiškia „mėginti pagerinti ir taip gerą“. *Vert. pastaba.*

prielaidos. Šis vienalytiškumas išplaukia iš erdvės ir laiko vienalytiškumo, o tuo pačiu, kaip mus mokė Emi Nėter, iš simetrijos.

KVANTINIS GROŽIS IV

TIKIME GROŽĮ

DODEKAEDRO PARABOLĖ

Dodekaedras mūsų meditacijoje jau buvo keletą kartų paminėtas. Būdamas vienas iš Platono kūnų, jis įkūnija didumą geometrinės simetrijos. Anot paties Platono, tokia yra visos visatos forma. Matėme, kaip Salvadoras Dalí panaudojo dodekaedro simboliškumą, kad išreikštų kosminį ryšį, kurį perkelti į drobę kita forma veikiausiai būtų labai sunku. Taip pat aptikome dodekaedrą, slypintį kiekviename iš begalinės įvairovės fulerenų, kur jo 12 penkiakampių leidžia grafeno šešiakampiams sudaryti uždarą paviršių.

Dodekaedrai turi vieną itin praktišką pritaikymo sritį – gali būti naudojami kaip staliniai kalendoriai. Jie puikiai tam tinka, nes turi 12 visiškai vienodų šoninių paviršių, kurių kiekviename galite sutalpinti po mėnesį. Internete lengvai rasite patarimų, kaip pasigaminti tokį kalendorių iš šablono, iškirpto iš standaus popieriaus ar kartono lakšto.

Dodekaedras – gražus daiktas, ir mes jau spėjome su juo artimai susidraugauti.

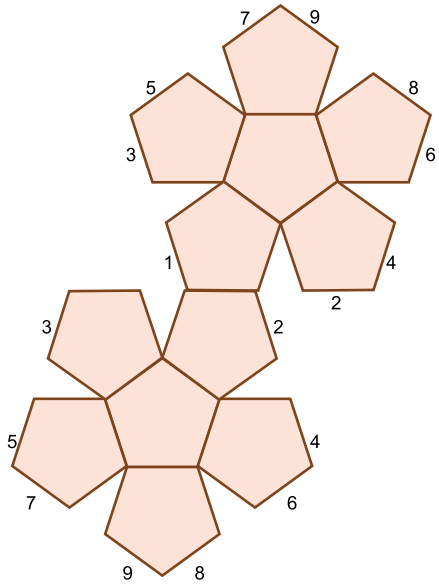
Dabar tarkime, kad kažkokia žaisminga dvasia nori patikrinti mūsų charakterį arba suteikti mums džiaugsmo leisdama mums išspręsti šaunų galvosūkį. Ji atskiria vieną nuo kitos konstrukcijos detales ir panaikina žymes, kad gautume mįslę, parodytą 39 pav.

Čia sunkiau suprasti, ką matome. Dauguma žmonių, kurie pastaruoju metu ne itin daug mąstė apie dodekaedrus, nežinotų, ką veikti su šia daline schema. Tačiau tie iš mūsų, kurie pakankamai daug mąsto apie grožį ir jo įsikūnijimus, esame šiam išbandymui pasiruošę. Dvylika identiškų taisyklingųjų penkiakampių, kai kurios poros turi bendras kraštines, kai kurie trejetai turi bendras viršūnes – ir tai iš karto pakiša minį! Atpažįstame šioje schemoje slypintį potencialą ir esame pasirengę paversti ją kažkuo gražiu.

Galvodami apie šį triumfą, dabar grįžkime prie mūsų Pagrindų teorijos. Turėdama itin kompaktišką lygčių rinkinį ji apibūdina milžinišką gausybę faktų – tikslių kiekybinių pastebėjimų apie fizikinį pasaulį. Kaip jau aptarėme, ji yra daugiau nei pakankamas pagrindas chemijai, visų rūšių mašinų gamybai, biologijai (galbūt), astrofizikai ir didžiajai daliai kosmologijos. Be to, ji elegantiška. Pagrindų teorijos lygtys turi gilias šaknis simetrijoje. Štai kodėl galime atkurti visą šią teoriją iš kelių bendrų taisyklių apie tai, prie kokių savybių erdvių turi prieigą skirtingos dalelės, ir nurodymų, kokią (lokaliąją) simetriją šios erdvės turi palaikyti. Galime apibūdinti reikalingus duomenis ganėtinai paprastais apibendrinančiais vaizdais (žr. spalvotas iliustracijas TT ir UU).

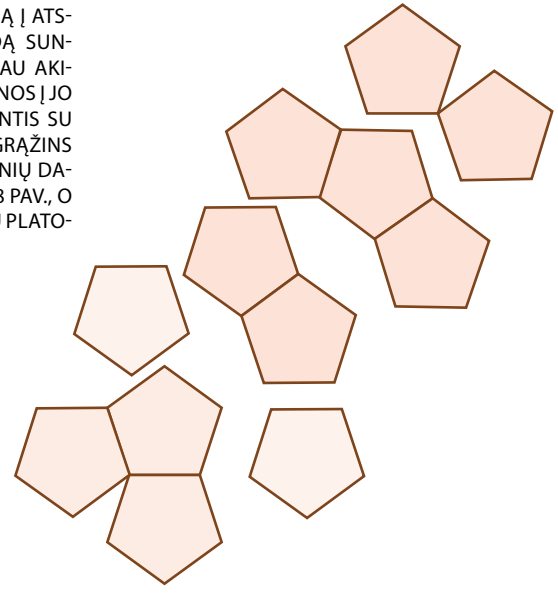
Pagrindų teorija – tai puikus Gamtos apibūdinimas. Būtų išties sunku perdėti jos tikslumą, galią ir grožį. Ir vis dėlto, kraštutinio grožio vertintojai nebus patenkinti. Kaip tik *dėl to, kad Pagrindų teorija* tokia artima Gamtos galutiniam žodžiui, turime išlaikyti ją pačiame aukščiausiame galimų estetinių standartų lygyje. Kruopščiai išnagrinėję ją tokia kritiška dvasia, pamatysime šiuos jos trūkumus:

- Ši teorija apima tris matematiškai panašias sąveikas: stipriąją, silpnąją ir elektromagnetinę. Visos jos įkūnija vieną bendrą principą: savybių erdvių lokaliąją simetriją. Gravitacija – tai ketvirtoji sąvei-



38 PAV. NAUDODAMIESI ŠIUO GRAŽIU BRĖŽINIU, PASIGAMINSITE DODEKAEDRĄ. TAM REIKĖS PERBRAIŽYTI ŠIĄ SCHEMĄ ANT STANDAUS POPIERIAUS ARBA KARTONO LAKŠTO, PO TO JĄ IŠKIRPTI PAGAL PAKRAŠČIUS IR SULENKTI IŠILGAI VIENTISŲ LINIJŲ TAIP, KAD VIENODAI PAŽYMĖTI ŠONAI SUSIEITŲ.

39 PAV. IŠSKAIDŽIUS SCHEMĄ Į ATSKIRAS DALIS, VAIZDĄ SUNKIAU SUVOKTI, TAČIAU AKIVAIZDŽIOS UŽUOMINOS Į JO KILMĘ IŠLIEKA. PAŽINTIS SU DODEKAEDRU SUGRĄŽINS MUS NUO ŠIO PAVIENIŲ DALIŲ RINKINIO PRIE 38 PAV., O NUO JO – PRIE MŪSŲ PLATONO DODEKAEDRO.



ka. Ji taip pat pagrįsta lokaliąja simetrija, nors ir kitokio pobūdžio: tai lokalioji Galilėjaus simetrija. Gravitacija dar ir žymiai silpnesnė sąveika už kitas. Būtų kur kas įtikinamiau ir gražiau turėti vieną pagrindinę simetriją ir vieną visa apimančią sąveiką, kurios suteiktų vieną nuoseklų Gamtos apibūdinimą. Trys (ar keturi) – akivaizdžiai daugiau nei vienas, vadinasi, tikslo dar nepasiekėme.

- O dar blogiau, kad netgi po to, kai nustatėme daleles, kurios „iš tikrųjų“ yra viena ir ta pati skirtingą padėtį savo erdvėje užimanti esybė, atsiduriame tarp šešių tarpusavyje nesusijusių „fundamentaliųjų“ esybių. Šeši – tai irgi akivaizdžiai daugiau nei vienas.
- Taip pat turime šeimų patrigubinimą, kuris atrodo lyg ir nepagrįstas.
- Taip pat turime Higgso skystį, kuris atlieka unikalų vaidmenį šioje teorijoje, tačiau kol kas atrodo kaip dar viena savarankiška judanti dalis. Higgso skystis buvo įvestas tam, kad būtų užlopytos skylės (ką jis ir padarė), o ne dėl grožio (ir jis jo teorijai neprideda).

Tiesą sakant, reikia pripažinti, kad tai prastai sukomplektuotas rinkinys, kurį galima drąsiai pavadinti netvarka.

Ar galėjo Meistras, ką tik grubiai išskaptavęs Pagrindų teoriją, pasakyti, kad tai puikus savaitės darbas, ir daugiau dėl jo nesukti galvos?

Prieš sutikdami su šia trikdančia mintimi, grįžkime prie dodekaedro pamokos. Aptardami šį briaunainį matėme, kaip grožis – o ypač simetrija – siūlo įtikinamą interpretaciją to, kas kitu atveju galėtų atrodyti kaip netvarkingas kratinys. Galimų objektų simetrijų erdvėje suvokimas leido mums suprasti, kad egzistuoja tik saujelė Platono kūnų, ir tas žinojimas iš dalinių, iškraipytų požymių leido mums įžvelgti paslėptą dodekaedrą.

Pagrindų teorija pagrįsta įmantresnėmis simetrijos formomis, nei įprastos trimatės erdvės sukimasis, ir mažiau įprastais mums objektais (savybių erdvėmis) nei dodekaedras. Nepaisant to, galime išbandyti panašią idėją. Ar gali būti, kad Pagrindų teorijos dalinė simetrija ir akivaizdžiai neproporcingi padrikos struktūros objektai, kuriems ji taikoma, yra dalis didesnės simetrijos, veikiančios didesnį objektą, kurio sąsajos paslėptos nuo mūsų akių?

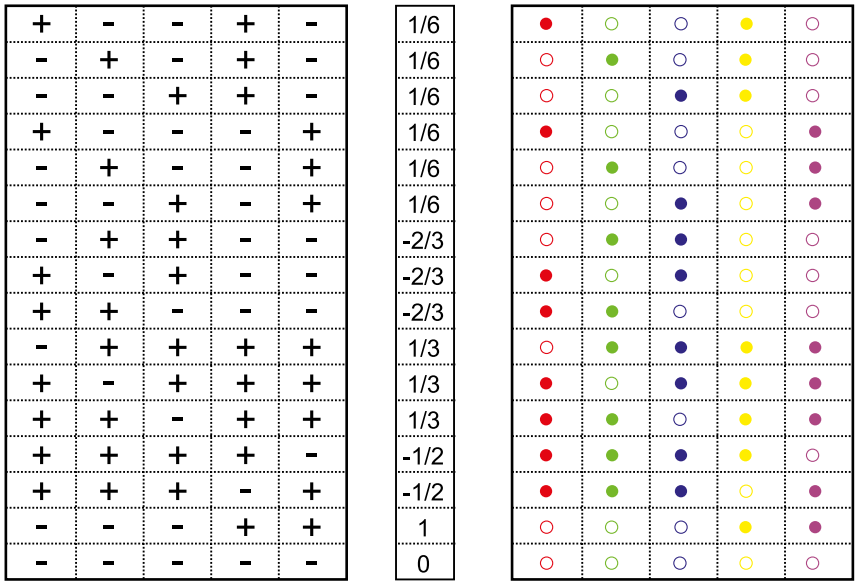
Jeigu rasime teigiamą atsakymą į šį matematinį klausimą, jis pasiūlys

mums naujas fizikos teorijas, kurioms galbūt pavyks įveikti Pagrindų teorijos trūkumus. Yangas ir Millsas mums parodė, kaip, iškėlus prielaidą apie simetriją ir jos poveikį savybių erdvėms, sukurti atitinkamą sąveikų ir dalelių teoriją. Tokioje konstrukcijoje simetrijas įkūnija jų avatarai, kalibravimo dalelės (pavyzdžiui, spalvotieji gliuonai, vikonai, fotonai), kurios tarpininkauja sąveikoms. Mūsų hipotetinė didžioji simetrija suteiks mums visas šias Pagrindų teorijos sąveikas ir dar daugiau.

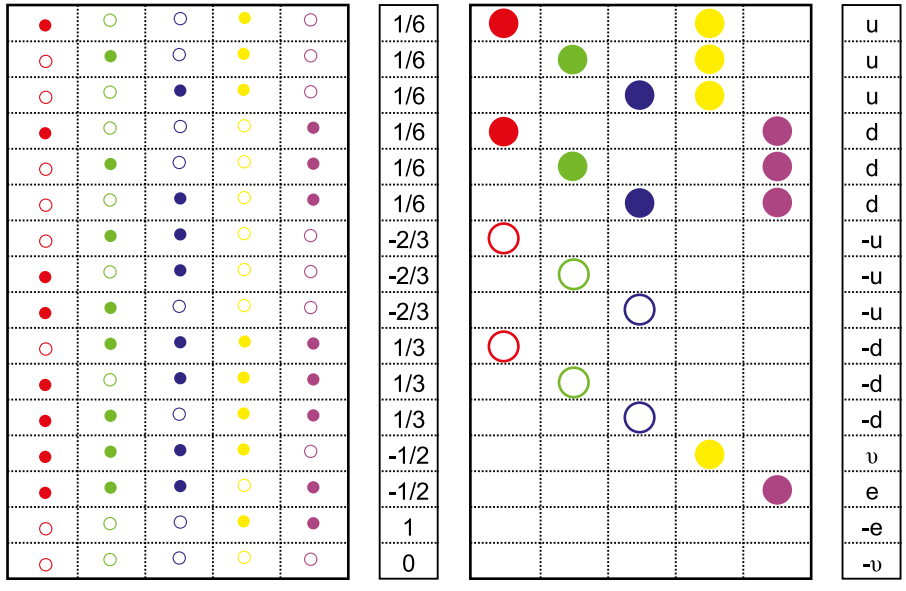
XIX a. pabaigos ir XX a. pradžios matematikų – Sofuso Li (Sophus Lie) ir jo įpėdinių – dėka turime pilną komplektą kandidatų į tų pačių simetrijų ir erdvių vaidmenį, todėl galime pamatyti, ar kuris nors iš šių kandidatų atitinka visus reikalavimus. Pasirodo, kaip kad egzistuoja vos keletas Platono kūnų, į didžiosios simetrijos vaidmenį taip pat pretenduoja vos keletas kandidatų, kurie galėtų suvienyti Pagrindų teorijos simetrijas (kaip dodekaedro sukimąsi), o savybių erdvių pagrįstos galimybės suvienyti tokias Pagrindų teorijos erdves (kaip dodekaedro šonai) dar menkesnės.

Kai galimybės tokios ribotos, sėkmė abejotina. Jeigu pakrypęs į šoną, padrikas atvaizdas (žr. 39 pav.) būtų iškraipytas ir išdėstytas kitaip – pavyzdžiui, trys penkiakampiai būtų išdėstyti aplink trikampę ertmę, arba jų būtų trylika, arba šie penkiakampiai būtų skirtingų dydžių, arba jeigu ten būtų penkiakampių ir kvadratų derinys – mūsų mėginimas pasitelkus paslėptą simetriją paaiškinti, kas tai yra, būtų nesėkmingas. Lygiai taip pat pakrypusi į šoną ir padrika Pagrindų teorijos struktūra turi būti perkreipta ir pakrikusi tokiu pačiu teisingu būdu, kad atitiktų didžiosios simetrijos modelį. Todėl jeigu mums tikrai pavyktų rasti tinkamą schemą, vargu ar tai būtų galima laikyti sutapimu. Veikiausiai tai kažką reikštų!

Todėl malonu atrasti, kad viena iš Li galimų simetrijų, veikiančių gražioje savybių erdvėje, puikiai derinasi su realybe. Suvienijanti simetrija apima Pagrindų teorijos stipriąją – silpnąją – elektromagnetinę simetrijas. Ji gali veikti savybių erdvėje, kuri yra kaip tik tokio dydžio ir formos, kad sutalpintų žinomus kvarkus ir leptonus. Ir visų svarbiausia, jie nieko daugiau savyje neturi. (Specialistams: simetrija pagrįsta grupe sukimųsi pagal dešimtį matmenų, žymimų *SO(10)*. Savybių erdvė pagrįsta tos grupės šešiolikos matmenų spinoriaus atvaizdžiu. Šią struktūrą atrado Howardas Georgi (Hovardas Džordži) ir Sheldonas Glashow.



$$Y = -\frac{1}{3}\,(\text{raudona} + \text{žalia} + \text{mėlyna}) + \frac{1}{2}\,(\text{geltona} + \text{violetinė})$$



Viena esmė, viena sąveika

ILIUSTRACIJOS VV IR WW. TARDAMI, KAD EGZISTUOJA DAR DIDESNĖ SIMETRIJA, GALIME „IŠGRYNINTI“ PAGRINDŲ TEORIJOS IŠORINĮ VAIZDĄ, PARODYTĄ ILIUSTRACIJOSE RR IR SS. TUO PAČIU PASIEKIAME ŠĮ NUOSTABŲ PAVIDALĄ *REALU = IDEALU*, KURIO AIŠKINIMAS IŠDĖSTYTAS ŠIOS KNYGOS TEKSTE.

Dabar stabtelėkite ir gerai išstudijuokite spalvotas iliustracijas VV ir WW, kurios dokumentiškai pagrindžia šį atradimą. Tolesnė diskusija – tai išsamus ir kartu išplėstinis šių iliustracijų paaiškinimas. Joje rasite visą informaciją, kurios jums reikia, kad suprastumėte, kaip iliustracijose VV ir WW koduojamas turinys iliustracijų RR ir SS, apibendrinančių Pagrindų teoriją. Pagrindinė mūsų meditacijos gija priklauso tik nuo išsamaus aprašymo pagrindiniame tekste. Subtilesnės detalės puošia paskutinius puslapius pastabose. Man pasirodė būsią svarbu paversti šio nuostabaus rezultato detales prieinamomis jūsų dėmesiui. Jūs patys galite nuspręsti, kaip giliai norėtumėte į jas įsitraukti.

Pagrindų teorijos dalelės šioje naujoje teorijoje apsigyvena šešiose pavienėse skirtingų formų savybių erdvėse, kaip aprašyta ankstesniame skyriuje. Arba galime pasakyti kitaip: jos suformuoja šešias skirtingas esybes.

Mūsų jungtinėje teorijoje didžioji simetrija sujungia šias savybių erdves, suvesdama visas daleles į pavienę esybę, arba multipletą. Šis medžiagos suvienijimas atkartoja suvienijimą, kurį pasiekėme mūsų paslaptingame paveikslėlyje atvaizduotomis padrikomis, kreivomis detalėmis, atpažinę jų priklausomumą dodekaedrui. Lygiai taip pat, kaip kad visi dodekaedro šonai susieti per atitinkamus sukinius, čia visos dalelės susietos viena su kita matematine simetrija – o dar ir konkrečiomis fizikinėmis transformacijomis!

Puslapio su spalvotomis iliustracijomis VV ir WW viršutiniame kairiajame kampe matome ganėtinai abstrakčią lentelę su ženklais „+“ ir „–“. Joje 5 stulpeliai ir 16 eilučių. Skirtingose eilutėse pateikiamas kiekvienas įmanomas penkių ženklų „+“ ir „–“ pasiskirstymas, pavaldus tik tokiam apribojimui, kad bendras ženklų „+“ skaičius turi būti lyginis.

Viršutinis dešinysis kampas pradeda šios abstrakčios schemos išskleidimo į fizikinę realybę procesą. Lentelės struktūra tokia pati, tačiau dabar jos stulpeliai interpretuojami kaip skirtingų stipriųjų ir silpnųjų spalvinių krūvių atvaizdai (ir netrukus paaiškės, kad eilutės vaizduoja medžiagos daleles). Pirmieji trys stulpeliai atitinka tris stipriuosius spalvinius krūvius nurodyta tvarka: raudoną, žalią ir mėlyną. Dviejuose paskutiniuose stulpeliuose atvaizduoti du silpnieji spalviniai krūviai: geltonas ir violetinis. Pakeičiame savo ankstesnę lentelę su ženklais „+“ ir „–“ į naują formatą, įvesdami į jos skiltis mažyčius atitinkamos spalvos apskritimus ten, kur buvo ženklai „+“,

ir mažus tuščius atitinkamos spalvos apskritimus, kur buvo ženklai „–“.

Vientisi apskritimai (gauti iš ženklų „+“) bus laikomi *½* krūvio vieneto. (Tokiu būdu vientisas raudonos spalvos skritulys atitinka pusę spalvinio krūvio ir t. t.) Tušti apskritimai (gauti iš ženklų „–“) bus laikomi neigiamais *½* krūvio vienetais.

Iš karto po šiomis viršutinėmis lentelėmis rasite matematinę formulę, apibūdinančią dydį *Y* kaip paprastą skaitmeninį spalvų derinį. Prisiminkite, kad Pagrindų teorijos medžiagų sąraše, parodytame spalvotose iliustracijose RR ir SS, buvo keisti skaičiai, atitinkantys elektros krūvius. Šie keisti krūviai, kuriuos aprėpia Pagrindų teorija, buvo nepriklausomi nuo stipriųjų ir silpnųjų spalvų – juos tiesiog pasirinko taip, kad jie atitiktų eksperimentų rezultatus. Labai greitai pamatysite, kaip šie Pagrindų teorijos bjaurieji ančiukai bręsta ir mūsų vieningoje teorijoje virsta gražuolėmis gulbėmis. O kol kas tik atkreipkite dėmesį į tai, kad įrašiau *Y* reikšmes, kurias gauname taikydami formulę skirtingoms eilutėms viduriniame stulpelyje tarp dviejų viršutinių lentelių.

Apatinis kairysis kampas – tai tik viršutinio dešiniojo kampo kopija, įdėta čia tik tam, kad būtų lengviau skaityti. Lygiai taip pat atkurtas ir vidurinis skaičių stulpelis.

Apatinė dešinioji lentelė – tai jai iš kairės esančios kaimynės perrašinys, dėl supaprastinimo pritaikius stipriąją ir silpnąją „išbalinimo“ taisykles. Leiskite man nuosekliai pademonstruoti jums šį procesą su pirmąja eilute; su kitomis eilutėmis elgsimės panašiai. Remiantis stipriąją „išbalinimo“ taisykle, vienoda raudono, žalio ir mėlyno krūvių priemaiša neturi poveikio stipriajai sąveikai. Todėl turime supaprastinti dalelės stipriųjų spalvinių krūvių aprašą pirmojoje eilutėje, toje jos dalyje, kur veikia stiprioji sąveika, pridėdami po pusę krūvio prie kiekvieno raudono, žalio ir mėlyno krūvio. Ši operacija panaikina iki tol egzistavusias neigiamas žalio ir mėlyno krūvių puseles ir paaukština raudoną krūvį iki sveiko vieneto. Dešiniojoje apatinėje lentelėje atvaizdavome rezultatą: didelis raudonas apskritimas – ir nieko žalio ir mėlyno apskritimų atžvilgiu. Grįžtant prie silpnųjų krūvių, pridedame po pusę krūvio prie geltono bei violetinio ir atliekame silpnąjį „išbalinimą“, kad gautume pilnutinį geltoną ir nulinį violetinį krūvius.

Ir štai – paslaptis atskleista! Dalelių ir savybių sąrašas, kurį gavome išdėstydami pradinę abstrakčią lentelę viršutiniame kairiajame kampe, tiksliai atitinka Pagrindų teorijos medžiagos komponentų sąrašą (žr. spalvotas iliustracijas RR ir SS)! Pavyzdžiui, pirmoji eilutė atitinka esybės A viršutinį kairįjį įrašą. Sutartiniai dalelių pavadinimai parodyti spalvotose iliustracijose VV ir WW, paskutiniame dešiniosios apatinės lentelės stulpelyje, jie padės jums kryptingai vykdyti paiešką.

Tai džiaugsmo teikiantis pratimas, tad labai rekomenduoju jums atidžiai ištyrinėti kiekvieną iš 16 atitikmenų. Tačiau prieš imantis šio pratimo, būtina atkreipti dėmesį į vieną paskutinę subtilybę, kurios negaliu nepaminėti. Pagrindų teorijos dešiniosios dalelės čia atvaizduotos per jų kairiąsias antidaleles. Todėl jeigu matote ženklą „–“ prieš pavadinimą, turite pakeisti priešingais visų krūvių ženklus (įskaitant ir *Y*) ir ieškoti atitikmens tarp dešiniųjų dalelių.

Tuo ir užbaigsime šios knygos iliustracijų „išplėstinius paaiškinimus“.

Taigi, situaciją galime įvertinti taip: žvelgdami į įrašus mūsų kanoniškose unifikacijos iliustracijose VV ir WW, aptinkame, kad jos idealiai atitinka Pagrindų teorijos medžiagos daleles, kaip parodyta *jos* kanoniškoje sintezėje, atvaizduotoje iliustracijose RR ir SS! Ten tyrinėjome pasaulį – Realųjį pasaulį – ir klasifikavome jo daleles. Čia mūsų pradžios taškas buvo visiškai kitoks. Pradėjome nuo Idealaus – nuo didelės simetrijos erdvės, iškeltos kandidate į savybių erdvę – ir matematiškai išvedėme tų dalelių, kurios figūruoja jo lokaliosios simetrijos teorijoje (Yango ir Millso). Keliaudami šiais abiem labai skirtingais keliais pasiekėme tą patį paskirties punktą. Naujas kelias – sutelktesnis, principinis aprašymas. Jis apima didelę dalį to, ką žinome apie Medžiagos pasaulį grynojo Proto sukurtame darinyje. Tai nuostabus pavyzdys, kai:

Realu ↔ Idealu.

PATIKRINIMAS REALYBE

Jeigu tai teisinga, tada tai...

Simetrijos matematika atvėrė viliojančią perspektyvą. Ji nupiešė kelią, vedantį nuo gražių idėjų prie pasaulį valdančios Pagrindų teorijos ir už jos ribų. Tai vizija, savo estetiniu įkvėpimu ir drąsumu primenanti Platono atomistinę teoriją, tačiau nepalyginamai įmantresnė ir tikslesnė.

Tačiau kai mėginame išplėtoti šiuos grubius apmatus į realybės portretą, iškyla dvi rimtos problemos. Vieną išspręsti lengva, o kita – kiek sudėtingesnė. Ji įtrauks mus į įdomų nuotykį, kurio baigtis vis dar neaiški.

Pradėkime nuo paprastesnės. Išplėsta teorija apima žymiai daugiau kalibravimo (sąveikos) dalelių nei Pagrindų teorija, taigi, ir žymiai daugiau transformuojančių sąveikų. Kalbant konkrečiai, turime ne tik spalvotuosius gliuonus, kurie paverčia vieną stiprųjį spalvinį krūvį kitu, ir vikonus, kurie paverčia vieną silpnąjį krūvį kitu, bet ir mutatronus, kurie paverčia stipriojo spalvinio krūvio vienetą silpnojo spalvinio krūvio vienetu. (Literatūroje nėra jokio norminio pastarųjų dalelių pavadinimo, todėl šį pavadinimą sugalvojau aš. Pokšto esmė tokia: mutatronai sukelia mutacijas.) Pavyzdžiui, egzistuoja mutatronas, transformuojantis raudonojo krūvio vienetą į violetinio krūvio vienetą. Ši operacija paverčia pirmąją spalvotųjų iliustracijų VV ir WW eilutę penkioliktąja eilute, kuo ir patys galite įsitikinti. Atitinkamai, sąveika su šiuo konkrečiu mutatronu pavers raudonąjį kvarką pozitronu. Tačiau tokie procesai niekada nebuvo stebimi. Jeigu mutatronai egzistuoja, kodėl nematėme jų veiklos rezultatų?

Laimė, ši problema labai panaši į tą, su kuria susidūrėme silpnosios sąveikos teorijoje ir kurią išsprendėme. Kaip tikriausiai prisimenate, „švari“ lokalioji simetrija numato, kad vikonai, kaip fotonai ir spalvotieji gliuonai, turi nulinę masę. Tačiau jeigu taip būtų, jų poveikis būtų žymiai galingesnis nei tas, kurį stebime faktiškai. Šią problemą išsprendžia Higgso mechanizmas. Užpildydami erdvę atitinkama medžiaga, teoretikai pavertė vikonus sunkiosiomis dalelėmis – suderino Realų su Idealiu. Iki faktinio Higgso dalelės atradimo daugelis fizikų skeptiškai vertino šią itin drąsią idėją*, tačiau

* Laimėjau keletą lažybų pasinaudodamas šiuo ne vietoje išreikštu skepticizmu.

dabar ją iškalbingai paliudijo pati Gamta.

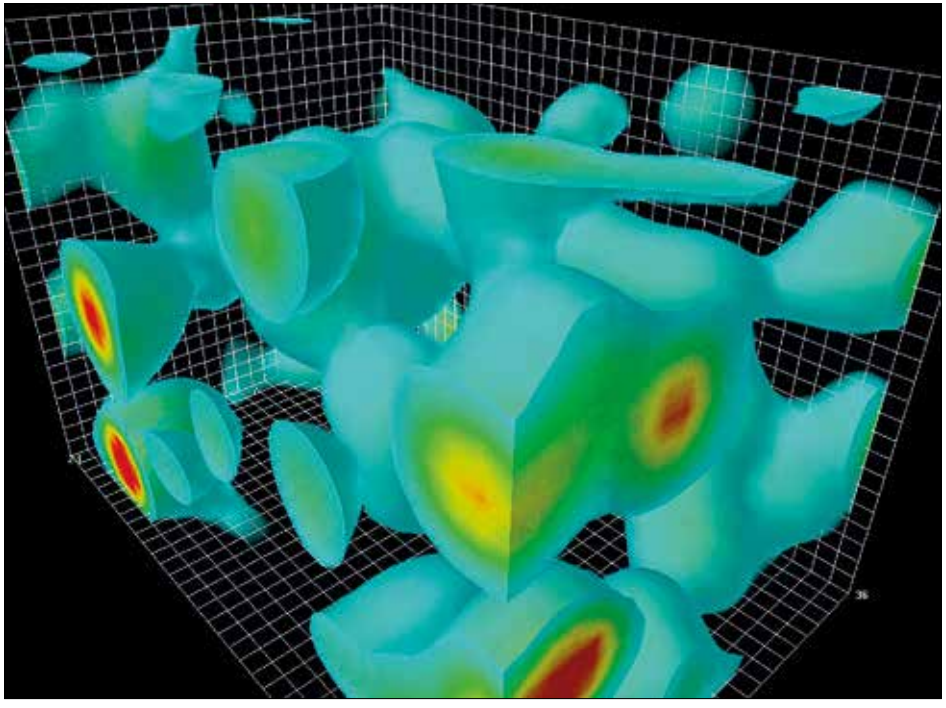
Išplėstinė tos pačios bazinės idėjos versija gali suteikti vieningosios teorijos nepageidautiniems mutatronams itin dideles mases nuslopindama visus nepageidautinus jų efektus. Tiesiog užpildome pasaulį – arba, jeigu pamėginsime kalbėti kiek nuolankiau (ir tiksliau), pripažįstame, kad pasaulis *yra* užpildytas – (atrankos būdu) masę suteikiančia medžiaga, ir einame toliau.

Dabar atsigręžkime į kiek sudėtingesnę problemą. Jeigu tikimės skirtingų sąveikų simetrijos, tada tos sąveikos turi būti vienodo intensyvumo. Tai tiesioginis jų numanomo ekvivalentiškumo padarinys. Bet, deja, taip nėra. Stiprioji sąveika iš tiesų stipresnė už visas kitas. Trys bazinės sąveikos aiškiausiai *nelygios* savo jėga (o gravitacija, iš pirmo žvilgsnio, yra *beviltiškai* silpna, jeigu palyginsime su jomis).

(Svarbi, tačiau šiek tiek techninė interliudija: turiu padaryti pauzę, kad paaiškinčiau, kaip atliekamas palyginimas. Pagrindinė idėja – pats paprastumas. Kiekviena iš mūsų kalibravimo teorijos sąveikų, pagrįstų, kaip žinoma, lygtimis, panašiomis į Maksvelo lygtis, veikia tarp krūvį turinčių dalelių. Elektromagnetinėms sąveikoms svarbus elektros krūvis, stipriosioms sąveikoms – spalvinis krūvis, o silpnosioms sąveikoms – silpnasis spalvinis krūvis. Kiekvienai iš mūsų sąveikų egzistuoja krūvio vienetas [kvantas]. Todėl, norint palyginti sąveikas, pakanka palyginti jų jėgas, veikiančias tarp krūvių vienetų.

Praktiškai viskas kiek kebliau dėl dviejų priežasčių. Visų pirma, dėl įdomių, tačiau sudėtingų priežasčių, kurias palietėme pirma (atitinkamai, dėl Higgso mechanizmo ir išlaikymo) silpnosios sąveikos efektas nuslopinamas, kai atstumas viršija 10^{-16} cm, o stipriosios sąveikos veikimas išnyksta didesniu nei 10^{-14} cm atstumu. Todėl, kad mūsų palyginimas būtų sąžiningas, būtina lyginti jas tik tokiais atstumais, kurie mažesni už prieš tai nurodytus. Antra, ne itin praktiška manipuliuoti dalelėmis erdvėje taikant tokį tikslumo lygį.

Tirdami elgesį mažais atstumais, eksperimentuotojai daro štai ką: jie šaudo vienomis dalelėmis į kitas ir tyrinėja jų nuokrypio (santykinai) dideliais kampais tikimybę. Tada atkuriame vaizdą, pagal dalelių nuokrypį rekonstruodami jį sukėlusias jėgas. Galiu priminti, kad apie 1912 m. kaip tik tokią strategiją taikė Rezerfordas, Geigeris ir Marsdenas tyrinėdami atomo



ILIUSTRACIJA XX. PADIDINTAS TUŠČIOSIOS ERDVĖS VAIZDAS, MATOMAS SU PUIKIA ERDVINE IR LAIKINE SKYRA.

vidinę sandarą. Pagrindinis principas nepasikeitė, tačiau šiandien, priversdami daleles susidurti su žymiai didesne energija, įgyjame prieigą prie žymiai mažesnių atstumų.

Kitų sąveikų palyginimas su gravitacija kiek painesnis. Viena vertus, kiek mums žinoma, neegzistuoja joks elementarusis „krūvio vienetas“ gravitacijai – pastaroji reaguoja į energiją. Kita vertus, lygindami sąveikas skirtingais atstumais naudojame zondus, kurie turi skirtingą energiją. Todėl vertindami santykinę gravitacijos jėgą šiais atstumais tiesiog pakeičiame tam atstumui būdinga energija ir apskaičiuojame gravitacinę jėgą, kurią ji sukuria. Techninės interliudijos pabaiga.)

Asimptotinės laisvės permąstymas

Tačiau taip toli nukeliavę neturėtume taip lengvai pasiduoti. Ir iš tikrųjų, sprendimą pasiūlo dar viena didelė Pagrindų teorijos pamoka – asimptotinė laisvė. Ankstesniame skyriuje matėme, kaip svarbu, norint suprasti stipriąją sąveiką, pripažinti, kad šios sąveikos jėga kinta priklausomai nuo atstumo – kuo atstumas didesnis, tuo stipriau, o kuo mažesnis, tuo silpniau ji veikia. Toks kintamumas leido mums suderinti kvarkų išlaikymą, įrodantį, kad galinga jėga trukdo jiems nutolti vienam nuo kito dideliu atstumu, su jų savarankiškumu, kuris reiškiasi kaip silpnai veikianti jėga mažais atstumais.

Asimptotinė laisvė nukreipia judėjimą reikiama kryptimi. Kadangi stipriosios sąveikos jėga trumpėjant atstumams silpnėja, skirtumas tarp jos ir kitų sąveikų mažėja. Ar gali taip būti, kad jos visos susijungia?

Kad pereitume nuo vilties prie vizijos, o po to nuo vizijos prie skaičiavimų, pravartu dar kartą apmąstyti asimptotinę laisvę naudojantis atvaizdais ir sąvokomis, kurie taikomi bendrojoje praktikoje – už stipriosios sąveikos ir netgi už Pagrindų teorijos ribų.

Pažvelkime į viską kiek paslankesniu ir įdėmesniu žvilgsniu.

Spalvotoje iliustracijoje XX parodyta, ką pamatytume pažvelgę į „tuščią erdvę“, jeigu mūsų akys galėtų suskaidyti vos 10^{-14} sekundžių laiko intervalus ir objektus, kurių dydis vos 10^{-14} cm.

Kalbant tiksliau, šioje iliustracijoje pateikta tipiško energijos tankio pasiskirstymo, kurį sukelia gliuonų lauko intensyvumo svyravimai, momentinė nuotrauka. Tokio pobūdžio svyravimai kyla spontaniškai bet kuriame erdvės taške ir bet kuriuo momentu – tai kvantinės mechanikos padarinys. (Apie juos kartais kalbama kaip apie virtualias daleles arba nulinius virpesius.) Gliuonų skysčio spontaninis aktyvumas, kaip jau esame aptarę, sukelia asimptotinę laisvę, išlaikymą ir didžiąją mūsų masės dalį. Kadangi jie figūruoja kaip svarbiausi komponentai skaičiavimuose, kurių tikroviškumas buvo patikrintas labai tiksliai ir įvairiais būdais, šių svyravimų egzistavimas tiek neabejotinas, kiek tik apskritai įmanoma moksle. Šiame „apskaičiuotame“ atvaizde pačios didžiausios energijos sankaupos parodytos „pačiomis karščiausiomis“ spalvomis – raudona ir ryškiai geltona, tuo tarpu mažiau intensyvios sritys nuspalvintos blankesne geltona, žalia, o galiausiai ir šviesiai mėlyna spalvomis. Tos sritys, kur energijos tankis žemiau galutinės ribos, paliktos be jokios spalvos juodame fone. Šis vaizdas padidintas apytiksliai 10^{27} kartų, todėl atvaizduota sritis, kalbant labai apibendrintai, palyginti su žmogumi tiek pat maža, kiek mažas žmogus palyginti su regimąja visata. Svyravimų atvaizdas pasikeičia maždaug kas 10^{-24} sekundės. Šis laiko tarpas palyginti su sekunde tiek pat mažesnis, kiek sekundė palyginti su laiku, prabėgusiu po Didžiojo sprogimo.

Kvantinė chromodinamika buvo ištyrinėta veik neįtikėtinai kruopščiai, todėl su pačiu didžiausiu tikrumu, koks tik įmanomas moksle, galima teigti, kad šiame paveiksle tiksliai atvaizduota tai, kas vyko, kas vyksta ir kas vyks visada ir visur.

Ir dar daugiau! Gliuonų skystis jokiu būdu nėra vienintelis kvantinis skystis. Esame apskaičiavę, kad fotoninis (elektromagnetinis) ir vikonų skysčiai taip pat svyruoja. Ir kad tas pats vyksta su skysčiais, susijusiais su „medžiagos“ dalelių – kvarkų ir leptonų – gimimu ir išnykimu. Elektroninis skystis svyruoja, kylančiųjų kvarkų skystis svyruoja ir t. t. Šių ir kitų skysčių svyravimų fizikiniai padariniai paprastai mažesni, nei gliuonų skysčių svyravimų, nes gliuonų yra daug (jų aštuoni!) ir jie stipriai sąveikauja. Tačiau bendrieji kvantinės teorijos principai numato fliuktuacijas visuose kvantiniuose skysčiuose – egzistuoja daugybė patikimų, tiksliais matavimais

paremtų įrodymų, kad šios fliuktuacijos tikrai vyksta. Kad patikslintume savo viziją, turime atsižvelgti į juos visus.

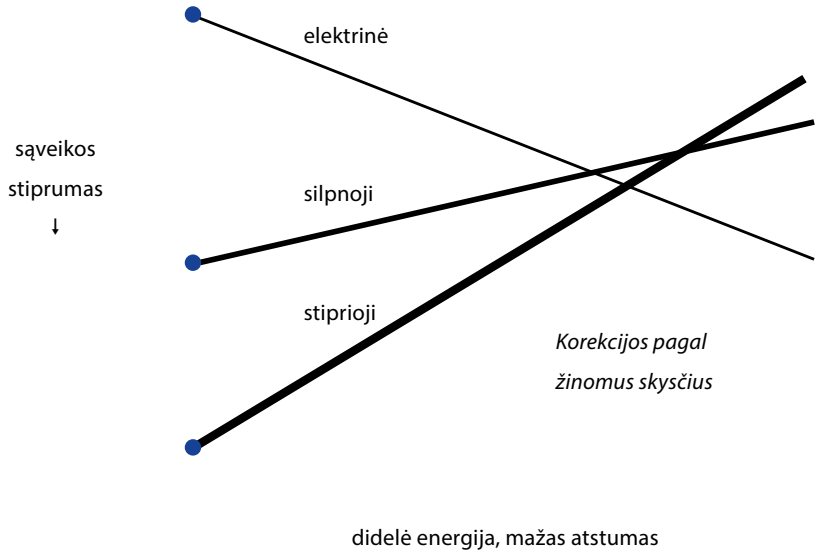
Lygiai taip pat, kaip vanduo iškraipo žuvų regimo pasaulio vaizdą, erdvės terpė – o ypač ją užpildančių kvantinių skysčių aktyvumas – iškraipo pačių mažiausių atstumų suvokimą mūsų akimis. Norėdami suvokti esminius principus, turime koreguoti šiuos iškraipymus. Čia ir glūdi mūsų viltis. Skirtingos sąveikos, regis, nevienodos savo intensyvumu. Tačiau gali būti, kad vos tinkamai pakoreguosime savo regą, paaiškės, kad jos vienodos.

Per plauką

Štai kas nutiks, jeigu įvykdysite šią programą (40 pav.). Kaip galite įsitikinti patys, ji beveik veikia – trys linijos, reiškiančios skirtingų jėgų stiprumą, *beveik* susikerta viename taške. Tačiau nevisiškai.

Čia noriu pateikti šiek tiek papildomos informacijos apie 40 pav. tam atvejui, jeigu panorėsite jį suprasti su visomis techninėmis detalėmis. Kad pateikčiau rezultatą kiek įmanoma paprasčiau – trimis tiesėmis! – man teko įvykdyti keletą neįprastų punktų, kurie nurodyti įrašuose prie ašių. Nusprendžiau, kad vertikalioje ašyje taškai turi atspindėti jėgas atvirkštine tvarka, kitaip tariant, kuo jėga stipresnė, tuo *žemiau* jos taškas atvaizduotas ašyje. (Šis iš pirmo žvilgsnio gana keistas sprendimas turi dar vieną svarbų privalumą, kuris paaiškės iš 41 pav. 374 p.) Horizontalioje ašyje panaudojau logaritminę skalę. Todėl kiekvienas žingsnis į dešinę sumažina atstumą ir padidina energiją, kuri mums reikalinga tam, kad ištirtume tą atstumą – 10 kartų! Taigi, mūsų apskaičiavimas, kad ir kuklus iš pažiūros, leidžia mums nusigauti gerokai už tos energijos ribų, kurias mums užtikrina greitintuvai. Linijų storis rodo jų eksperimentinį ir teorinį neapibrėžtumą.

Viliamės aptikti, kad pagrindinių sąveikų intensyvumas stipriai suvienodėja, kai jos matuojamos mažais atstumais arba zonduojamos veikiant didelei energijai. Paimame per atstumą išmatuotas vertes (arba energijas), kurias mums suteikia patys galingiausi egzistuojantys greitintuvai, o po to remdamiesi teorija ir skaičiavimais įvertiname vertes, gautas dar mažesniais atstumais (arba naudojant dar didesnes energijas). Šiame paveikslėlyje pa-



40 PAV. VOS ĮVEDUS PATAISAS, BŪTINAS DĖL ŽINOMŲ KVANTINIŲ SKYSČIŲ ĮTAKOS, PAAIŠKĖJA, KAD UNIFIKACIJA NEĮVYKSTA TIK PER PLAUKĄ.

grindiniai punktai, reiškiantys realius matmenis, parodyti kairėje, juos žymi dideli taškai. Mažesni atstumai, „prieinami“ skaičiavimais, nusidriekia į dešinę. Matote, kad šis modelis beveik veikia – šios trys linijos *beveik* sueina į vieną tašką – tačiau nevisiškai.

Susiklosčius tokioms aplinkybėms galėtume ieškoti paguodos garsaus filosofo Karlo Popperio (Poperio) idėjose. Popperis mokė, kad mokslo tikslas – kurti teorijas, kurias galima paneigti. Sukūrėme teoriją, kuri gali būti ne tik paneigta, bet ir *klaidinga*. Tikslas pasiektas!

Tačiau tokia paguoda skamba nenuoširdžiai. Sukūrėme gražią idėją, kuri atrodė ne tik perspektyvi, bet ir beveik veiksminga. Grožis brangus. Neturime pernelyg lengvai pasiduoti.

O dabar norėčiau jums papasakoti istoriją apie tai, kaip aš ir keletas mano draugų atradome galimą šios problemos sprendimą. Tačiau iš pradžių turiu pristatyti dar vieną draugą, o veikiau draugę: SUSY.

PAŽINTIS SU SUSY

Supersimetrija, arba sutrumpinus SUSY* – tai nauja simetrijos rūšis. Jos egzistavimas kaip matematinė galimybė tapo fizikams didele staigmena. Pirmą kartą ją išbaigta forma 1974 m. pasiūlė Juliusas Wessas (Vesas) ir Bruno Zumino (Dzumino).

Kalbant apskritai, simetrija – tai Pokytis be pokyčio. Viena iš lygčių sistemoms taikomų idėjų – tai idėja, kad galime keisti lygtyje dalyvaujančius dydžius nekeisdami šių lygčių padarinių. Supersimetrija – tai ypatingas šios idėjos pavyzdys, apimantis ypač keisto pobūdžio virsmą.

Jau aptarėme daugybę fizikinės simetrijos pavyzdžių. Laiko transliacijos simetrija apima to, ką vadiname laiku, transformaciją pridedant arba atimant konstantą. Galilėjaus simetrija, svarbiausia specialiosios reliatyvumo teorijos sąvoka, apima pasaulio transformavimą – kitaip tariant, erdvėlaikį – pridėdama arba atimdama pastovų greitį. Ji tarsi suteikia tam tikrą postūmį, arba „pagreitinimą“.

Supersimetrija išplečia specialiąją reliatyvumo teoriją, taip atskleisdama naują transformacijos rūšį. Tai kvantinė Galilėjaus transformacijos, keičiančios greitį, versija. Kvantinės Galilėjaus transformacijos, kaip ir įprastos Galilėjaus transformacijos, apima judėjimą, tačiau tai judėjimas į keistus naujus matmenis arba iš jų. Naujieji supersimetrijos matmenys labai skiriasi nuo įprastos geometrijos matmenų. Mes vadiname juos *kvantiniais* matmenimis.

Anksčiau, diskusijoje apie savybių erdves, jau išsiaiškinome, kad *kas* gali priklausyti nuo *kur*. Ta pati esybė, užimanti skirtingas padėtis savybių erdvėje, dažnai pasireiškia kaip keletas „skirtingų“ dalelių. Mes – arba, tiksliau kalbant, gliuonai, vikonai ir fotonai – reaguojame į šią esybę skirtingai, priklausomai nuo to, kur savybių erdvėje ji yra. Jeigu įsivaizduosite savybių erdve judančią dalelę, tai judėdama ji iš vienos rūšies dalelės virs kitos rūšies dalele.

Supersimetrijos kvantiniai matmenys taip pat panašūs į tai, ką aprašėme. Nauja juose tik radikali transformacijos prigimtis dalelei judant jų ribose.

* Angl. *Super symmetry* santrumpa, kurią galime perskaityti kaip *Suzy* (*Zuzi*, moters vardas). *Vert. pastaba*.

Pagrindų teorija padalyta į dvi dalis, kurias pavadinome medžiaga ir sąveika (poetiškai – *in* ir *jang*). „Medžiagos“ sektoriuje, apimančiame kvarkus ir leptonus, yra dalelių, kurioms būdingas tam tikras pastovumas ir rupumas: savybės, kurios mums asocijuojasi su žemiškąja materija ir medžiagiškumu. Tiksli techninė sąvoka, kuria apibūdinama visoms šioms dalelėms būdinga bendrybė, skelbia, kad jos yra fermionai, taip pavadinti Enrico (Enriko) Fermi garbei.

- Fermionai gimsta ir išnyksta poromis. Taigi, turėdami vieną fermioną, negalėsite juo atsikratyti visiškai. Jis gali virsti kitos rūšies fermionu, arba trimis, arba penkiais, kartu su bet kokiu ne fermionų (bozonų – žr. toliau) skaičiumi, tačiau jis negali išnykti nebūtyje be jokio pėdsako.
- Fermionai paklūsta Pauli draudimo principui. Trumpai kalbant, tai reiškia, kad dviem vienos rūšies fermionams nepatinka daryti vieną ir tą patį. Elektronai yra fermionai, tad elektronams galiojantis draudimo principas atlieka tą patį esminį vaidmenį medžiagos struktūroje. Susidūrėme su tuo, kai tyrinėjome turtingą vandenilio pasaulį.

„Sąveikų“ sektoriuje, apimančiame spalvotuosius gliuonus, fotonus, vikonus, taip pat Higgso daleles ir gravitoną, yra dalelių, kurios geba lengvai atsirasti ir išnykti – arba, kalbant fizikų žargonu, gali būti išspinduliuotos arba sugertos – ir kurios dažnai atsiranda grupėmis. Tiksli techninė sąvoka, apibūdinanti tai, kas šioms dalelėms bendra, skelbia, kad jos yra bozonai (taip pavadintos Satyendros Bose (Satiandros Bozės) garbei).

- Bozonai gali atsirasti ir išnykti pavieniui.
- Bozonai paklūsta Bose „intarpo principui“. Trumpai tariant, tai reiškia, kad du tos pačios rūšies bozonai jaučiasi ypač laimingi darydami tą patį. Fotonai yra bozonai, ir būtent intarpo principo fotonams pagrindu įmanomi lazeriai. Kai tik jiems pasitaiko galimybė, visas fotonų rinkinys stengiasi elgtis vienodai, sudarydami siaurą spektriškai grynos šviesos pluoštą.

Kontrastas tarp medžiagos ir sąveikos dalelių – fermionų ir bozonų – labai ryškus. Prireikė itin lakios vaizduotės – ir drąsos – padaryti prielaidą, kad jo ribas galima peržengti. Tačiau kvantiniai matmenys kaip tik taip ir elgiasi. Vos įžengusi į kvantinį matmenį, medžiagos dalelė tampa sąveikos dalele; vos įžengusi į kvantinį matmenį, sąveikos dalelė tampa medžiagos dalele. Tai kažkas panašaus į matematinius burtus, kurių čia nesugebėsiu tinkamai išgvildenti. Tačiau trumpai apibūdinsiu pagrindinį keistumą, kuris ganėtinai įdomus.

Įprastus matmenis atvaizduojame įprastais, vadinamaisiais „realiaisiais“ skaičiais. Pasirenkame atskaitos tašką, paprastai vadinamą koordinačių pradžia, ir pažymime bet kurį kitą tašką (realiuoju) skaičiumi, kuris rodo, kaip toli turime nukeliauti nuo koordinačių pradžios, kad jį pasiektume. Trumpai tariant, realieji skaičiai tinka atstumo matavimui ir kontinuumų žymėjimui. Jie patenkina šią daugybos taisyklę:

$$xy = yx.$$

Kvantiniuose matmenyse naudojami kitos rūšies skaičiai, kurie vadinami Grasmano (Grassman) skaičiais. Jiems taikytina kita daugybos taisyklė:

$$xy = -yx.$$

Šis mažytis minuso ženklas įveda didžiulį skirtumą! Pastebėsime, kad tarę, jog $x = y$, gausime $x^2 = -x^2$, o tada prieisime išvadą, kad $x^2 = 0$. Ši keista taisyklė užkoduoja (fizikinėje kvantinių matmenų interpretacijoje) Pauli draudimo principą: galima patalpinti du objektus į tą pačią (kvantinę) vietą.

Atlikę šiuos parengiamuosius veiksmus, esame pasirengę susipažinti su SUSY. Supersimetrija – tai tvirtinimas, kad mūsų pasaulis turi kvantinius matmenis ir kad egzistuoja transformacijos, kurios sukeičia vietomis įprastus matmenis su kvantiniais (pokytis) nepakeisdamos fizikos dėsnių (be pokyčio).

Supersimetrija, jeigu ji teisinga, taps nauju giliu grožio įsikūnijimu pasaulyje. Kadangi supersimetrijos transformacijos paverčia medžiagos daleles sąveikos dalelėmis ir atvirkščiai, supersimetrija, pagrįsta simetrija, gali paaiš-

kinti, kodėl šie dalykai negali egzistuoti vienas be kito: jie abu – tai tas pats dalykas, matomas skirtingais rakursais! Supersimetrija sutaiko akivaizdžias priešybes *in* ir *jang* dvasia.

Nuo „ne visai klaidinga“ iki „(galbūt) tiesa“

Savasas Dimopoulosas (Dimopulosas) nuolat kažkuo entuziastingai susižavi. 1981 m. pavasarį tai buvo supersimetrija. Savasas tada lankėsi naujajame Kavli teorinės fizikos institute Santa Barbaroje, kuriame buvau pradėjęs dirbti šiek tiek anksčiau. Mudu iš karto susidraugavome. Savasas buvo tikras beprotiškų idėjų generatorius, ir man patiko plėsti savo akiratį mėginant žiūrėti į jas rimtai.

Supersimetrija buvo (ir tebėra iki šiol) graži matematinė teorija. Didžiausia problema susijusi su supersimetrijos pritaikymu – šiam pasauliui ji per gera. Ji pranašauja naujas daleles – daugybę jų. Jos iš pranašautų dalelių kol kas nematėme. Pavyzdžiui, nematome dalelių su tuo pačiu krūviu ir mase kaip elektronai, bet tai bozonai, o ne fermionai.

Tačiau supersimetrija nori, kad tokios dalelės egzistuotų. Įžengęs į kvantinį matmenį, elektronas kaip tik ir tampa tokia dalele. Remdamiesi darbo su kitomis simetrijos formomis patirtimi, turime atsarginį variantą, pavadintą „savaiminė simetrijos pažaida“. Šis atsarginis variantas verčia daryti prielaidą, kad lygtys mus dominančiam objektui – o fundamentaliojoje fizikoje tai pasaulis kaip visuma – turi simetriją, tačiau jų stabilieji sprendiniai jos neturi.

Paprastas magnetas – klasikinis šio reiškinio pavyzdys. Pagrindinėse lygtyse, apibūdinančiose magneto luitą, bet kuri kryptis yra lygi bet kuriai kitai krypčiai. Tačiau kai šis luitas sudaro magnetą, pastarajam negalioja nuostata, kad visos kryptys ekvivalentiškos. Kiekvienam magnetui būdingas poliškumas, kuriuo galima pasinaudoti gaminant kompasų rodykles. Kaip toks kryptingumas suderinamas su nekryptingomis lygtimis? Reikalas tas, kad egzistuoja jėgos, kurios stengiasi sulyginti elektronų sukinius magnete *vieną su kitu*. Reaguodami į šias jėgas, visi elektronai turi pasirinkti bendrą kryptį, į kurią bus nukreiptas jų sukinys. Jėgos – ir jas apibūdinančios lygtys – bus teisingos pasirinkus bet kurią kryptį, tačiau toks *pasirinkimas yra būtinas*. Tokiu būdu šių lygčių stabilūs sprendiniai turi mažiau simetrijos nei pačios lygtys.

Savaiminė simetrijos pažaida – tai strategija, leidžianti mums vienu metu ir išlaikyti supersimetrijos pyragą sveiką, ir jį suvalgyti. Jeigu mums tai pavyksta, galime taikyti gražias (supersimetriškas) lygtis tam, kad apibūdintume ne tokią gražią (asimetrišką – arba, kaip galėtume pasakyti kitaip, subsupersimetrišką) realybę.

Konkrečiai kalbant, elektronui įžengus į kvantinį matmenį jo *masė* pasikeičia. Jeigu naujoji dalelė, kuria jis taps, vadinamasis selektronas, pakankamai sunki, nenuostabu, kad mums iki šiol nepavyko jos pamatyti. Tai bus nestabili dalelė, galinti egzistuoti labai trumpai po savo gimimo (itin) didelės energijos greitintuve.

Ties neišmanymo paribiu savaiminės simetrijos pažaidos pritaikymas apima kūrybines prielaidas. Turite sugalvoti simetriją, kuri pasaulyje nematoma, sudėti ją į savo lygtis ir parodyti, kad pasaulis – arba, jeigu kalbėsime realistiškiau, tam tikras pasaulio aspektas, kurį mėginate paaiškinti – staiga iškyla iš jų stabilių sprendinių.

Ar galime panaudoti šį atsarginį variantą supersimetrijai? Pasirodo, kurti pasaulio modelius su savaime pažeista supersimetrija, kurie būtų suderinami su viskuo, ką jau žinome, ganėtinai sunki užduotis. Praėjusio amžiaus aštuntajame dešimtmetyje, kai supersimetrija buvo ką tik sugalvota, trumpai išmėginau savo jėgas spręsdamas šį klausimą, tačiau iškart po to, kai patyriau siaubingą žlugimą, pasidaviau. Savasas – iš prigimties žymiai talentingesnis nei aš modelių kūrėjas dviem lemtingais atžvilgiais: jis nesiekia paprastumo ir niekada nepasiduoda.

Tai buvo įdomus bendradarbiavimas, primenantis *Keistąją porelę**. Kai susidurdavau su tam tikru jo modelyje numatytu sunkumu (pavadinkime jį A), jis sakydavo: „Tai nerimta problema. Manau, kad galiu ją išspręsti“, ir kitą popietę pasirodydavo jau su žymiai kruopščiau apgalvotu modeliu, kuriame problema A būdavo išspręsta. Tačiau po to mums tekdavo aptarti problemą B, ir jis galėdavo ją išspręsti jau su visai kitu, gerokai sudėtingesniu,

* *The Odd Couple* – JAV televizijos serialas (2015 – 2017 m.). *Vert. pastaba.*

modeliu. Norėdami išspręsti problemas A ir B vienu metu, turėdavome šiuos modelius sujungti, o tada iškildavo naujų problemų: taigi, čiupt už vadžių – ir vėl iš pradžių. Netrukus reikalai susikomplikavo.

Galiausiai mums šiaip ne taip pavyko sutvarkyti reikalą pritaikius išsekimo metodą. Bet kuris žmogus (įskaitant ir mus pačius), ieškojęs mūsų modeliuose trūkumų ir mėginęs išnarplioti visas su jais susijusias painiavas, pajusdavo visišką išsekimą gerokai anksčiau, nei aptikdavo naują problemą. Kai pamėginau parengti šį darbą spaudai, pasijutau kiek sukaustytas ir sutrikęs dėl jo sudėtingumo ir tam tikro laisvumo.

Savasas, kaip jau esu minėjęs, mėgaujasi sudėtingumu. Jis jau tarėsi su kitu kolega, Stuartu Raby'u (Stiuartu Rabiu), apie supersimetrijos pridėjimą prie sąveikų unifikacijos modelių, kurie ir taip buvo sudėtingi dėl kitų priežasčių.

Nejaučiau jokio entuziazmo galėdamas pateikti šią griozdišką hipotezių rietuvę. Tiesą sakant, kad galėčiau nusiplauti rankas ir pasitraukti iš šio žaidimo su švaria sąžine, norėjau parodyti, jog nieko nebus. Planavau surasti tam tikrą apibrėžtą bendrą padarinį, kuris nepriklausytų nuo gauto detalių durstinio. Jis pasirodytų klaidingas, ir štai pabaiga: boba iš ratų – ratų nekrato.

Kad būtų galima lengviau susiorientuoti ir atlikti apibrėžtus skaičiavimus, pasiūliau pradėti nuo paprasčiausio veiksmo – atmesti visą (savaiminės) simetrijos pažaidos problemą, iš kurios išplaukė diduma painiavos ir visas neapibrėžtumas. Tai leido mums realizmo atsisakymo sąskaita sutelkti dėmesį į gerus, paprastus ir simetriškus modelius. Galėjome apskaičiuoti, ar tokiuose modeliuose sąveikos susivienija. (Negalvodami apie tai, sekėme Pitagoro ir Platono pėdsakais ir, žinoma, atkreipėme dėmesį į jėzuito tėvo Malley patarimą.) Rezultatas labai nustebino, bent jau mane. Tomis dienomis atitinkami matavimai vis dar būdavo ganėtinai netikslūs, todėl ir linijos 40 pav. storesnės, reiškiančios didesnį neapibrėžtumą. Šios storesnės linijos *tikrai* iš dalies sutapo. Kitaip tariant, atsižvelgus į neapibrėžtumus, atrodė esant įmanoma, kad mažais atstumais skirtingų sąveikų jėgos iš tikrųjų susivienija. Tai buvo viliojanti detalė, žinoma šios srities teoretikams. Mano nuostabai, mūsų skaičiavimai parodė: nors supersimetriniuose modeliuose ir buvo žymiai daugiau svyruojančių skysčių, jie taip pat veikė! Atsakymai skyrėsi – priklausomai nuo to, ar būdavo atsižvelgiama į supersimetriją, ar

ne – tačiau nė vienas jų neprieštaravo surinktiems eksperimentiniams duomenims.

Tai buvo lūžis. Atidėjome į šalį visus „ne visai klaidingus" sudėtingus modelius, kuriuos mėginome detaliai pritaikyti prie tikrovės. Vietoj jų Savasas, Stuartas ir aš parašėme trumpą straipsnį, kuris, iš pirmo žvilgsnio, buvo aiškiai nerealistiškas. Nesuardant supersimetrijos tai, ką mes siūlėme, buvo pernelyg gerai šiam pasauliui. Vis dėlto tai davė rezultatą, kuris buvo toks akivaizdus ir sėkmingas, jog privertė laikyti idėją apie suvienijimų suvienijimą – kitaip tariant, apie sąveikų suvienijimą

stiprioji + silpnoji + elektromagentinė

su *supersimetrijos suvienijimu*

medžiaga + sąveika

...(galbūt) teisinga. Klausimą, kaip suardoma supersimetrija, palikome ateičiai.

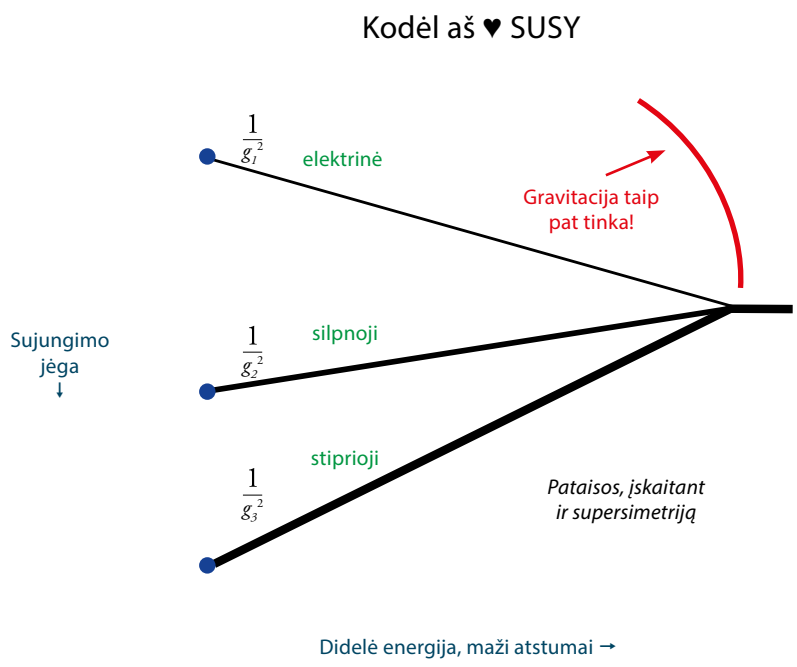
Kartais, kai norima *kažką* suprasti, pačiu svarbiausiu žingsniu tampa suvokimas, kad nebūtina nerimauti dėl *visko*. Paprastai žymiai geriau būti (galbūt) teisiam dėl kažko konkretaus, nei turėti „ne visai klaidingą" teoriją apie viską.

Sėkmę vainikuojanti brangenybė?

41 pav. parodyta, ką atskleidė mūsų skaičiavimai.

Supersimetrija įveda naujus aktyvumo šaltinius erdvėje – naujas kvantinių svyravimų (arba virtualiųjų dalelių) rūšis. Todėl turime sugrįžti prie 40 pav. (366 p.) ir įvesti į jį papildomas šių svyravimų sukeltų iškraipymų pataisas. Žinoma, pasinaudosime pačia geriausia turima eksperimentine informacija, todėl mūsų linijos išliks tokios pat plonos, kokios buvo.

Kai visa tai padarysime, viskas veiks! Skirtingų sąveikų – stipriosios, silpnosios ir elektromagnetinės – intensyvumo linijos susikerta viename taške įspūdingai tiksliai.



41 PAV. PRIDĖJUS NAUJŲ KVANTINIŲ SKYSČIŲ, KURIŲ EGZISTAVIMAS BŪTINAS SUPERSIMETRIJAI, EFEKTUS UNIFIKACIJA TAMPA TIKSLI.

Ir dar šis tas. Iki šiol ketvirtąją sąveiką, gravitaciją, palikdavome už diskusijos apie suvienijimą ribų. Toks buvo mūsų strateginis sprendimas. Kitų trijų sąveikų suvienijimas – tai žymiai labiau pribrendusi ir gerokai paprastesnė užduotis. Stiprioji, silpnoji ir elektromagnetinė sąveikos apibūdinamos labai panašiomis teorijomis. Kiekviena jų – tai lokaliosios savybių erdvės simetrijos įsikūnijimas. Ir nors šių sąveikų stebimi intensyvumai skiriasi, sprendžiant iš taškų pasiskirstymo 40 ir 41 pav., jie nėra jau tokie beprotiškai neproporcingi. Tiesą sakant, jie skiriasi mažiau nei 10 kartų.

Gravitacija skiriasi nuo jų tiek vienu, tiek kitu atveju. Ją apibūdinanti teorija – Einšteino bendroji reliatyvumo teorija – kaip jau esame kalbėję,

taip pat yra lokaliosios simetrijos įsikūnijimas, tačiau ši simetrija (lokalioji Galilėjaus simetrija) yra kitos rūšies. Dar labiau baugina jos absurdiškas nesugretinamumas pagal sąveikos jėgą. Gravitacinė sąveika tarp elementariųjų dalelių, veikiant mums prieinamoms energijoms, žymiai, žymiai, *žymiai* silpnesnė už kitas sąveikas. Jeigu kiekvienas žodis „žymiai“ atitiktų daugiklį 10, mums tektų jį pakartoti 40 kartų! Būtent todėl 41 pav. nesimato apskritimo, reiškiančio stebimą gravitacijos sąveikos intensyvumą. Nes šis apskritimas pagal mūsų schemos mastelį yra toli, *toli*, toli už regimosios visatos ribų. Reikia maždaug 27 daugiklių, lygių 10, kad galėtume pereiti nuo mūsų brėžinio matmenų prie regimosios visatos matmenų, ir dar 13 daugiklių liks!

Vis dėlto gravitaciją irgi galime įtraukti į šį žaidimą. Ir jeigu liksime atkaklūs, būsime apdovanoti.

Gravitacija *tiesiogiai* reaguoja į energiją, todėl kai ją tiriame (pasitelkę protą ir pieštuką) veikiant dar didesnėms energijoms, jos intensyvumas išauga proporcingai. Šis atviras intensyvumo augimas – kokybiškai žymiai galingesnis efektas nei kitų sąveikų intensyvumo pokyčiai, vykstantys dėl kvantinių svyravimų. Skliautas, kuriuo 41 pav. atvaizduotas atvirkščias gravitacijos intensyvumui dydis, staigiai neria žemyn. Ji ne tik sugrįžta į regimąją visatą, bet ir beveik prisijungia prie kitų trijų sąveikų, kai šios susijungia.

Taigi, jėgų susijungimo lygyje gauname visišką visų keturių pagrindinių sąveikų susivienijimą:

stiprioji + silpnoji + elektromagnetinė + gravitacinė.

Šis laimėjimas pats savaime nėra visiškai baigta suvienijimo teorija. Pavyzdžiui, veikiausiai pastebėjote, kad, jeigu pratęstume 41 pav. atvaizduotas tieses į dešinę, sąveikos vėl „išsiskirtų“! Stipriosios, silpnosios ir elektromagnetinės sąveikų unifikaciją galime sukonkretinti. Negalime išvesti visiškai unikalios teorijos – kol kas tam neturime pakankamai informacijos, tačiau galimos teorijos turi daug bendrų bruožų. Iš esmės, joms visoms būtinas naujų, labai sunkių dalelių, kaip antai pirma paminėtų mutatronų, egzistavimas. Svyravimai, susiję su šiomis dalelėmis ir neįtraukti į 41 pav., verčia susijungusias linijas susitikus nebeišsiskirti. (Iki šio momento tie svyravimai ne itin paveikūs.) Kai mėginame į šį procesą įtraukti gravitaciją, neaiškumų

padaugėja. Pagrindinis stygų teorijos tikslas – paaiškinti, kaip gravitacija susijungia su kitomis sąveikomis, tačiau kol kas šio tikslo nepavyko pasiekti.

Nepaisant tam tikro ribotumo, ši sąveikų unifikacija – puikus rezultatas. Jis atsiranda ieškant atsakymo į mūsų Klausimą apie grožį ir jį apvainikuoja. Jis su įspūdingu tikslumu ir aiškumu patvirtina, kad grožis iš tikrųjų įsikūnija pasaulyje konkrečia giluminės simetrijos forma.

O gal neįsikūnija?

Kad mūsų pasaulėvaizdis būtų pilnutinis, mums teko pasitelkti pagalbon supersimetriją. Jokių tiesioginių supersimetrijos egzistavimo įrodymų kol kas nėra, todėl ši prielaida vis dar abejotina. (Mūsų skaičiavimų sėkmė man yra stiprus *netiesioginis įrodymas*!)

Laimė, galime jį išbandyti. Jeigu naujos dalelės, kurias numato supersimetrija, įvykdys tą darbą, kurį esame joms priskyrę, jos negalės būti pernelyg sunkios. Dideles mases nuslopina kvantiniai svyravimai, taigi 41 paveikslėlį jie vėl atverstų į 40 paveikslėlį. Didysis hadronų greitintuvas netrukus turėtų sukaupti pakankamai energijos tam, kad pradėtų gaminti kai kurias iš šių dalelių. Galiu kirsti lažybų, jog tai įvyks per artimiausius penkerius metus.

TIKIME GROŽĮ

Tikime Dievą, o likusieji moka grynaisiais.

Jean Shepherd (Džinas Šeperdas), knygos antraštė

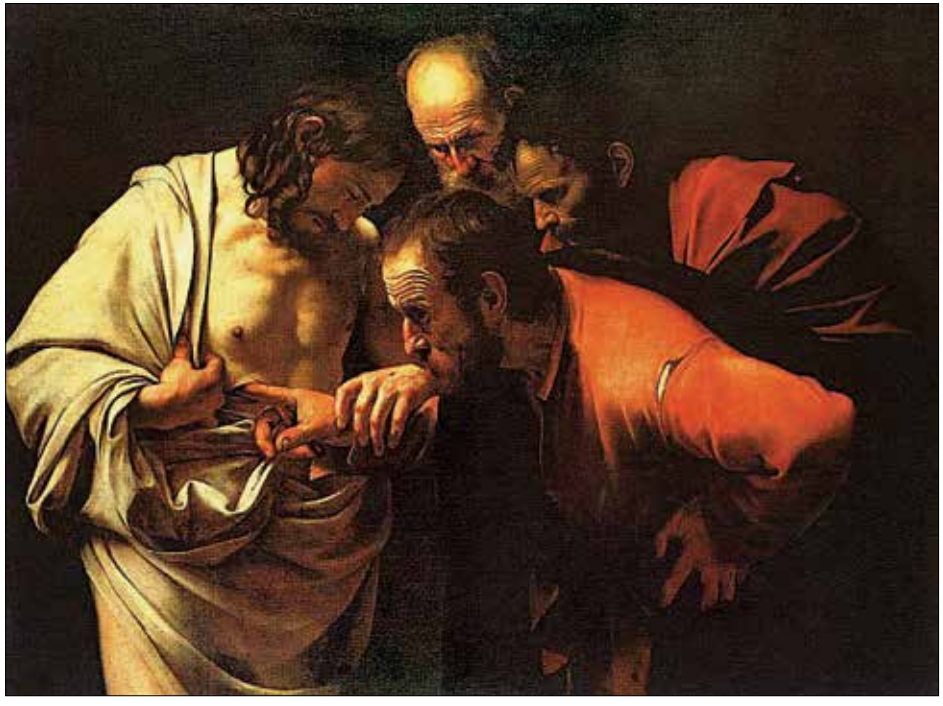
Kurdami savo teorijas, pasitikime grožiu, tačiau jų „grynoji vertė“ priklauso nuo kitų veiksnių. Tiesa itin pageidautina, tačiau ji nėra vienintelis ir pats svarbiausias kriterijus. Pavyzdžiui, Niutono mechanika (pagrįsta masės tverme) ir jo spalvų teorija (pagrįsta spektriniais tipais) nėra griežtai teisingos teorijos, tačiau jos itin vertingos. Vaisingumas – teorijos gebėjimas numatyti naujus reiškinius ir suteikti mums galios gamtos atžvilgiu – taip pat svarbi lygčių dalis.

Tikėjimas grožiu dažnai apsimokėdavo praeityje. Niutono gravitacijos teorijai metė iššūkį Urano orbita, nesutapusi su mokslininko prognozėmis. Urbenas Leverjė (Urbain Le Verrier) ir Džonas Koučas (John Couch) Adamsas, tikėję šios teorijos grožiu, ryžosi iškelti prielaidą, kad egzistuoja dar viena, niekieno lig tol nestebėta, planeta, kurios poveikiu būtų buvę galima viską paaiškinti. Jų skaičiavimai parodė astronomams, kuria kryptimi žiūrėti, ir buvo atrastas Neptūnas. Nuostabi Maksvelo sintezė, kaip matėme, išpranašavo naujas, lig šiol nestebėtas šviesos spalvas, kurios nematomos mūsų akims. Tikėdamas šios teorijos grožiu, Hercas sukūrė ir stebėjo radijo bangas. Kiek vėlesniais laikais Paulis Diracas, pasitelkęs keistą gražią lygtį, numatė, kad egzistuoja antidalelės, kurios lig tol nebuvo stebėtos, tačiau veikiausiai buvo aptiktos. Pagrindų teorija, glaudžiai susijusi su simetrija, padovanojo mums spalvotuosius gliuonus, W ir Z daleles, Higgso daleles, žavųjį kvarką ir trečiosios šeimos daleles – ir visa tai prognozių būdu, dar iki jų eksperimentinio patvirtinimo.

Tačiau pasitaikydavo ir nesėkmių. Platono atomų teorija ir Keplerio Saulės sistemos modelis – gražios teorijos, visiškai sužlugusios kaip Gamtos apibūdinimai. Kita nesėkmė – Kelvino atomų teorija. Jos autorius manė, kad atomai – tai sūkuriniai mazgeliai eteryje. (Šie mazgeliai gali būti įvairių formų, nelengvai išardomi, taigi jie galėjo atrodyti kaip tinkama medžiaga atomams.) Šios „nesėkmės“ nebuvo bevaisės: Platono teorija įkvėpė gilesnius geometrijos ir simetrijos tyrinėjimus, Keplerio modelis tapo jo puikios karjeros astronomijoje pradžia, o Kelvino modelis paskatino matematiką Piterį Tetą (Piter Tait) sukurti matematinių mazgų teoriją, kuri ir šiandien aktuali, tačiau kaip fizinio pasaulio teorijos jos beviltiškai klaidingos.

Supersimetrijos likimas dar nenuspręstas. Jos atradimas, kaip jau minėjau, apdovanotų mūsų pasitikėjimą grožiu kaip orientyrą į giluminę realybę. Turime svaraus pagrindo manyti, kad atradimas neišvengiamai artėja ir kad yra svarių priežasčių jo laukti, tačiau kol kas tai neįvyko.

Pagyvensim – pamatysim.



ILIUSTRACIJA YY. KARAVADŽO *ŠV. TOMAS NETIKINTYSIS*. TOMAS – AISTRINGAS TYRINĖTOJAS, O IR JO SIEKĮ VISKĄ PATIKRINTI SKATINA KITI.

Dvigubas palaiminimas

Remiantis istorija apie Tomą Netikintįjį, apaštalas Tomas Jėzaus prisikėlimą vertino skeptiškai ir atsisakė juo patikėti, kol negaus konkrečių įrodymų:

Jeigu aš nepamatysiu jo rankose vinių žaizdų ir neįbesiu piršto į vinių žaizdą, ir jeigu neįkišiu rankos į jo šoną, netikėsiu.[*]

Kai vėliau pasirodęs Jėzus leido Tomui ištyrinėti savo žaizdas, Tomas įtikėjo. Jėzus tarė:

Tu įtikėjai, nes pamatei. Palaiminti, kurie tiki nematę.[**]

Ši evangelija įkvėpė daugelį meno kūrinių, įskaitant ir Karavadžo paveikslą *Tomas Netikintysis* (iliustracija YY), kurį laikau rezonansiniu. Manau, kad Karavadžo interpretacija perteikia dvi gilias idėjas, peržengiančias santūroko Evangelijos teksto ribas. Visų pirma, akivaizdu, kad Jėzus nesipriešina Tomo smalsiam tyrinėjimui, o veikiau netgi jį skatina. Taip pat matyti, jog Tomas susižavėjęs ir džiaugiasi tuo, kad tikrovė išpildė jo pačius didžiausius lūkesčius. Tomas Netikintysis – tai herojus ir laimingas žmogus.

Tie, kurie tiki aklai, palaiminti tikrumo džiaugsmu. Tačiau tai trapus tikrumas ir apgaulingas džiaugsmas.

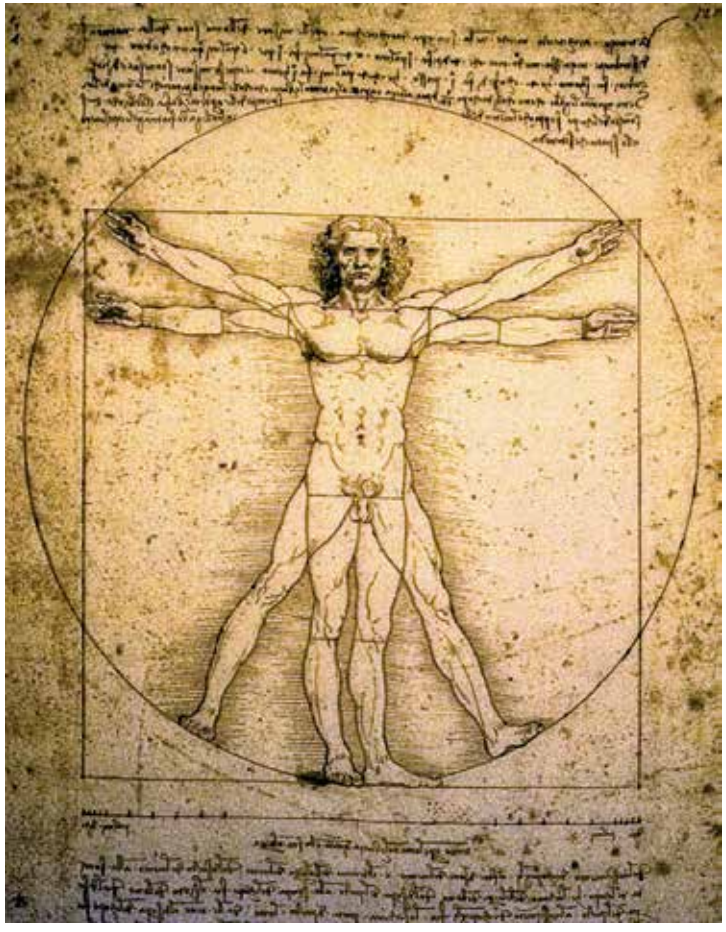
Tie, kurių tikėjimas nėra pasyvus, kurie domisi tikrove, gauna antrąjį, žymiai daugiau pasitenkinimo teikiantį palaiminimą, pagrįstą tikėjimo ir patirties harmonija. Palaiminti tie, kurie tiki pamatę.

* Evangelija pagal Joną, 20, 25. *Vert. pastaba.*

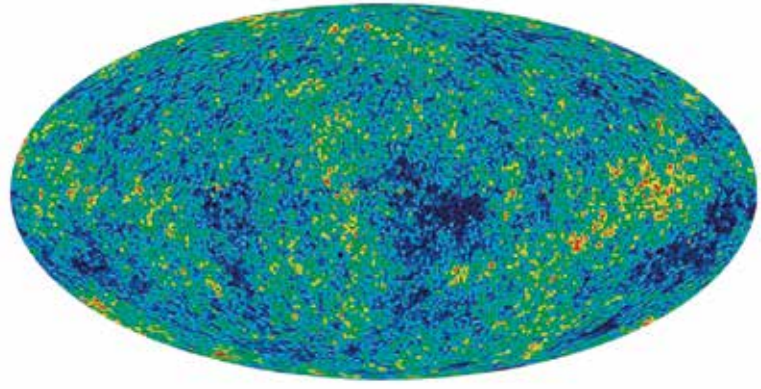
** Ten pat, 29. *Vert. pastaba.*

GRAŽUS ATSAKYMAS?

Ne visos gražios idėjos apie giluminę tikrovę teisingos. Platono geometriškai idealių atomų modelis ir Keplerio geometrinės Saulės sistemos modelis – tai pavyzdžiai, kuriuos jau aptarėme. Nepaprastas Leonardo da Vinči *Vitruvijaus žmogus* (iliustracija ZZ) daro užuominą į kitokio pobūdžio idėjas. Šis piešinys iškelia prielaidą, kad egzistuoja esminiai ryšiai tarp geometrijos ir (idealių) žmogaus proporcijų. Ši idėja siekia dar senesnes senovės filosofijos ir mistikos tradicijas ir yra žymiai populiaresnė nei Pitagoro minties srautas, kuriuo sekėme mes: link idėjos, kad žmogaus kūnas atspindi visatos sandarą, ir atvirkščiai. Deja, galimas daiktas, kad nei mes, žmonės, nei mūsų kūnai neatlieka žymaus vaidmens iš mokslinių tyrinėjimų iškylančiame pasaulio paveiksle.



ILIUSTRACIJA ZZ. GARSUSIS VITRUVIJAUS ŽMOGAUS PIEŠINYS, KURIO AUTORIUS – LEONARDO DA VINČI. KAIP IR KEPLERIO SAULĖS SISTEMOS MODELĮ, JĮ ĮKVĖPĖ GRAŽIOS, TAČIAU KLAIDINGOS IDĖJOS APIE GILUMINĘ REALYBĘ. (BET AR JOS TIKRAI KLAIDINGOS?)



ILIUSTRACIJA AAA. DETALIAI APDOROTAS MIKROBANGINIO FONO ATVAIZDAS ATSKLEIDŽIA VISATOS SANDAROS „SĖKLAS“.

Ir ne visos tiesos apie giluminę tikrovę gražios. Pagrindų teorijoje gausu neišbaigtų vietų, ir perspektyvos jas sutvarkyti ganėtinai menkos. Net jei mano svajonės apie aksionus, supersimetriją ir unifikaciją išsipildys, paini kvarkų ir leptonų masių sistema, o veikiau jos nebuvimas, ir konceptualiai neperprantama juodoji energija tebebus artimos ateities problemos.

Nepaisant to, šios meditacijos pabaigoje veikiausiai sutiksite, kad vienintelis tinkamas atsakymas į jos Klausimą

Ar pasaulis įkūnija gražias idėjas?

...yra skardus

„Taip!“

Šis atsakymas vis ryškėjo ir stiprėjo sulig kiekvienu nauju puslapiu. Realybė gerokai pranoko pačias drąsiausias Pitagoro ir Platono viltis atrasti konceptualųjį grynumą, tvarką ir harmoniją kūrinijos esmėje. Sferų muzika iš tiesų skamba, įkūnyta atomuose ir šiuolaikinėje tuštumoje, panaši į muziką įprasta prasme, tačiau savaip originali ir turtinga. Saulės sistema neįkūnija Keplerio pradinės vizijos, tačiau pats jis atrado jos dinaminių dėsnių tikslumą, o tuo pačiu ir padėjo atskleisti nepaprastą Niutono dangaus mechanikos grožį. Šviesoje iš tiesų esama žymiai daugiau, nei mums atskleidžia mūsų nuostabi rega, ir mūsų vaizduotė – ir ne tik vaizduotė! – atveria naujas Suvokimo duris. Pagrindinės Gamtos jėgos įkūnija simetriją ir yra realizuojamos jos įsikūnijimais.

Taip pat ir Leonardo da Vinči idėjų negalėsime laikyti visiškai klaidingomis, jeigu jas aiškinsime platesne prasme. Ryšys „žmogaus kūnas ↔ kosmosas“ daugiau neatrodo esantis centrinis, tačiau jam gimininga ryšys

mikropasaulis ↔ makropasaulis

klesti.

Šioje meditacijoje daugiausiai tyrėme kairiąją šios poros pusę, o dabar, pasitelkę iliustraciją AAA, pamėginkime pažvelgti už jos ribų. Tai dangaus atvaizdas, kokį matytų stebėtojas, kurio akys reaguoja į mikrobanginę spinduliuotę, o ne į regimąją šviesą. Žinoma, norėdami pateikti informaciją žmonėms suvokiama forma, šį vaizdą turėjome atitinkamai apdoroti. Spinduliuotės intensyvumą rodo tam tikra spalva. Pavyzdžiui, tamsiai mėlyna atitinka patį žemiausią intensyvumą, ryškiai raudona – patį aukščiausią, o regimųjų spalvų diapazonas interpoliuoja tarp šių kraštutinumų. Be to – lemtinga „detalė“! – pašalinome vidutinį foną, o kontrastą padidinome 10 000 kartų. Neapdorotas vaizdas atrodytų kaip beformė migla; jūsų matomas vaizdas – tai mažyčių nuokrypių nuo vidurkio paveikslas.

Šio vaizdo vyraujanti interpretacija perteikia nuostabius ryšius tarp mikropasaulio ir makropasaulio. Mikrobanginis dangus – tai sąlygų ankstyvojoje vistoje (maždaug prieš 13 mlrd. metų ir prabėgus vos 100 000 metų po Didžiojo sprogimo) momentinė nuotrauka. Anuomet išspinduliuota šviesa pasiekia mus šiandien, nukeliavusi labai ilgą kelią, ir štai kokią žinią ji perduoda mums: prieš 13 mlrd. metų visata buvo beveik visiškai vienalytė (nors gal ir nevisiškai). Joje buvo nuokrypių nuo tobulo vienalytiškumo – tik kelios dešimttūkstantosios dalelės.

Šie nuokrypiai nuo vienalytiškumo išaugo gravitacinio nestabilumo sąskaita (tankesnės sritys pritraukia medžiagą iš aplinkinių mažiau tankių sričių, ir kontrastas didėja). Galiausiai jos pagimdė galaktikas, žvaigždes ir planetas, kokias jas šiandien pažįstame. Visa tai – ganėtinai tiesmuka astrofizika, jeigu jau turime šių darinių „užuomazgas“. Taigi, kyla svarbus klausimas: kaip atsirado šios užuomazgos?

Kad būtume tikri, mums reikia daugiau įrodymų, tačiau, remiantis iki šiol surinktais duomenimis atrodo labai tikėtina, kad jos užsimezgė kaip kvantiniai svyravimai, panašūs į tuos, kurie atvaizduoti iliustracijoje XX. Dabartinėmis sąlygomis kvantiniai svyravimai svarbūs tik labai mažais atstumais, tačiau vienas epizodas iš labai labai greito plėtimosi per ankstyvąją visatos kūrimosi istoriją, kai vyko vadinamoji kosminė infliacija, gali juos padidinti iki mus supančios visatos proporcijų.

Mes, žmonės, balansuojame tarp Mikropasaulio ir Makropasaulio, nešiojamės savyje pirmąjį, jaučiame antrąjį ir suvokiame abu.

IŠ DANGAUS Į ŽEMĘ

Man bebaigiant šią knygą, įvyko vienas nemalonus dalykas, privertęs mane iš padebesių nusileisti ant žemės. Mano nešiojamąjį kompiuterį, kurį laikiau savo smegenų priedėliu, pavogė. Jaučiausi sugniuždytas.

Tačiau po to įvyko stebuklas. Buvau pasidaręs atsarginę visų savo duomenų kopiją ir jau po kelių dienų turėjau naują kompiuterį su visais atkurtais duomenimis – nuotraukomis, žodžiais, skaičiavimais, muzika ir kt. Visa tai buvo užkoduota skaičiais – nulių ir vienetų eilutėmis – taip tiksliai, jog viską pavyko atkurti be jokių apčiuopiamų pakeitimų. Man toptelėjo, jog vargu ar galima tikėtis aiškesnių, įspūdingesnių ir svaresnių šio Pitagoro teiginio teisingumo patvirtinimų:

Visi daiktai yra skaičiai.

Tai graži realybė, už kurią nesiliauju dėkojęs.

PAPILDOMUMAS KAIP IŠMINTIS

Manai, jog prieštarauju sau?
Ką gi, tada aš prieštarauju sau.
Aš platus, manyje telpa daugybė žmonių.

Voltas Vitmanas (Walt Whitman), *„Žolės lapai“*

Tyrinėdami Gamtą, atradome daugybę naujų perspektyvų. Jas ne tik sunku suderinti su kasdiene patirtimi, bet ir vieną su kita. Pasinėręs į kvantinį pasaulį, kuriame prieštaravimai ir tiesa glaudžiai susipynę, Nilsas Boras išmoko *papildomumo* pamoką: joks požiūris neišsemia realybės; įvairios

42 PAV. NILSO BORO SUKURTAS HERBAS.

perspektyvos gali būti vertingos, nors ir nesuderinamos.

In ir *jang* pradus simbolizuojantis ženklas – puikus papildomumo simbolis, ir jį šiam reikalui pritaikė Nilsas Boras. Jo abi pusės lygios, tačiau skirtingos; kiekviena jų talpina kitą ir yra patalpinta kitoje. Galimas daiktas, jog itin laiminga Nilso Boro santuoka – joks atsitiktinumas.

Kartą pripažintas, papildomumas – tai išmintis, kurią atrandame iš naujo ir patvirtiname tiek fiziniame pasaulyje, tiek už jo ribų. Aptarkime kai kurias viena kitą papildančias poras:

Suprastinimas ir gausa

- Pagrindinių Gamtos statybinių blokų labai mažai ir jie be galo paprasti. Jų savybes visapusiškai apibūdina aukštosios simetrijos lygtys.
- Objektų pasaulis platus, be galo įvairus ir neišsemiamas.

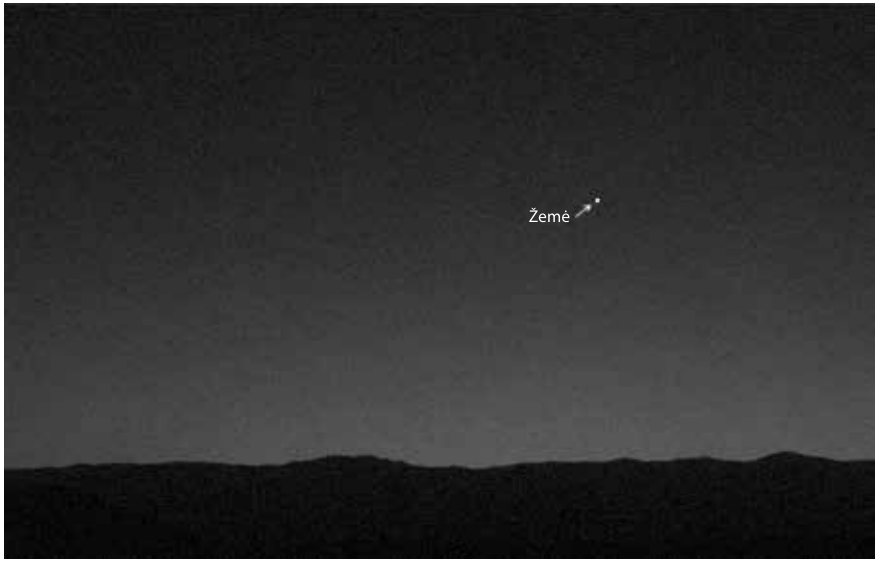
Gilesnis pagrindų suvokimas negali panaikinti patirties turtingumo. Jis gali apšviesti (ir apšviečia) patirtį nauja šviesa, kuri leidžia mums toliau ją turtinti.

Vienas pasaulis ir daugybė pasaulių

- Pavienės smegenys – maksimali pavienio žmogaus minčių talpykla, patogiai įtaisyta čia, Žemėje, gyvenančio pavienio individo kauko-

lės viduje. Dauguma žmonių didžiąją laiko dalį – kai nefilosofuoja ir negalvoja apie astronomiją – mąsto apie įvykius, kurie vyksta mažoje srityje šalia Žemės paviršiaus. Kaip tik čia rutuliojasi žmonijos istorija – didieji karai, didieji meno kūriniai ir milijardai nepaprastų „eilinių“ gyvenimų.
- Net jei pažvelgsime į Žemę iš artimojo kosmoso, pamatysime, jog tai tik mažytis taškelis, atspindintis šviesą (žr. 43 pav.).

Paskutinieji kosmologijos laimėjimai leidžia daryti prielaidą, kad dalis visatos, kurią dabartiniu metu galime ištyrinėti net ir su pačiais galingiausiais šiuolaikiniais instrumentais – tik mažytė multivisatos dalelė ir kad jos tolimi kampeliai gali atrodyti visai kitaip, nei manome. Jeigu šią paslaptį pavyktų išsiaiškinti, ji sustiprintų jau ne kartą anksčiau nuskambėjusią mintį: kiekvieno žmogaus patiriamas „pasaulis“ yra vienas tarp milijardų tokių pasaulių (bent jau po vieną kiekvienam žmogui); Žemė – tai tik viena iš keleto



43 PAV. TAIP ATRODO ŽEMĖ IŠ MARSO.

Saulės sistemos planetų; mūsų Saulė – tai tik viena iš milijardų žvaigždžių mūsų Galaktikoje, kurią vadiname Paukščių Taku; mūsų Galaktika – tik viena iš milijardų galaktikų regimojoje visatoje.

Mus supančių neaprėpiamų erdvių egzistavimas nenumaldo nei manęs, nei jūsų, nei žmonijos kaip visumos. Jis gali suteikti (ir suteikia) mūsų vaizduotei sparnus.

Objektas ir žmogus

- Aš ir jūs – tai kvarkų, gliuonų, elektronų ir fotonų rinkinys.
- Aš ir jūs – tai mąstantys žmonės.

Apibrėžtas ir laisvas

- Aš ir jūs – tai medžiaginis objektas, paklūstantis fizikos dėsniams.
- Aš ir jūs – gebame pasirinkti. Aš ir jūs – esame atsakingi už tai, ką pasirenkame.

Laikina ir amžina

- Pasaulio būsena – amžinas judėjimas, ir kiekvienas jame esantis objektas nuolat kinta.
- Sąvokos egzistuoja už laiko ribų ir, kadangi visi daiktai yra skaičiai, išlaisvina mus nuo jo įtakos.

Fizikos ir kosmologijos paribyje šis papildomumas atlieka itin svarbų vaidmenį. Šiuo metu įžvelgiame komplikuotą ribą tarp fizikos dėsnių ir pradinių sąlygų, kurią būtina peržengti. Bet kurio baigtinio stebėtojo pasaulėžiūra nuolat vystosi, tačiau kaip visuma erdvėlaikis – pati natūraliausia arena pasauliui apibūdinti – to nedaro. Sistemos kaip visumos kvantinė mechaninė banginė funkcija gali būti pastovi laike, tuo tarpu jos pavienės

dalys patiria santykinius pokyčius. (Specialistams: tai reguliariai vyksta su sudėtinių sistemų energijos tikrinėmis funkcijomis.) Kažkas labai panašaus galėjo visiškai tikti ir pasauliui kaip visumai. Pokytis be pokyčio, didingas ir vaisingas simetrijos principas, tada būtų visiškai įkūnytas, kaip kad paradoksaliai teigė Parmenidas:

> *Viena istorija, vienas kelias, dabar pasilikęs: štai jis. Ir jame ženklai, jų daug, kad būtis – tai nesukuriama ir nesugriaunama visuma, vieninga, nesilpstanti ir užbaigta.*

Paskutinė pora, kurios elementai papildo vienas kitą, užbaigia mūsų meditaciją:

Gražus ir Negražus

- Fizinis pasaulis įkūnija grožį.
- Fizinis pasaulis kupinas skurdo, kančios ir nesantaikos.

Mąstydami apie vieną pusę, neturėtume pamiršti kitos.

PADĖKOS

Šio projekto sėkla buvo suberta dirvon 2010 m., kai priėmiau Darvino koledžo Kembridže kvietimą perskaityti paskaitą apie kvantinį grožį. Norėčiau padėkoti Christopheriui Johnsonui (Kristoferiui Džonsonui) ir kompanijai *3Play Media* už itin naudingos šios paskaitos transkripcijos parengimą, o Zoe Leinhhardt (Zojai Leinhart), Philipui Dawidui (Filipui Devidui), o ypač Lauren Arrington (Loren Arington) už jų pasiūlymus ir pagalbą ruošiant ją kaip skyrių rinkiniui *Beauty (Grožis)*.

Noriu padėkoti Johnui Brockmanui (Džonui Brokmanui), kuris puoselėjo šios knygos sodinuką, nuolat mane skatindamas plėtoti ir tobulinti čia išdėstytas idėjas, ir sudomino jomis leidyklą *Penguin Press*.

Scottas Moyersas (Skotas Mojersas) ir Mally (Meli) Anderson iš *Penguin Press* man talkino nuo pat pradžių, įkvėpdami mane išmintingu entuziazmu, konstruktyvios kritikos ir kūrybinių idėjų deriniu, kuris skatino mane rašyti daugiau, o tuo pačiu ir netingėti perrašinėti. Mally, šaltakraujiškai perėmusi šio projekto vadžias į savo rankas paskutiniuose jo etapuose, jį galutinai subrandino. Taip pat esu dėkingas *Penguin Press* dailininkams ir techniniam personalui už jų profesionalumą ir atsidavimą priartinant šį nuostabų projektą prie idealo.

Alas Shapere (Šeipiras) papildė ankstyvuosius juodraščius labai naudingais komentarais.

Betsy Devine (Betsi Divain), mano žmona ir ištikima gyvenimo palydovė, įdėmiai perskaitė visą tekstą ir pateikė daug puikių pasiūlymų, kuriuos realizavus jis tapo ir aiškesnis, ir įtaigesnis. Ji taip pat pasiūlė ir apgynė idėją sudaryti terminų žodynėlį; be jos pastangų šio knygos skyriaus *(Terminai)* išvis nebūtų. Betsy taip pat padėjo man išgyventi visus kūrybinius pakilimus ir nuopuolius, kuriuos patiria veik kiekvienas panašios apimties knygų autorius.

Dėkoju savo gimtajam Masačusetso technologijos institutui *(MIT)* už nuoširdų palaikymą, kuris padėjo įgyvendinti šią avantiūrą, taip pat Arizonos valstijos universitetui už palaikymą baigiamajame projekto etape. Pačią svarbiausią knygos dalį parašiau viešėdamas Kinijoje, o ypač – per nuostabią savaitę prie Vakarų ežero. Tos stebuklingos savaitės įtaką galima pajusti daugelyje knygos vietų, pradedant frontispisu. Noriu padėkoti Vincentui Liu, Biao Wu (Biao U) ir Hongwei Xiongui (Hongvėjui Siongui) už tai, kad suorganizavo šią kelionę.

CHRONOLOGIJA

I. IKIKVANTINĖ FIZIKA

Apie 525 m. pr. Kr. Pitagoras (570 – 495 m. pr. Kr.) sukuria skaičių dėsnius geometrijai ir muzikinei harmonijai.

Apie 369 m. pr. Kr. Platono (429 – 347 m. pr. Kr.) draugas Teatetas sukuria Platono kūnų (taisyklingųjų iškilųjų briaunainių) teoriją.

Apie 360 m. pr. Kr. Dialoge *Timajas* Platonas išplėtoja atomistinę teoriją ir kai kurias kosmologines hipotezes.

Apie 300 m. pr. Kr. Euklidas (323 – 283 m. pr. Kr.) veikale *Elementai* plėtoja geometriją kaip dedukcinę sistemą.

Apie 1400 m. Filipo Bruneleski (1377 – 1446 m.) išplėtoja projekcinę geometriją kaip meninės perspektyvos pagrindą.

Apie 1500 m. Leonardo da Vinči (1452 – 1519) išpranašauja meno, technikos ir mokslo susiliejimą.

1543 m. Mikalojus Kopernikas (1473 – 1543) veikale *Apie dangaus sferų sukimąsi* siūlo heliocentrinę sistemą, pagrįstą matematine estetika.

1596 m. Johanas Kepleris (1571 – 1630) savo veikale *Mysterium Cosmographicum* siūlo Koperniko Saulės sistemos modelį, pagrįstą Platono kūnais. Vėlesniuose savo darbuose jis suformulavo planetų judėjimo empirinius dėsnius.

1610 m. Galilėjas Galilėjus (1564 – 1642) savo knygoje *Sidereus Nuncius* paskelbia apie Koperniko „miniheliocentrinę“ Jupiterio palydovų sistemą ir teigia, kad Mėnulis yra žemiškos kilmės. Savo teiginius jis grindžia stebėjimais, kuriuos atliko naudodamasis savo paties sukurtais teleskopais.

1666 m. Izaokas Niutonas (1642 – 1727) sukuria revoliucines teorijas matematinės analizės, mechanikos ir optikos srityse.

1687 m. Niutonas veikale *Mysterium Cosmographicum* išsprendžia žemiškųjų ir dangiškųjų traukos dėsnių paslaptis, susiedamas jas su matematiniais principais.

1704 m. Knygoje *Opticks* Niutonas pasakoja apie savo eksperimentus ir pateikia išvadas apie šviesos prigimtį.

1831 m. Maiklas Faradėjus (1791 – 1867) atranda elektromagnetinę indukciją.

XIX a. šeštasis ir septintasis dešimtmečiai. Nuo **1855 m.** Džeimsas Klerkas Maksvelas (1831 – 1879) pradeda leisti seriją darbų apie spalvinę regą. Po to pasirodo svarbūs jo darbai apie elektrodinamiką: *On Faraday's Lines of Force* **(1855)**, *On Physical Lines of Force* **(1861)**, *Dynamical Theory of the Electromagnetic Field* **(1864)**.

1887 m. Hainricho Herco (1857 – 1894) bandymai, susiję su elektromagnetinių bangų susidarymu ir aptikimu, patvirtina Maksvelo indukciją ir pakloja teorinius pamatus radijo, o galiausiai ir kitų nuotolinio ryšio priemonių kūrimui.

II. KVANTINĖ FIZIKA, SIMETRIJA IR PAGRINDŲ TEORIJA

1871 m. Mariusas Sofusas Li (1842 – 1899) įveda tolydžiųjų transformacijų ir simetrijos sąvokas, kurias plėtoja ir tobulina tolesniuose darbuose.

1899 m. Ernestas Rezerfordas (1871 – 1937) atranda branduolio skilimą su elektronų emisija *(beta skilimą)* kaip ypatingą radioaktyvumo formą, padėdamas pamatus eksperimentiniams silpnosios sąveikos tyrinėjimams.

1900 m. Maksas Plankas (1858 – 1947) pasiūlo energijos mainų tarp medžiagos ir šviesos kvantavimą.

1905 m. Albertas Einšteinas (1879 – 1955) pasiūlo koncepciją, pagal kurią pati šviesa egzistuoja diskrečiųjų elementų (kvantų, fotonų) pavidalu.

Einšteino specialioji reliatyvumo teorija ir bendroji reliatyvumo teorija **(1915)** – tai galingos fizikos teorijos, pagrįstos simetrijos prielaidomis. Jos paruošė dirvą vėlesniems darbams apie griežtąją (globaliąją) ir anamorfinę (lokaliąją) simetrijas.

1913 m. Hansas Geigeris (1882 – 1945) ir Ernestas Marsdenas (1889 – 1970) atlieka (Ernesto Rezerfordo patarti) sklaidos eksperimentus, kad įrodytų atomo branduolio egzistavimą.

1913 m. Nilsas Boras (1885 – 1962) pristato išbaigtą atomo modelį, pagrįstą kvantinėmis idėjomis.

1918 m. Emi Nėter (1882 – 1935) teorema nustato ryšį tarp nepertraukiamos simetrijos ir tvermės dėsnių.

1924 m. Satyendra Bose (1894 – 1974) iškelia koncepciją, pagal kurią fotonai – pavyzdžiai to, ką dabar vadiname bozonais.

1925 m. Wofgangas Pauli (1900 – 1958) įveda draudimo principą.

1925 m. Enrico Fermi (1901 – 1954) ir Paulis Diracas (1902 – 1984) pristato idėją, pagal kurią elektronai yra pavyzdžiai to, ką dabar vadiname fermionais.

1925 m. Werneris Heisenbergas (1901 – 1976) įveda šiuolaikinę kvantinę teoriją, matematiškai įrėminančią Boro idėjas.

1926 m. Ervinas Šriodingeris (1887 – 1961) pasiūlo Šriodingerio lygtį. Ši lygtis labai skiriasi nuo Heisenbergo gerokai abstraktesnio pasiūlymo, tačiau yra jam lygiavertė.

1925 – 1930 m. Paulis Diracas (1902 – 1984) serijoje puikių mokslinių darbų siūlo Diraco lygtį elektronams ir Maksvelo lygčių kvantuotą versiją. Jo triūsu kvantinė elektrodinamika *(QED)* tampa derlinga fizikos teorija.

1928 m. Hermannas Weylis (1885 – 1955) įrodo, kad Maksvelo teorijos kvantinė versija (kvantinė elektrodinamika) – tai anamorfinės simetrijos įsikūnijimas.

1930 m. Wolfangas Pauli (1900 – 1958) postuluoja, kad egzistuoja nauja dalelė – neutrinas, užtikrinanti energijos tvarumą ir judesio kiekį esant silpniems skilimams.

1931 m. Eugene'as Wigneris (Judžinas Vigneris) (1902 – 1995) įrodo griežtosios simetrijos galią kvantinėje mechanikoje.

1932 m. Enrico Fermi (1901 – 1954) pritaiko bendruosius specialiosios reliatyvumo teorijos ir kvantinės mechanikos principus silpniesiems skilimams, nustatydamas jų pagrįstumą šiame naujame pasaulyje.

1947 – 1948 m. Rezultatų, kurie nukrypsta nuo „tiesmukos" Diraco teorijos, išmatavimas: vandenilio energinių lygių poslinkis (Lambo poslinkis), kurį stebėjo Willis (Vilis) Lambas (1913 – 2008), ir „anomalus" elektrono magnetinis momentas, kurį stebėjo Polykarpas Kuschas (Polikarpas Kušas, 1911 – 1993), demonstruoja kvantinių svyravimų įtraukimo svarbą.

1948 m. Richardas Feynmanas (1918 – 1988), Julianas Schwingeris (Džulianas Švingeris) (1918 – 1994) ir Sin-Itiro (Sinitiro) Tomonaga (1906 – 1979) įrodinėja, kad Diraco kvantinė elektrodinamika, kai išsprendžiama tiksliau, apima kvantinius svyravimus (virtualiąsias daleles).

1950 m. Freemanas Dysonas (g. 1923) suteikia ankstesniam darbui tvirtą matematinį pagrindą ir pademonstruoja jo nuoseklumą.

1954 m. C. N. Yangas (g. 1922) ir Robertas Millsas (1927 – 1999) sujungia Sofuso Li bei Maksvelo ir Weilio idėjas, kad surastų lygtis, kurios įkūnija sudėtingesnes anamorfinės simetrijos formas. Šios Yango ir Millso lygtys tapo mūsų šiuolaikinės Pagrindų teorijos pamatu.

1956 m. Frederickas Reinesas (Frederikas Rainesas, 1918 – 1988) ir Clyde Cowanas (Klaidas Kouenas, 1919 – 1974) stebi neutrinų sąveiką, nustatydami jų materialiąją tikrovę.

1956 m. Tsung-Dao Lee (Džengdao Li, g. 1926) ir C. N. Yangas iškelia prielaidą, kad silpnojoje sąveikoje egzistuoja esminis skirtumas tarp kairės ir dešinės *(lyginumo pažeidimas)*. Netrukus pasirodo ir šios prielaidos eksperimentinis patvirtinimas.

1957 m. Johnas Bardeenas (Džonas Bardenas, 1908 – 1991), Leonas Cooperis (Kuperis, g. 1930) ir J. R. Schriefferis (Šriferis, g. 1931) pasiūlo epochinės svarbos superlaidumo *BCS teoriją*. Ši idėja pagrįsta savaiminės simetrijos pažaidos, įskaitant ir Higgso mechanizmą, galingomis idėjomis.

1961 m. Sheldonas Glashow (g. 1932) siūlo anamorfinę teoriją, apimančią silpnąsias ir elektromangentines jėgas.

1961 – 1962 m. Yoichiro (Joitiro) Nambu (1921 – 2015) ir Giovanni Jona-Lasinio (Džovani Džouna-Lasinio, g. 1932) įjungia savaiminės simetrijos pažaidos idėją į konkrečią elementariųjų dalelių sąveikos teoriją. Jeffrey Goldstone (Džefris Goldstounas, g. 1933) supaprastina ir apibendrina jų idėją.

1963 m. Philipas (Filipas) Andersonas (g. 1923) patvirtina masyviuosius fotonus apibūdinančių lygčių, kurias **1935 m.** išplėtojo broliai Fritzas (Fricas, 1900 – 1954) ir Heinzas (Heincas, 1907 – 1970) Londonai, o vėliau **1950 m.** Levas Landau (1908 – 1968) ir Vitaly (Vitalijus) Ginzburgas (1916 – 2009), svarbą elementariųjų dalelių fizikai.

1964 m. Robertas Broutas (1928 – 2011) ir François Englert'as (g. 1932); Peteris Higgsas (g. 1929), taip pat Geraldas Guralnikas (1936 – 2014), Carlas Hagenas (g. 1935) ir Tomas Kibble (g. 1932) sukuria konkrečius teorinius modelius, suderinančius masyvias daleles su anamorfine simetrija.

1964 m. Murray Gell-Mannas (g. 1929) ir George'as Zweigas (g. 1937) iškelia prielaidą, kad egzistuoja kvarkai, pagrindiniai hadronų sudedamieji elementai.

1964 m. Abdusas Salamas (1926 – 1996) ir Johnas Wardas (1924 – 2000) išaiškina anamorfinės elektrosilpnosios sąveikos teoriją.

1967 m. Stevenas Weinbergas (g. 1933) įtraukia savaiminės simetrijos pažaidos teoriją į anamorfinę teoriją, tuo pačiu suformuluodamas Pagrindų elektrosilpnosios sąveikos teoriją.

1970 m. Gerard'tas Hooftas (g. 1946) kartu su Martinusu Veltmanu (g. 1931) suteikia ankstesniam darbui tvirtą matematinį pagrindą ir demonstruoja jo nuoseklumą.

1970 m. Jerome'as Friedmanas (g. 1930), Henry'is Kendallas (1926 – 1999) ir Richardas Tayloras (1929) padaro fotono vidaus akimirkinę fotonuotrauką, atranda beveik laisvus kvarkus ir nežinomą elektriškai neutralią medžiagą.

1971 m. Sheldonas Glashow, Johnas Iliopoulosas (Džonas Iliopulosas, g. 1940) ir Luciano Maiani (Lučiano Meiani, g. 1941) prideda kvarkus prie anamorfinės elektrosilpnosios teorijos ir išpranašauja *c* kvarkų (žaviųjų kvarkų) egzistavimą.

1973 m. Davidas Grossas (g. 1941), Frankas Wilczekas (g. 1951) ir Davidas Politzeris (g. 1949) iškelia asimptotinės laisvės teorijas. Grossas ir Wilczekas suformuluoja tikslią stipriosios sąveikos teoriją – kvantinę chromodinamiką *(QCD)*.

1974 m. Eksperimentiniu būdu atrasti mezonai su sunkiaisiais kvarkais užtikrina pusiau kiekybinį asimptotinės laisvės ir kvantinės chromodinamikos įrodymą.

1974 m. Jogeshas Pati (Jogešas Pati, g. 1937) ir Abdusas Salamas, taip pat Howardas Georgis (g. 1947) ir Sheldonas Glashow pasiūlo unifikuoti Pagrindų teorijas.

1974 m. Howardas Georgi, Helen Quinn (g. 1943) ir Stevenas Weinbergas, taikydami asimptoninę laisvę, tiria santykinį įvairių sąveikų stiprumą.

1974 m. Juliusas Wessas (Juliusas Vesas) (1934 – 2007) ir Bruno Dzumino (Zumino) (1923 – 2014) suformuluoja supersimetriją.

1977 m. Roberto Peccei (Roberto Pečei) (g. 1942) ir Helen Quin pasiūlo naują simetriją, kad išspręstų „θ problemą".

1977 m. Wilczekas atranda Higgso dalelės dominuojantį susijungimą su įprasta medžiaga per spalvotuosius gliuonus.

1978 m. Wilczekas ir Weinbergas nustato, kad Peccei ir Quin simetrija leidžia numanyti svarbios naujos lengvosios dalelės – aksiono – egzistavimą.

1981 m. Savasas Dimopoulosas (Savasas Dimopulosas) (g. 1952), Stuartas Raby'is (Stiuartas Rabis) (g. 1947) ir Frenkas Wilczekas demonstruoja kiekybinį supersimetrijos įtraukimo į unifikaciją pranašumą.

1983 m. Keletas autorių siūlo aksionus dalelių, iš kurių, galimas daiktas, susidaro juodoji medžiaga, vaidmeniui.

1983 g. Carlo Rubbia (Karlo Rubija) (g. 1934) ir jo vadovaujama mokslininkų grupė iš dalelių fizikos laboratorijos CERN eksperimentiškai stebi vikonus (*W* ir *Z* bozonus), patvirtindami silpnųjų elektrinių jėgų anamorfinę teoriją.

XX a. paskutinysis dešimtmetis. Eksperimentai Didžiajame elektronų ir pozitronų priešpriešinių srautų greitintuve atskleidžia aiškią čiurkšlės struktūrą, suteikia galingų kiekybinių faktų, patvirtinančių asimptoninę laisvę ir kvantinę chromodinamiką.

2005 m. Kennetho Wislono (Keneto Vilsono) (1936 – 2013), Alexanderio Polyakovo (Aleksandro Poliakovo) (g. 1945) ir Michaelo Creutzo (Maiklo Kroico) (g. 1944) idėjų pagrindu, pasitelkus supergalingus kompiuterius, atliekami kvantinės chromodinamikos skaičiuojamieji patvirtinimo eksperimentai: teoriškai apskaičiuojama įvairių hadronų masė, įskaitant protonus ir neutronus.

2012 m. Higgso dalelės atradimas Didžiajame hadronų priešpriešinių srautų greitintuve.

2020 m. Mano lažybų, kad Didžiajame hadronų priešpriešinių srautų greitintuve pavyks atrasti supersimetriją, terminas baigiasi 2020 m. gruodžio 31 d. vidurnaktį.

TERMINAI

Šiame priede pateikiamos knygoje vartojamų mokslinių sąvokų, kurios gali būti nežinomos eiliniams skaitytojams, apibrėžtys ir jų trumpi komentarai. Tam tikrais atvejais šios sąvokos (pavyzdžiui, „energija“ arba „simetrija“) – tai paprasti žodžiai, pavartoti tam tikru ypatingu būdu – dažniausiai siauresne ir specialesne reikšme, nei įprasta kasdienėje kalboje. Kaip įmanydamas stengiausi paversti šį priedą organiška visumos dalimi, panaudodamas temas ir pavyzdžius iš pagrindinio teksto. Čia taip pat rasite keletą idėjų, kai kurios iš jų gražios – jas taip pat norėjau įterpti į pagrindinį tekstą, tačiau negalėjau to padaryti nepakenkdamas knygos vientisumui. Daugeliu atvejų glaustumo ir suprantamumo sumetimais turėjau aukoti tikslumą ir matematinį griežtumą.

Pastaba dėl teksto apipavidalinimo: *pasviruoju šriftu* parašyti žodynėlio straipsnių reikšminiai žodžiai arba reikšminės frazės – tam, kad skaitytojas juos iš karto pastebėtų, kitaip tariant, tai daroma siekiant pabrėžti žodžio ar frazės svarbą. **Juoduoju šriftu** parašyti terminai žymi sąvokas, aiškinamas atskiruose terminų žodynėlio straipsneliuose.

AKSIONAS

Aksionas – hipotetinė elementarioji dalelė, kurios egzistavimas suteiktų **Pagrindų teorijai** dar daugiau grožio. Dabar aksionai yra ir puikūs kandidatai į kosmologinę **juodąją medžiagą**.

Pagrindų teorija turi daugybę privalumų, tačiau turi ir nemažai estetinių trūkumų. Štai vienas iš jų:

Eksperimentiškai stebime, kad fizikos dėsniai labai artimai (tačiau nevisiškai) invariantiški laiko krypties pakeitimo atžvil-

giu. Trumpai tariant, jeigu paimsime bet kurio fizikinio eksperimento vaizdo įrašą ir peržiūrėsime jį atgaline tvarka, vaizdas, kurį matysime, vis tiek pasakos apie įvykius, paklūstančius pagrindiniams fizikos dėsniams. Žinoma, jeigu paimsime vaizdo įrašą, kuriame atvaizduotas kasdienis gyvenimas, ir žiūrėsime jį atgaline tvarka, tada tai, ką pamatysime, *nebus* panašu į kasdienį gyvenimą. Tačiau subatominiame pasaulyje, kuriame pagrindiniai dėsniai veikia visų akivaizdžiausiai, šis skirtumas išnyksta. Todėl sakome, kad fizikos dėsniai veik visiškai invariantiški laiko krypties apgręžimo atžvilgiu arba, kitaip tariant, paklūsta laiko apgrąžos simetrijai (*T* simetrijai).

Ši dėsnių savybė paklusti *T* simetrijai dera su Pagrindų teorija, tačiau nėra iki galo jos veikiama. Egzistuoja tokia sąveika tarp spalvotų **gliuonų**, kuri derinasi su visais žinomais bendraisiais principais, įskaitant **kvantinę teoriją**, **reliatyvumą** ir **lokaliąją simetriją** – taigi, remiantis Pagrindų teorija, yra „įmanoma“ – tačiau jos egzistavimas suardytų *T* simetriją.

Tiesiog pareikšti, kad tokia sąveika tikrovėje negalima, būtų **nuoseklu**, tačiau neįtikinama. Tinkamesnis atrodytų atsakymas, kurį pirmą kartą pasiūlė Roberto Peccei ir Helen Quinn – jie aiškino šį „sutapimą“ išplėsdami Pagrindų teoriją tokiu būdu, kad ji apimtų papildomą simetriją. Padarius tai tinkamai, galima būtų paaiškinti T pažeidimo menkumą. (Buvo siūloma ir daugiau potencialių paaiškinimų, tačiau nė vienas jų nepakėlė išbandymo laiku.) Šis Pagrindų teorijos išplėtimas neliko be padarinių: kaip pastebėjome mes su Stevenu Weinbergu, jis leidžia numanyti, kad egzistuoja nauja, labai lengva dalelė su nuostabiomis savybėmis – *aksionas*.

Kol kas nepavyko aptikti aksionų eksperimentiniu būdu, tačiau tai, kad jų nepavyko pamatyti, dar nieko nereiškia, nes teorija numato, kad aksionai turi labai silpnai sąveikauti su įprasta medžiaga, ir kol kas nė vienas eksperimentas negali užtikrinti reikiamo jautrumo. Kol rašiau šią knygą, keletas eksperimentuotojų grupių visame pasaulyje įtemptai dirbo, mėgindamos aptikti aksionų egzistavimo įrodymų arba patikimai paneigti jų egzistavimo tikimybę.

Galima apskaičiuoti, kiek aksionų susidarė per Didįjį sprogimą. Šie skaičiavimai rodo, kad visata yra persmelkta aksioninių dujų, iš kurių gali būti sudaryta kosmologinė juodoji medžiaga.

ALFA DALELĖ

Eksperimentinių radioaktyvumo tyrinėjimų pradžioje Ernestas Rezerfordas suskaidė spinduliuojamąją medžiagą į alfa, beta ir gama spindulius. Jie skyrėsi gebėjimu prasiskverbti į medžiagą, jautrumu magnetiniams laukams ir kitomis savybėmis. Tolesni tyrinėjimai parodė, kad alfa spinduliai sudaryti iš helio atomų 4 branduolių, kitaip tariant, jie surišti dviejų protonų ir dviejų neutronų deriniais. Šiuos branduolius vadiname alfa dalelėmis.

AMPERO DĖSNIS, AMPERO IR MAKSVELO DĖSNIS

Ampero dėsnis dabar laikomas vienos iš **Maksvelo lygčių** dalimi, nors istoriniu požiūriu jis buvo atrastas anksčiau. Originalus Ampero dėsnis skelbia, kad **magnetinio lauko cirkuliacija** aplink kreivę yra lygi **elektros srovės srautui** per bet kurį šios kreivės apribotą paviršių. Kad geriau suprastumėte šį klausimą, perskaitykite **Cirkuliacija**, **Srautas** ir **Srovė**. Jums taip pat bus naudinga spalvota iliustracija N.

Maksvelas matematinės logikos ir grožio sumetimais modifikavo Ampero dėsnį, pridėdamas prie jo dar vieną narį. Pagal galutinę Ampero ir Maksvelo dėsnio versiją magnetinio lauko cirkuliacija pagal uždarą kontūrą lygi elektros srovės srautui per bet kurį šio

kontūro ribojamą paviršių *ir* elektros srauto per šį paviršių kitimo greičiui.

Naujasis Maksvelo narys tam tikra prasme yra dualus **Faradėjaus dėsniui**. Faradėjaus dėsnis skelbia, kad kintantis magnetinis laukas gali sukurti elektrinį lauką, tuo tarpu Maksvelo terminas skelbia, kad kintantis elektrinis laukas gali sukelti magnetinį lauką.

ANALIZĖ

Fizikoje, chemijoje ir matematikoje žodžiu „analizė“ paprastai apibūdinamas tyrimas, kai tiriamasis daiktas ar reiškinys išskaidomas į sudedamąsias dalis. Tuo būdu terminas „holistinė (visapusiška) analizė“ – oksimoronas, o psichoanalizė – visai kas kita.

Du įdomūs analizės pavyzdžiai – šviesos išskaidymas į spektro spalvas ir funkcijų analizė tiriant jų pokyčius mažuose diapazonuose, kaip (diferencialinėje) **skaičiuotėje**.

ANALIZĖ IR SINTEZĖ

„Analizė ir sintezė“ – tai Niutono frazė, apibūdinanti tam tikros klasės objektų visiško ir gilaus supratimo strategiją perprantant jų paprasčiausių sudedamųjų dalių elgesį (analizė), o po to atkuriant iš šių dalių visumą (sintezė). Pats Niutonas labai sėkmingai naudojo šią strategiją tyrinėdamas šviesą, judėjimą ir matematines **funkcijas**.

Analizė ir sintezė – tai elegantiškesnis, tinkamesnis ir istoriškai labiau pagrįstas būdas išreikšti tai, kas dažnai vadinama redukcionizmu, ir šiam būdui visada neginčijamai reikėtų teikti pirmenybę.

ANALOGAS

Jeigu koks nors dydis gali kisti sklandžiai arba, kaip dažnai sakoma, nepertraukiamai, sakome, jog tai – *analoginis* dydis. Analoginiai dydžiai priešpriešinami skaitmeniniams dydžiams, kurie gali priimti tik diskretųjį verčių ruožą ir dėl to gali kisti tik netolydžiai. Remiantis šiuolaikiniais fizikos pagrindais, laiko ilgis ir trukmė – analoginiai dydžiai.

Pagal kraštutinę Pitagoro *credo* „visi daiktai yra skaičiai“ interpretaciją, visi dydžiai iš esmės yra skaitmeniniai. Tačiau negalimumas išreikšti kvadrato kraštinę ir įstrižainę kaip bendro vieneto kartotinius, taip pat Zenono judėjimo aporijos tapo ankstyvais perspėjimais, kad toks požiūris susijęs su tam tikrais sunkumais.

Skaitmeniniai dydžiai turi didelių privalumų skaičiavimų ir informacijos perdavimo požiūriu, nes leidžia ištaisyti mažas klaidas. Taigi, pavyzdžiui, jeigu žinote, kad teisingas skaičiavimo rezultatas gali būti tik 1 arba 2, o jūsų apytikslė tokio skaičiavimo versija duoda 1,0023, jeigu tik jūsų aproksimacija nėra labai netiksli, galite padaryti išvadą, kad teisingas atsakymas yra 1.

Jeigu diskretiškumo vienetas pakankamai mažas, skaitmeninis dydis gali tapti gera aproksimacija dydžio, kuris iš tikrųjų yra analoginis. Pavyzdžiui, skaitmeninę nuotrauką gali sudaryti juodi taškeliai, kurie yra taip arti vienas kito, kad žmogaus akis dėl netobulos skiriamosios gebos matys juos kaip tolygiai kintančius pilkus atspalvius, kurie priklauso nuo taškų tankio.

Matematinis analoginių dydžių apibūdinimas paprastai apima **realiuosius skaičius**, tuo tarpu paprasčiausi skaitmeniniai dydžiai apibūdinami **natūraliaisiais skaičiais**.

ANTIMEDŽIAGA, ANTIDALELĖ

1928 m. Paulis Diracas pasiūlė naują lygtį, kurią šiandien vadiname **Diraco lygtimi** ir kuria kvantinėje mechanikoje apibūdinamas elektronų elgesys. Iš šio darbo išplaukė svarbi prielaida: turi egzistuoti dalelė, **pozitronas**, turintis tokią pat masę ir sukinį, kaip ir **elektronas**, tačiau su priešingu krūviu. Šis pozitronas, dar vadinamas antielektronu, yra elektrono antidalelė. Vėlesni darbai parodė,

kad šis reiškinys – žymiai bendresnis kvantinės mechanikos ir specialiosios reliatyvumo teorijos rezultatas: kiekviena dalelė turi atitinkamą antidalelę, kuri turi tokią pačią masę ir sukinį, tačiau priešingą elektros krūvio, taip pat silpno ir stipraus spalvos krūvio bei kryptingumo reikšmę.

Antielektronų (pozitronų) egzistavimas patvirtintas eksperimentiškai 1932 m. Antiprotonai pirmą kartą pastebėti 1955 m. Būtų didžiulis sukrėtimas, jeigu dabar aptiktume dalelę, neturinčią antidalelės. **Fotonai** yra savo pačių antidalelės. (Tai įmanoma dėl to, kad jie neturi elektros krūvio, rimties masės ir egzistuoja tik judėdami šviesos greičiu.)

Susitikusios dalelė ir jos antidalelė gali virsti „grynąja energija“ – kas praktiškai reiškia bet kurią didžiulės dalelių ir jų antidalelių įvairovės grupę. Pavyzdžiui, bet kuri dalelė ir jos antidalelė gali virsti dviem fotonais arba **neutrino** ir antineutrino pora, nors dažniausiai tai ne patys tikėtiniausi padariniai. Didžiojo elektronų-pozitronų priešpriešinių srautų greitintuvo, pastatyto Tarptautinių branduolinių tyrimų centre (CERN), kuris buvo **Didžiojo hadronų priešpriešinių srautų greitintuvo** pirmtakas ir užėmė tą patį didžiulį tunelį, užduotis buvo ištirti didžiuliu greičiu priešingomis kryptimis judančių elektronų ir pozitronų anihiliaciją.

Nors terminas *antidalelė* turi aiškią ir tikslią mokslinę prasmę, terminas *antimedžiaga*, nors kartais ir gali būti naudingas, kiek labiau abejotinas arba, kaip drįsčiau teigti, šiek tiek provincialus. Kad geriau suprastume šių žodžių darybos prasmę, turėtume pradėti nuo „medžiagos“ apibrėžties (tiek pat problemiškos ir provincialios), kuri yra šios darybos atspindys. Šioje apibrėžtyje teigiame, kad tam tikros dalelės, iš kurių esame sudaryti ir su kuriomis kasdien susiduriame – kitaip tariant, *u* ir *d* kvarkai ir elektronai – tai „medžiaga“. Į šią medžiagos apibrėžtį įtraukiame ir jų artimus giminaičius – kitaip tariant, visų rūšių **kvarkus** ir visų rūšių **leptonus** (kvarkai *u, d, c, s, t, b* ; leptonus e, μ, τ, ν_e, ν_μ, ν_τ), nors jų antidaleles priskiriame antimedžiagai. Pagal šį skirstymą fotonai nepatenka nė į vieną grupę, nes jie yra savo pačių antidalelės. Šia prasme vienintelis ypatumas, kuris atskiria „medžiagą“ nuo „antimedžiagos“, yra tas, kad pirmoji dažnesnė nei pastaroji, bent jau toje visatos dalyje, kurioje esame mes. Jeigu staiga visas pasaulyje esančias daleles pakeistume jų antidalelėmis (ir tuo pačiu metu, sukeisdami dešinę su kaire, atliktume lyginumo transformaciją), skirtumą būtų labai sunku pamatyti!

Manau, kad terminas „antimedžiaga“, užuot tinkamai nušvietęs padėtį, gali ją tik supainioti, tad šioje knygoje jo vengiau. Kalbėdamas apie „medžiagą“ be smulkesnių apibūdinimų, turiu omenyje visas medžiagos formas, įskaitant (pavyzdžiui) antikvarkus, fotonus ir **gliuonus**.

ANTISIMETRIJA

Sakome, kad vykstant pokyčiui tam tikras dydis yra *simetriškas* arba kad tas dydis šio pokyčio metu nesikeisdamas demonstruoja **simetriją**. Sakome, kad dydis yra *antisimetriškas* pokyčio atžvilgiu, kai vykstant šiam pokyčiui jis keičia ženklą. Ši sąvoka gali būti pritaikyta skaitmeniniams dydžiams, taip pat **vektoriams** arba **funkcijoms**, nes visais šiais atvejais galima kalbėti apie ženklo pasikeitimą.

Pavyzdžiai: taškų **koordinatės** tiesėje bus antisimetriškos, jei pasuksime tiesę 180° koordinatės pradžios atžvilgiu. **Elektros krūvis** bus antisimetriškas pokyčio, kuris paverčia daleles jų **antidalelėmis**, atžvilgiu (žr. **Antimedžiaga**).

Pagal fundamentalų **fermionų** apibūdinimą kvantinės mechanikos **banginė funkcija**, apibūdinanti identiškų fermionų sistemą, yra antisimetriška atžvilgiu pokyčių, per kuriuos bet kurie du iš jų keičiasi vietomis.

ANTROPINIS ARGUMENTAS, ANTROPINIS PRINCIPAS

Kalbant apibendrintai, antropinis argumentas įgauna tokią formą:

„Kad galėčiau egzistuoti, pasaulis turi būti toks, koks yra.“

Prieš pradėdami išsamiau gilintis į subtilybes, aptarkime *antropinį principą* ta pačia pagrindine forma.

Labai svarbu išskirti du šio bazinio antropinio argumento aspektus: jo tikslumą ir jo aiškinamąją galią. (Žr. su šia tema susijusią diskusiją straipsnyje **Nuoseklumas**.) Priklausomai nuo to, kaip siaurai apibrėžiamas „aš“, antropiniame principe gali būti gana didelė dalis trivialios tiesos. Jei „aš“ reiškia anglies pagrindo gyvybės formą su žmogaus fiziologija, kuri patiria gyvenimą taip, kaip patyriau jį aš (tai, be kita ko, apima ir skaitymą mokslinių knygų, kuriose yra stiprių, konkrečių teiginių apie gamtinį pasaulį), tada, žinoma, fizikos dėsniai, kokius juos pažįstame, jau neminint daugybės kitų dalykų apie Žemę, Europos istoriją, mano vaikų akių spalvą ir kt., prieš tai negalėjo būti tiek skirtingi, kad būtų užkirstas kelias manojo „aš“ egzistavimui. Taigi, bazinis antropinis argumentas, priimtas paraidžiui, yra teisingas. Tačiau šis teisingas argumentas turi labai menką aiškinamąją galią, iš esmės dėl to, kad manojo „aš“ egzistavimas – visa apimanti prielaida apie viską, ką esu patyręs arba kada nors patirsiu – nepalieka nieko, kas neturėtų paaiškinimo!

Sudėtingesnės antropinio argumento versijos turi remtis laisvesnėmis „aš“ apibrėžtimis. Pavyzdžiui, galime pareikalauti, kad pasaulis su savo pagrindiniais dėsniais ir istorija suteiktų galimybę atsirasti kokios nors rūšies protingiems arba turintiems sąmonę stebėtojams. Jeigu būtų kitaip, jo nebūtų galima stebėti – ir trauk jį devynios! Vis dėlto, labai sunku apibrėžti, kas laikoma protingais stebėtojais; apsisprendus dėl apibrėžties, taip pat labai sunku suprasti, kokio pobūdžio dėsniai ir istorija nulemia protingų stebėtojų atsiradimą. Man sunku įsivaizduoti, kad tokios miglotos, slidžios idėjos leis mums įgyti pakankamą aiškinamąją galią.

Pažymėtina, kad patys didžiausi pasaulio pažinimo laimėjimai, kaip antai **Pagrindų teorija**, apima tokius konceptualius principus kaip **reliatyvumas**, **lokali simetrija** ir **kvantinės teorijos** pagrindai, kurie pritaikymo požiūriu savo forma yra abstraktūs ir universalūs. Šie principai nė kiek nepanašūs į antropinius argumentus! Akivaizdu, kad pasaulyje vyksta dalykai, esantys už jo troškimo pagaminti „mane“ ribų.

Apskritai kalbant, pagal savo prigimtį antropiniai argumentai perkelia diskusijos centrą nuo aiškinimo prie prielaidos. Kadangi jie kelia pavojų aiškinamajai galiai, jų iš principo reikėtų vengti. Tačiau tam tikromis, labai ypatingomis, aplinkybėmis antropinio aromato turintys argumentai gali būti ir vertingi, ir naudingi. Įdomių pavyzdžių žr. **Juodoji energija**, **Juodoji medžiaga**.

AROMATAS

Egzistuoja šešios skirtingos *aromatų*, **kvarkų**, rūšys. Didėjančia masės tvarka jie yra tokie: *u* (nuo anglų k. žodžio *up* – viršutinis), *d* (*down* – apatinis), *s* (*strange* – keistas), *c* (*charm* – žavus), *b* (*bottom* arba *beauty* – *apatinis* arba *grožio*), *t* (*top* – viršutinis). Kiekvienas jų „gyvena“ trimatėje spalvinių **savybių erdvėje**, ir (atitinkamai) visi jie elgiasi vienodai, kiek tai susiję su **stipriąja sąveika**. Kvarkai *u*, *c* ir *t* turi elektros krūvį, kuris lygus ⅔ protono krūvio, tuo tarpu *d*, *s* ir *b* turi **elektros krūvį**, kuri lygus ⅓ protono krūvio. Jie skirtingai ir kiek sudėtingai elgiasi silpnosios sąveikos atžvilgiu – žr. **Šeima**.

Jeigu ir egzistuoja, gili šio kvarkų pertekliaus prasmė kol kas neaiški. Iš visų kvarkų tik *u* ir *d* atlieka svarbų vaidmenį šiuolaikiniame gamtos pasaulyje, nes jų gausu **protonuose** ir **neutronuose**.

Taip pat egzistuoja ir panašus leptonų perteklius; šiuo atveju žmonės taip pat kalba apie skirtingus leptonų *aromatus*.

ASIMPTOTINĖ LAISVĖ

Stiprioji sąveika tarp dviejų **kvarkų** kinta veikiama nepertraukiamos, spontaniškos plačiai paplitusių erdvėje kvantinių laukų sąveikos. Sąveikos jėga silpnėja kvarkams artėjant vienam prie kito ir stiprėja jiems tolstant vienam nuo kito. Tai vadinama *asimptotine laisve*.

Asimptotinė laisvė turi daugybę pritaikymo sričių, apie kurias išsamiai pasakojama šioje knygoje.

Žr. taip pat **Išlaikymas** ir **Pernormavimas (pernormavimo grupė)**.

AŠINĖ SROVĖ

Ašinės srovės – tai ypatinga kategorija srovių, kurios nekeičia ženklo esant erdvinei **lyginumo** transformacijai. Tokiu būdu ašinės srovės nulemia **ašinių vektorių laukus**. Paminėjau šią gana paslaptingą sąvoką, kol ieškojau įtikinamo argumento žurnalo *Physical Review Letters* redaktoriams įvesti terminą „**aksionas**“.

AŠINIS VEKTORIUS

Žr. **Lyginumas**, kur šis terminas pateikiamas jam būdingame kontekste.

ATOMINIAI, MOLEKULINIAI IR KITOKIE SPEKTRAI

Tam tikros rūšies– pavyzdžiui, vandenilio – atomai sugeria kai kurias spektrinės šviesos spalvas žymiai efektyviau nei kitas. (Bendresne prasme, jie sugeria tam tikrų dažnių elektromagnetines bangas žymiai efektyviau, nei kitų dažnių bangas. Šiame žodynėlio straipsnelyje vartosiu ne tokią bendrą, tačiau vaizdingesnę spalvų kalbą.) Tie patys atomai kaitinami išspinduliuoja didžiąją dalį spinduliuotės tomis pačiomis spektro spalvomis. Kiekvienai atomų rūšiai būdingas savitas spalvų derinys – tai savotiški pirštų atspaudai, pagal kuriuos galime šiuos atomus identifikuoti. Atomui būdingų spalvų derinys vadinamas jo spektru.

Vienas didžiausių **kvantinės teorijos** laimėjimų – atominių spektrų nustatymo būdo atradimas. Ją pagrindžianti idėja – iki šiol gyvybingas Boro atomo modelis. Boras postulavo, kad elektronai atome gali prisiimti tik diskrečiąją **nuostoviųjų būsenų** aibę. Todėl galimos elektronų energijos vertės taip pat sudaro diskrečiąją aibę. Išspinduliuodamas arba sugerdamas **fotoną**, atomas iš vienos nuostoviosios būsenos pereina į kitą. **Energija** šiame procese **tvari**, todėl fotono energija atitinka šių abiejų nuostoviųjų būsenų energijų skirtumą. Galiausiai, įžvalgumo vainikas tenka Bohrui: fotono spektro spalva atskleidžia jo energiją. Taigi, atomo spektre užkoduotos jo galimų būsenų energijos. (Apie šį kodą kalbant dar tiksliau: spalvos elektromagnetinės bangos **dažnis**, padaugintas iš Planko konstantos, yra lygus fotono **energijai**. Žr. **Fotonas**, **Planko ir Einšteino sąryšis**.)

Galimas nuostoviąsias būsenas ir jų energiją šiuolaikinėje kvantinėje teorijoje nustatome spręsdami Šriodingerio lygtį, tačiau esminis ryšys tarp galimos atomo energijos ir jo spektro išlieka toks, kokį įsivaizdavo Boras. Žr. **Šriodingerio lygtis**.

Nors kalbėjau apie atomus, tą pačią logiką galima pritaikyti ir molekulėms, kietiesiems kūnams, **branduoliams** ir netgi **hadronams**. Branduoliuose turime reikalų su nukleonų nuostoviosiomis būsenomis, o **hadronuose** – su iš **kvarkų** ir **gliuonų** sudarytų sistemų nuostoviosiomis būsenomis, tačiau kiekvienu atveju jų sandaros paslaptys užkoduojamos jų spektruose.

Išanalizavę Saulės ir kitų žvaigždžių šviesos spektro spalvas, mokslininkai atskleidė, kad, palyginti su vidutiniu šviesos intensyvumo lygiu, kai kurios spalvos yra didesnio

intensyvumo (turi vadinamąsias „spinduliuotės linijas“), o kitos – mažesnio intensyvumo (turi vadinamąsias „sugerties linijas“). Spinduliuotės linijų ir sugerties linijų modelį galima palyginti su žinomų atomų, molekulių ir branduolių **spektrais** (išmatuotais arba apskaičiuotais). Jie atskleidžia, kas yra žvaigždės atmosferoje, parodo, ar joje yra karštų ir šaltų sričių. Spektrai pateikia labai išsamių ir įtikinamų faktų, kad visą visatą persmelkusi medžiaga susideda iš tų pačių elementų ir paklūsta tiems patiems dėsniams.

Žodžio „spektras“ reikšmė žodžių junginyje „elektromagnetinis spektras“ iš pirmo žvilgsnio labai skiriasi nuo jo reikšmės žodžių junginyje „atomo spektras“. Pirmuoju atveju juo apibūdinamas visas galimų elektromagnetinės spinduliuotės formų diapazonas, tuo tarpu antruoju atveju juo apibūdinamos konkrečios atomo skleidžiamos šviesos spalvos (**grynieji tonai**, arba *dažniai*) (kaip jau minėjome anksčiau, ši šviesa vienareikšmiškai atitinka galimus atomo nuostoviųjų būsenų energijos lygius). Tačiau pažvelgę giliau pamatysime, kad būtų visiškai teisinga teigti, jog **elektromagnetinis spektras** – tikrai kažkieno spektras, o kalbant konkrečiau – **elektromagnetinio skysčio** spektras! Juk elektromagnetinis spektras – tai galimų spalvų, kurias gali skleisti elektromagnetinis skystis, diapazonas.

ATOMINIS SKAIČIUS

Atominis skaičius – tai protonų skaičius atomo **branduolyje**. Šis skaičius nulemia branduolio elektros krūvį, taigi ir jo poveikį elektronams bei jo vaidmenį chemijoje tų atomų ir molekulių, kuriuose jis figūruoja. Branduoliai, turintys vienodą skaičių atomų, tačiau skirtingą skaičių neutronų, vadinami to paties cheminio elemento **izotopais**.

Pavyzdys: anglies-12 (C^{12}) branduoliai turi 6 protonus ir 6 neutronus, tuo tarpu anglies-14 (C^{14}) branduoliai turi 6 protonus ir 8 neutronus. Šie branduoliai turi veik tas pačias chemines savybes, todėl jie abu vadinami „anglimi“ – tačiau jų masės skirtingos. Anglies-14 branduoliai yra nestabilūs, todėl pagal jų irimą galima nustatyti biologinių mėginių amžių. (Miręs organizmas iš išorės anglies nebeima, todėl anglies-14 ir anglies-12 kiekio santykis palaikuose pamažu mažėja. Atmosferoje anglis-14 atsinaujina vykstant kosminių spindulių susidūrimams.

BAKMINSTERIO FULERENAS

Bakminsterio fulerenai – tai vien iš anglies atomų susidedančios molekulės. Jiems būdinga rutulį primenanti forma, sudaryta iš daugiakampių plokštumų. Šiame darinyje kiekvienas anglies atomo branduolys cheminiais ryšiais susijęs su kitais trimis artimiausiais branduoliais. Fulereną visada sudaro 12 penkiakampių ir kintamas (dažniausiai didesnis) skaičius šešiakampių. Labiausiai paplitęs fulerenas C_{60}, turintis 60 anglies branduolių.

Žr. taip pat **Daugiakampis**

BANGINĖ FUNKCIJA

Klasikinėje mechanikoje dalelės bet kuriuo momentu užima tam tikrą padėtį erdvėje. Kvantinėje mechanikoje dalelė apibūdinama visiškai kitaip. Tarkime, norėdami apibūdinti elektroną **kvantinėje teorijoje**, turime nustatyti elektrono *banginę funkciją*. Elektrono banginė funkcija nulemia jo **tikimybės debesį**, kurio tankis tam tikroje erdvės srityje reiškia santykinę tikimybę atrasti šį elektroną čia.

Šioje vietoje kiek patikslinsiu elektronų banginių funkcijų apibūdinimą. Kad šis apibūdinimas duotų naudos, jums teks bent kiek artimiau susipažinti su **kompleksiniais skaičiais** ir tikimybių teorija. Žvaigždele (*) pažymėta baigiamoji pastaba šiame terminų žodynėlio straipsnelyje – tai pati svarbiausia jo dalis, kurią jums privalu perskaityti net ir tuo atveju, jeigu nusprendėte tik paviršutiniš-

kai permesti akimis arba iš viso praleisti prieš ją esančias straipsnelio pastraipas.

Elektrono banginė funkcija – tai kompleksinių skaičių **laukas**. Kitaip tariant, kiekvienam erdvės taškui bet kuriuo momentu banginė funkcija priskiria kompleksinį skaičių. Toks kompleksinis skaičius vadinamas banginės funkcijos (atitinkamoje vietoje ir atitinkamu laiku) dydžiu, o kartais amplitude. Banginė funkcija paklūsta (santykinai) paprastai lygčiai, **Šriodingerio lygčiai**, tačiau pati savaime neturi akivaizdžios fizikinės prasmės.

Tai, kas iš tiesų turi tiesioginę fizikinę prasmę, yra laukas teigiamų (arba lygių nuliui) realiųjų skaičių, kuriuos gauname iš banginės funkcijos, pakėlę kvadratu jos dydį. Ši matematinė operacija leidžia mums pereiti nuo elektrono banginės funkcijos prie su juo susijusio tikimybės debesies. Elektrono atradimo tikimybė duotajame erdvės taške duotuoju laiku yra proporcinga banginės funkcijos vertės dydžio kvadratui toje pačioje vietoje ir tuo pačiu laiku.

Nors elektroną apibūdina erdvę užpildanti funkcija, nereikėtų manyti, kad tai – išplėstinis objektas. Elektroną visada stebime kaip vientisą objektą, turintį tam tikrą masę, elektros krūvį ir kt. Banginė funkcija apima informaciją apie vientisos dalelės atradimo tikimybę, o *ne* apie jos dalių pasiskirstymą.

Kvantinis-mechaninis dviejų ar daugiau dalelių apibūdinimas, savaime suprantama, taip pat pagrįstas banginėmis funkcijomis. Jis įveda naują svarbią savybę: *raizgytumą*. Esminiu naujumu pasižymi jau dvi dalelės, todėl, norėdamas išdėstyti šią idėją kiek įmanoma konkrečiau ir paprasčiau, apsistosiu ties šiuo atveju.

Kad paaiškinčiau kontekstą, kuriame iškyla raizgytumas, leiskite man pradėti nuo prielaidos apie dviejų dalelių apibūdinimą, kuris gali būti pagrįstas, tačiau klaidingas, aprašymo. Galima manyti, kad banginė funkcija dviem dalelėms turi vienos dalelės banginės funkcijos formą, padaugintą iš kitos dalelės banginės funkcijos. Pradėję nuo tokios prielaida ir, kad gautume tikimybių debesį, paėmę kvadratą pamatysime, jog bendra tikimybė surasti pirmąją dalelę taške x ir (tarkime) antrąją dalelę taške y yra lygi tikimybių surasti pirmąją dalelę taške x ir antrąją dalelę taške y sandui. Kitaip tariant, šios tikimybės yra savarankiškos. Vertinant fizikiniu požiūriu, toks rezultatas mums nepriimtinas, nes turėtume tikėtis, kad pirmosios dalelės padėtis erdvėje veikia antrosios dalelės padėtį.

Teisingas aprašymas apima banginę funkciją, sudarančią lauką šešiamatėje erdvėje, kurios koordinatės – tai trys koordinatės, apibūdinančios pirmosios dalelės padėtį, ir trys koordinatės, apibūdinančios antrosios dalelės padėtį. Kad gautume bendrą tikimybę, šį objektą pakeliame kvadratu ir paprastai atrandame, kad dalelės daugiau nėra savarankiškos. Vienos jų padėties nustatymas veikia kitos dalelės aptikimo tam tikroje vietoje tikimybę. Todėl sakome, kad jos susiraizgiusios.

Raizgytumas nėra retas kvantinės mechanikos reiškinys ar koks nors nepatikrintas šios teorijos reiškinys. Jis atsiranda, pavyzdžiui, mėginant apskaičiuoti dviejų helio atomo elektronų banginę funkciją. Helio **spektras** buvo ir išmatuotas, ir itin tiksliai įvertintas, tad matome, kad ypač susiraizgiusių kvantinės mechanikos banginių funkcijų rezultatai atitinka tikrovę.

* Mūsų klausimo kontekste beveik stebuklas – atrasti, kad šešiamatė erdvė, nuostabus kūrybinės vaizduotės produktas, yra įsikūnijusi aiškiai apibrėžtoje ir konkrečioje vietoje – helio atome. Šio atomo spektras, kai išmokstame jį perskaityti, siunčia mums sveikinimus iš šešiamatės erdvės!*

Jei norite pažvelgti į bangines funkcijas dar kitu rakursu, žr. aptarimą straipsnelyje **Kvantinė teorija.**

(Baigiamasis komentaras ir perspėjimas: terminas „banginė funkcija“ – ne pats tinkamiausias apibūdinti sąvoką, kuriai jis taikomas. Kalbant apibendrintai, „banga“ reiškia svyravimą, todėl „banginė funkcija“ turėtų reikšti funkciją, kuri svyruoja, arba funkciją, kuri apibūdina svyravimus tam tikroje terpėje, tačiau kvantinėje mechanikoje banginės funkcijos neturi svyruoti ir neapibūdina jokių kitų svyravimų. Galbūt tinkamesnis pavadinimas būtų „tikimybių lauko elektrono kvadratinė šaknis“, tačiau terminas „banginė funkcija“ mūsų kalboje ir literatūroje pernelyg giliai įsišaknijęs, kad būtų rimtai svarstoma galimybė jį pakeisti kitu.)

BANGOS ILGIS

Bangos, kurios kartojasi arba, kaip dažnai sakome, **periodiškai** kinta erdvėje, ypač svarbios ir tuo, kad atsiranda natūraliu būdu, ir tuo, kad sudaro pagrindinius elementus, iš kurių pasitelkę **Analizės ir sintezės** dvasią galime atkurti sudėtingesnius bangavimus. Gryni muzikiniai garso bangų tonai ir grynos elektromagnetinių bangų spektro spalvos yra periodiški tiek erdvėje, tiek laike (žr. **Tonas, grynasis tonas**).

Atstumas tarp paprastos bangos pasikartojimų vadinamas *bangos ilgiu*. Tokiu būdu bangos ilgis atlieka tą patį vaidmenį kitimui erdvėje, kaip ir periodas kitimui laike. Pavyzdžiai:

- Pačių žemiausių žmogaus klausai prieinamų tonų bangos ilgis (ore) lygus maždaug 10 m, tuo tarpu pačių aukščiausių žmogaus girdimų tonų bangos ilgis (ore) lygus maždaug 1 cm. Neatsitiktinai daugelis muzikos instrumentų gali prilygti vidutiniam bangos ilgiui šiame intervale, nes yra skirti išgauti žmogui girdimas garso bangas. Bosiniai vargonų vamzdžiai viename krašte ir pikolos kitame – tai du šio žmogaus girdimo diapazono kraštutinumai. Švilpukai šunims yra šiek tiek už jo ribų!
- Spektro spalvų, kurias gali matyti žmogus, bangų ilgis – nuo 400 nanometrų (4×10^{-7} m, arba 0,4 mikrometrų) mėlynajame pakraštyje ir iki 700 nanometrų raudonajame krašte. Šiuos mažus bangų ilgius gana sunku palyginti su kokiais nors mechaniniais įtaisais. Šviesos „muzikiniai instrumentai“ – tai atomai ir molekulės.

Žinoma, pasitelkus tam tikrus prietaisus „suvokimo duris“* galima atverti plačiau.

BARIONAS

žr. **Hadronas**

BE GALO MAŽAS

Šiuolaikinėje fizikoje ir matematikoje apribodami procesus apibūdiname tokius dydžius, kaip greitis ir greitėjimas. Taigi, kad nustatytume dalelės greitį, turime stebėti jos slinktį Δx per trumpą laikotarpį Δt, tada paimti santykį $\Delta x/\Delta t$ ir apibūdinti jo ribinę reikšmę, imdami vis mažesnį intervalą Δt. Pagal apibrėžtį ši ribinė reikšmė yra greitis.

Ankstyvuoju skaičiuotės periodu jos pradininkai neturėjo tvirtų pagrindų ar aiškių apibrėžčių. Jie vadovaudavosi nuojauta ir prielaidomis. Leibnicas (Leibniz) ypač mėgo idėją, kad, užuot rėmusis riba, galima tiesiog aptarti „be galo mažą“ laiko pokytį δt bei atitinkamą poslinkį δx ir paimti šių „be galo mažų“ dydžių santykį. Tačiau nei Leibnicas, nei jo mokiniai nesuformulavo šios idėjos pakankamai aiškiai. Ji ilgai, daugelį dešimtmečių, buvo netaikoma ir netgi faktiškai pamiršta, kol XX a. matematikai įrodė, kad keletu

* Terminas, pasiskolintas iš Oldouso Haksli knygos *Suvokimo durys. Vert. pastaba*.

būdų ją galima padaryti moksliškai tikslią.

Be galo mažų dydžių idėja panaši savo dvasia – nors ir priešinga savo kryptimi – į idėją, kuri nukreipia mus į **projekcinės geometrijos taškus begalybėje**. Abiem atvejais pakeičiame ribojančias *procedūras* užbaigtais *objektais*.

Be galo maži dydžiai suteikia mums naują Idealo įgyvendinimo būdą. Kol kas jie neatlieka svarbaus vaidmens fizinio pasaulio apibūdinime, tačiau, kaip graži idėja, nusipelno šio vaidmens.

BE GALO NUTOLĘS TAŠKAS, IŠNYKIMO TAŠKAS

Stovėdami vertikaliai ant plokščio paviršiaus ir žvelgdami į dvi lygiagrečias linijas, atvaizduotas šioje plokštumoje ir nusidriekusias nuo mūsų tolyn, pamatysime, kad horizonte jos tarsi susieina į vieną tašką. Jeigu mintimis nupiešime tai, ką matome, arba jeigu geometriškai suprojektuosime šias linijas drobėje, bus natūralu pridėti ribojantį tašką kaip vaizdo elementą ten, kur jos iš tiesų susieina. Tai ir bus be **galo nutolęs taškas**, arba **išnykimo taškas**. Šios konstrukcijos prasmę atvaizduojame, išplečiame ir apmąstome pagrindiniame tekste.

BENDRASIS KOVARIANTIŠKUMAS

Tai pirminis Einšteino terminas, skirtas apibūdinti **lokaliąją Galilėjaus simetriją**, esminį **bendrosios tikimybių teorijos** principą.

BENDROJI RELIATYVUMO TEORIJA

Bendroji reliatyvumo teorija – tai Einšteino **gravitacijos** teorija.

Johnas Wheeleris taip apibūdino bendrosios reliatyvumo teorijos esmę:

> *Medžiaga nurodo erdvėlaikiui, kaip jam išsilenkti. Erdvėlaikis nurodo medžiagai, kaip judėti.*

Pagrindiniame šios knygos tekste rasite smulkų šios trumpos santraukos aprašymą (ir kritiką!).

Žodis „bendroji“ pavadinime „bendroji reliatyvumo teorija“ – tai Einšteino pramanas, turėjęs apibūdinti šios naujos teorijos santykį su jo ankstesne **specialiąja reliatyvumo teorija**. Šioje meditacijoje išreiškiame šį santykį kitokia, labiau susisteminta, kalba, kuri buvo išplėtota aprašinėjant kitas sąveikas. Specialioji reliatyvumo teorija apibūdina **Galilėjaus transformaciją**, o bendroji reliatyvumo teorija – bendresnes transformacijas. Trumpai tariant, jos abi leidžia naudoti skirtingas Galilėjaus transformacijas skirtinguose erdvėlaikio taškuose. Išvertus į mūsų kalbą, bendroji reliatyvumo teorija pagrįsta **lokaliąja simetrija**, tuo tarpu specialioji reliatyvumo teorija – nelanksčia, arba kitaip (ir taip tiksliau) ***griežtąja* simetrija**.

BOZONAI IR FERMIONAI

Elementariosios dalelės skirstomos į dvi dideles klases: bozonus ir fermionus.

Pagrindų teorijoje prie *bozonų* priskiriami **fotonai**, **vikonai**, **spalvotieji gliuonai**, **gravitonai** ir **Higgso bozonai**. Tekste juos dažnai vadinu **sąveikos (jėgos) dalelėmis**. Bozonus galima sukurti ir sunaikinti pavieniui.

Bozonai paklūsta Bose įtraukimo principui. Trumpai kalbant, tai reiškia, kad du tos pačios rūšies bozonai ypač džiaugiasi darydami vieną ir tą patį. Fotonai yra bozonai, ir kaip tik Bose principu fotonams paremti lazeriai. Kai jiems suteikiama tokia galimybė, visa fotonų santalka mėgina daryti vieną ir tą patį, sukurdama siaurą spektriškai švarios šviesos spindulį.

Pagrindų teorijoje **kvarkai** ir **leptonai** yra *fermionai*. Tekste juos dažnai vadinu **medžiagos dalelėmis**.

Fermionai atsiranda ir išnyksta poromis.

Todėl jeigu turite vieną fermioną, jums nepavyks taip lengvai jo atsikratyti. Jis gali virsti kitos rūšies fermionu, arba trimis, arba penkiais, taip pat bet kokiu skaičiumi ne fermionų (t. y. bozonų, žr. anksčiau), tačiau jis negali išnykti, virsti niekuo, nepalikęs jokio pėdsako.

Fermionai paklūsta Pauli **draudimo principui**. Paprastai kalbant, tai reiškia, kad du tos pačios rūšies fermionai nemėgsta užsiimti vienu ir tuo pačiu. **Elektronai** – tai fermionai, ir Pauli draudimo principas elektronams atlieka svarbų vaidmenį medžiagos sandaroje. Skyriuje *Kvantinis grožis II* jis yra mūsų vedlys nagrinėjant turtingą anglies pasaulį.

BRANDUOLYS

Kiekvienas atomas turi mažytį centrą *(branduolį)*, kuriame yra visas jo teigiamas krūvis ir beveik visa jo masė. Kaip aprašyta skyriuje *Kvantinis grožis III*, XX a. tyrinėjant atomo branduolį buvo atskleistas dviejų naujų Gamtos jėgų, **stipriosios** ir **silpnosios** sąveikų, egzistavimas ir prieita prie mūsų nuostabiosios **Pagrindų teorijos**.

BRIAUNAINIS (POLIEDRAS)

Briaunainis – tai trimatis kūnas, turintis plokščių **daugiakampių** sienas, tiesias briaunas, kur susieina sienos, ir smailias viršūnes, kuriose susieina briaunos.

CABBIBO KAMPAS

Žr. Šeima

CIRKULIACIJA

Vektoriniai laukai, kad ir kokia jų tikroji prigimtis, matematiškai gali būti vertinami kaip įprastos tekančios terpės, pavyzdžiui, oro arba vandens, srautas. (Įsivaizduojamas srautas kiekviename taške turi greitį, kuris proporcingas vektorinio lauko vertei tame taške.) Šiame modelyje vektorinio lauko *cirkuliacija* tam tikrame taške – tai skysčio (dujų) sukamojo judėjimo matas. Pavyzdžiui, atmosferos cirkuliacija ypač didelė aplink kreives, kurios supa tornado centrą.

Apibrėžkime šią sąvoka tiksliau. Įsivaizduokite, kad mūsų kreivė sudaro siauro cilindrinio vamzdelio ašį, ir apskaičiuokime oro, kuris prateka šiuo vamzdeliu per tam tikrą laiko vienetą, kiekį, padalytą iš vamzdelio skerspjūvio ploto. (Oro srautas, įtekantis į mūsų įsivaizduojamą vamzdelį ir iš jo ištekantis, tiesiog ignoruojamas.) Tokiu atveju gausime srauto cirkuliaciją uždaru kontūru.

Pagal analogiją su srautu – kitaip tariant, laikydami elektrinį lauką greičių lauku – galime panašiu būdu apibūdinti **elektrinio lauko** arba **magnetinio lauko** cirkuliaciją uždaru kontūru. Šie dydžiai – tai pagrindinės **Maksvelo lygčių** „žvaigždės“. Žr. **Ampero dėsnis** (**Ampero ir Maksvelo dėsnis**, **Faradėjaus dėsnis**.

Čia norėčiau pridėti asmeninę kodą*, kurioje pagarbą herojams derinu su estetika. Novatoriški Faradėjaus ir Maksvelo straipsniai, kuriuose pirmą kartą buvo iškelta elektromagnetizmo kaip lauko samprata, daugiausiai susideda iš žodinių apibrėžčių ir vaizdinių – visai kaip aš šiame skyriuje, nepateikdamas įprastų matematinių lygčių, aprašiau *cirkuliaciją*, o toliau – **srautą**. Aiškiai išlaikyti galvoje tokius sudėtingus paveikslus ir nustatyti jų sąsajas – nepaprastas vaizdinės atminties žygdarbis, kuris man pasirodė pakankamai įkvepiantis ir gražus, kad imčiausi jį pakartoti. Lygčių atgaminimas vaizdiniais perkelia jas į tą patirties sritį, kuria žmonės puikiai pasirengę mėgautis.

---

* Kodà [it. coda < lot. cauda — uodega]: 1. muz. kūrinio pabaiga, baigiamoji dalis; 2. viena ar kelios papildomos eilutės soneto, rondo, trioleto ar kito griežtos strofinės sandaros eilėraščio pabaigoje. *Vert. pastaba.*

DALELIŲ ČIURKŠLĖ

Po susidūrimų didžiaenergiuose greitintuvuose, iš kurių ypač išsiskiria **Didysis hadronų priešpriešinių srautų greitintuvas**, dažnai stebimi energingų **hadronų** srautai, kurie visi juda beveik ta pačia kryptimi. Tokie srautai yra vadinami *čiurkšlėmis*.

Egzistuoja nuostabi šių čiurkšlių interpretacija, paremta kvantine chromodinamika **ir** asimptonine laisve, **kurios esmę aptarsime šiame straipsnelyje. Galime apibūdinti pradinį mūsų susidūrimo momentą, kuriame dalyvauja** stiprioji sąveika, **tiesiogiai susijusi su** kvarkais, **antikvarkais ir** gliuonais. Tačiau šios iš pradinio ugnies kamuolio atsiradusios dalelės, pasiekusios pusiausvyrą su visur esančios kvantinių skysčių kvantinės chromodinamikos aktyvumu – jų kvantiniais svyravimais arba virtualiosiomis dalelėmis, šiame procese sukuria hadronų spiečius. Kadangi energija ir judesio kiekis yra tvarūs, spiečiai paveldi tas savybes iš tų kvarkų, antikvarkų ir gliuonų, kurie juos „paleido“. Tokiu būdu, tarkim, kvarkas sukels spiečių hadronų, judančių kaip visuma to kvarko impulso kryptimi ir besidalijančių jo energija tarpusavyje – kitaip tariant, jis sukels *čiurkšlę*! Tikrai nedaug perdėsime pasakę, kad stebėdami čiurkšles galime akies krašteliu pažvelgti į kvarkų, antikvarkų ir gliuonų, negalinčių egzistuoti kaip laisvos dalelės, tikrovę. **Žr. Išlaikymas**

DANGAUS MECHANIKA

Iš pradžių terminas *dangaus mechanika* reiškė tą klasikinės mechanikos, įskaitant ir Niutono **gravitacijos** teoriją, dalį, kuri skirta apibūdinti didelių kūnų – daugiausiai planetų, jų palydovų ir kometų – judėjimą Saulės sistemoje. Šiandien terminas „dangaus mechanika“ vartojamas platesne reikšme. Juo apibūdinamas mechanikos dėsnių taikymas astrofiziniams kūnams, taip pat raketoms ir dirbtiniams palydovams. Kadangi atitinkami fizikos dėsniai gali būti taikomi visuotinai, dangaus mechanika – iš esmės specializuota mechanikos šaka, o ne savarankiška disciplina.

DAUGIAKAMPIS, TAISYKLINGASIS DAUGIAKAMPIS

Daugiakampis – tai geometrinė figūra, sukuriama jungiant taškų seką plokštumoje atkarpomis taip, kad susidarytų uždaras kontūras. Trikampiai ir stačiakampiai – visiems gerai žinomi *daugiakampių* pavyzdžiai. Daugiakampį apibūdinantys taškai – tie taškai, kuriuose susikerta jo kraštinės – vadinami viršūnėmis.

Taisyklingasis daugiakampis – tai daugiakampis, kurio visos kraštinės yra vienodo ilgio ir susieina visose viršūnėse vienodu kampu. Lygiakraštis trikampis – tai taisyklingasis daugiakampis su trimis kraštinėmis; kvadratas – tai taisyklingasis daugiakampis su keturiomis kraštinėmis ir t. t.

DAŽNIS

Jeigu turime procesą, kuris kartojasi laike, jo **periodas** – tai laikas tarp pasikartojimų, o jo *dažnis* – tai vienetas, padalytas iš periodo, arba (tai vienas ir tas pats) dydis, atvirkščias periodui. Taigi, aukšto dažnio procesas – tai procesas, kuris labai dažnai kartojasi. Dažniai matuojami atvirkštinėmis sekundėmis – vienetais, kurie Hainricho Herco, **elektromagnetinės spinduliuotės** atradėjo, garbei dar vadinami hercais.

Pavyzdžiai: jeigu procesas pasikartoja kas 20 sekundžių, jo dažnis lygus 0,5 herco. Jeigu procesas pasikartoja du kartus per sekundę – jo dažnis lygus 2 hercams. Jauni sveiki žmonės gali girdėti oro virpesius, arba garso bangas, jeigu šių virpesių dažnio diapazonas – nuo 20 iki 20 000 hercų. Žmogaus akys junta elektromagnetines bangas, kurių dažnis svyruoja nuo 4×10^{14} iki 8×10^{14} hercų – tai gana spartus virpesių tempas!

DIDYSIS HADRONŲ PRIEŠPRIEŠINIŲ SRAUTŲ GREITINTUVAS

Didysis hadronų priešpriešinių srautų greitintuvas (angl. *LHC – Large Hadron Collider*) – tai įrenginys CERN laboratorijoje netoli Ženevos. Pagrindinis šio projekto tikslas – ištirti esminius procesus, kurie vyksta itin didelei energijai veikiant mažesniais atstumais ir mažesne trukme, nei buvo kada nors bandyta.

Tai atliekama tokiu būdu: **protonams** suteikiama itin didelė **judėjimo energija** ir iš jų formuojami du siauri pluoštai. Pluoštai yra viduje milžiniško požeminio žiedo, kurio perimetras – 27 km. Čia jie cirkuliuoja priešingomis kryptimis, o jų trajektorijos išlaikomos galingais magnetais. (Žiedas turi būti didelis, o magnetai galingi, nes nukreipti tokius energingus protonus nuo tiesiaeigio judėjimo itin sunku!) Keliuose stebėjimo punktuose protonų pluoštai priverčiami kirstis. Milžiniška energija skriejantys priešingomis kryptimis protonų pluoštai susiduria, ir per šiuos susidūrimus labai mažoje erdvės srityje susikoncentruoja didžiulis energijos kiekis, atkurdamas ekstremalias sąlygas, kurios paskutinį kartą stebėtos pirmosiomis Didžiojo sprogimo akimirkomis. Didžiuliai įmantrūs „detektoriai“ – prietaisai, savo dydžiu siekiantys dešimtis metrų visais trimis matmenimis, prikimšti pačios moderniausios elektroninės technikos – iš šių susidūrimų padarinių išgauna fizikinę informaciją, kurią vėliau analizuoja didelės aukštos kvalifikacijos mokslininkų komandos, talkinamos galingų pasaulinio tinklo kompiuterių.

Šis greitintuvas – daugiau nei reikšmingas mūsų civilizacijos priedas prie Egipto piramidžių, Romos akvedukų, Didžiosios kinų sienos ir Europos katedrų: visi jie yra nuostabūs kolektyvinių žmonių pastangų ir jų technologinių laimėjimų paminklai.

2012 m. liepą su hadronų greitintuvu dirbantys mokslininkai paskelbė atradę Higgso bozoną. Jei norite apie pastarąjį sužinoti daugiau, skaitykite skyriaus *Kvantinis grožis III* 3 dalį. Vėlesniuose eksperimentuose, naudojant dar didesnę energiją, bus patikrintos intriguojančios idėjos apie sąveikų **unifikaciją** ir **supersimetriją**, aprašytos skyriuje *Kvantinis grožis IV*.

DINAMIKOS DĖSNIS, DINAMIKOS LYGTIS

Dinamikos dėsniai – tai dėsniai, kurie nusako, kaip dydžiai keičiasi bėgant laikui. Dinamikos dėsniai formuluojami *dinamikos lygtimis*.

Pavyzdys: antrasis Niutono dėsnis, apibūdinantis judėjimą, nusako kūnų **pagreitį**, kuris rodo, kaip kūno judesio **greitis** pakinta per laiko vienetą.

Priešingas pavyzdys: **tvermės dėsniai**, priešingai, teigia, kad fizikinės sistemos dydžiai bėgant laikui nekinta.

Pagrindiniai mūsų **Pagrindų teorijos** dėsniai – tai dinamikos dėsniai, tačiau tam tikriems ypatingiems dydžiams jie numato tvermės dėsnius.

Antras kontrapavyzdys: Pagrindų teorija apima tam tikrą skaičių vadinamųjų *laisvųjų parametrų*. Tai dydžiai, dalyvaujantys lygtyse, kurių vertės nėra apibrėžtos jokiais bendrais principais, o veikiau paimtos iš eksperimento. Jie sutartinai laikomi nekintančiais laike.

Galimas kontrapavyzdžio kontrapavyzdys: pagrindinė **aksionų** fizikos idėja teigia, kad vienas iš šių parametrų, vadinamasis parametras θ, paklūsta bendresnės teorijos dinamikos lygčiai. Šioje bendresnėje teorijoje „sutapimas“, kad stebima vertė θ labai maža, tampa *dinamikos lygties* sprendinio padariniu. Apskritai kalbant, galima viltis, kad kiti Pagrindų teorijos laisvieji parametrai kada nors bus nustatyti išsprendus dinamikos lygtis galingesnių teorijų pagrindu (žr. taip pat **Pradinės sąlygos**).

DIRACO LYGTIS

1928 m. Paulis Diracas (1902 – 1984) pasiūlė **dinamikos lygtį**, apibūdinančią **elektronų** elgesį **kvantinėje mechanikoje**, kurią šiandien vadiname *Diraco lygtimi*. Diraco lygtis patikslina ankstesnę **Šriodingerio** lygtį elektronui beveik lygiai taip pat, kaip Einšteino lygtis mechanikai patikslina Niutono lygtis. Abiem atvejais naujosios lygtys suderintos su **specialiąja reliatyvumo** teorija, tuo tarpu tos paprastesnės lygtys, kurias jos pakeitė, su šia teorija nesuderintos. (Ir abiem atvejais naujosios lygtys, apibūdindamos kūnų, kurie juda žymiai mažesniu greičiu nei skrieja šviesa, elgesį, atkartoja pirmųjų lygčių prognozes.)

Šalia sprendinių, apibūdinančių skirtingų judėjimo (ir sukinio) būsenų elektronus, Diraco lygtis turi papildomų sprendinių. Šie sprendiniai apibūdina daleles, turinčias tokią pačią masę kaip ir elektronai, tačiau priešingą elektros krūvį. Šios naujos dalelės vadinamas antielektronais, arba **pozitronais**. Pozitronų egzistavimas eksperimentiškai patvirtintas 1932 m. Tai padarė Carlas (Karlas) Andersonas, tyrinėdamas kosminę spinduliuotę. Žr. taip pat **Antimedžiaga**

Diraco lygtis su atitinkamais (labai nežymiais) pakeitimais apibūdina ne tik elektronų, bet ir kitų turinčių **sukinį** ½ elementariųjų dalelių, įskaitant **kvarkus** ir **leptonus**, elgesį,– kitaip tariant, pagrindiniame tekste aprašytų medžiagos dalelių elgesį. Su kiek didesniais pakeitimais ši lygtis apibūdina ir **hadronų** su sukiniu ½, įskaitant **protonus** ir **neutronus**, elgesį.

ELEKTRA

Elektra – talpi sąvoka, taikoma plačiam su **elektros krūvių** poveikiu ir elgsena susijusių reiškinių spektrui.

ELEKTRINIS LAUKAS, ELEKTRINIS SKYSTIS

Elektrinio lauko stipris bet kuriame taške apibūdinamas kaip elektrinės **jėgos**, veikiančios tame taške esančią elektringąją dalelę, ir jos **elektros krūvio** santykis. Jėga – tai **vektorinis** dydis, todėl elektrinis laukas – **vektorinis laukas**.

Šis apibūdinimas plačiai vartojamas molekulinėje biologijoje, chemijoje, elektrotechnikoje ir kitose taikomojo mokslo srityse. Tačiau fundamentaliojoje fizikoje, kur svarbūs **kvantiniai svyravimai**, tokio apibūdinimo taikymas problemiškas, nes svyruoja ir jėgos, ir dalelių padėtys. Jį galima taikyti kaip apytikslę sąvoką, išvedant tam tikrą vidurkį laike ir erdvėje.

Fundamentaliojoje fizikoje įsitvirtino kitoks, šias problemas aplenkiantis, požiūris. Netvirtiname, kad mūsų vartojamos sąvokos kiekviename etape atitinka stebimus dydžius. Tikrai norime, kad visi stebimi dydžiai atsidurtų kokiose nors lygtyse, tačiau galime laikyti – ir laikome – jog patogu įtraukti į jas šį tą daugiau! (Žr. straipsnelį **Pernormavimas**)

Taip nusiteikęs apibūdinu *elektrinį skystį* kaip erdvę užpildantį aktyvų *kažką*, kas atsiranda **Maksvelo lygtyse**.

Būtinybė atskirti vieną nuo kitos elektrinio lauko ir elektrinio skysčio sąvokas taps skaidri kaip krištolas, jeigu pagalvosime, kaip suprasti teiginį, kad „elektrinis laukas tarpgalaktinėje erdvėje išnyksta“. Šis teiginys turės prasmę (ir bus apytiksliai teisingas), jeigu priimsime elektrinio lauko apibrėžtį per jo sukuriamų jėgų vidurkį. Kita vertus, būtų visiškai klaidinga teigti, kad kvantomechaninė esybė, figūruojanti Maksvelo lygtyse ir demonstruojanti savaiminį aktyvumą, kažkur pradingsta. Todėl įprasta terminija, nedaranti skirtumo tarp šių dviejų sąvokų – pačios esybės ir jos vidurkio – iš esmės ydinga. (Neatrodo, kad ši yda keltų itin didelį rūpestį kai kuriems fizikams, tačiau ji kelia rūpestį man!) Išsprendžiame šią problemą pavadindami pačią esybę elektriniu skysčiu, o jos vidutinę reikšmę, arba vidurkį – *elektriniu lauku*.

(Kita vertus, jeigu bus išvengta painiavos, kartais terminu *elektrinis laukas* vadinsiu tiek esybę, tiek jos vidutinę reikšmę. Blogi įpročiai gajūs.)

Žr. taip pat **Kvantinis skystis**

ELEKTRODINAMIKA, ELEKTROMAGNETIZMAS

Šios dvi sąvokos vartojamos pakaitomis apibūdinant mokslo sritį, susijusią su **elektra**, **magnetizmu** ir jų tarpusavio ryšiu.

Dar nuo Faradėjaus ir Maksvelo veiklos laikų žmonės suprato, kad elektra ir magnetizmas glaudžiai susiję. Pagal **Faradėjaus dėsnį**, kintantys laike magnetiniai laukai sukuria elektrinius laukus, o pagal **Maksvelo dėsnį**, kintantys laike elektriniai laukai sukuria magnetinius laukus (žr. **Maksvelo dėsniai**). **Elektromagnetinės bangos**, iškylančios iš šių dėsnių sąveikos, turi savyje ir elektrinius, ir magnetinius laukus.

Iš specialiosios reliatyvumo teorijos sužinome, kad **Galilėjaus transformacijos** transformuoja elektrinį lauką į magnetinį lauką ir atvirkščiai (kaip ir skysčiai).

ELEKTROMAGNETINĖ BANGA

Derindami **Faradėjaus dėsnį**, pagal kurį kintantys magnetiniai laukai sukuria elektrinius laukus, su **Maksvelo dėsniu**, pagal kurį kintantys elektriniai laukai sukuria magnetinius laukus, aptinkame šiuose laukuose savarankiško aktyvumo požymių. Šis savarankiškas aktyvumas įgauna erdvėje šviesos greičiu sklindančių **skersinių bangų** formą. Šias bangas vadiname *elektromagnetinėmis bangomis*.

Maksvelas atrado elektromagnetinių bangų egzistavimo galimybę ir apskaičiavo jų greitį. Nustatęs, kad šis sutampa su šviesos greičiu, jis iškėlė teiginį, kad šviesa sudaryta iš elektromagnetinių bangų. Šis teiginys iki šiol tebėra mūsų esminis šviesos apibūdinimas.

Regima šviesa sudaro tik mažą elektromagnetinio spektro pluoštelį. Šis spektras apima visų galimų **ilgių elektromagnetines bangas**. Dabar žinome, kad ne tik šviesa, bet ir radijo bangos, **mikrobangos**, infraraudonoji spinduliuotė, ultravioletinė spinduliuotė, rentgeno spinduliai ir gama spinduliuotė – tai skirtingų ilgių ir **dažnių** elektromagnetinės bangos.

ELEKTROMAGNETINIS SKYSTIS, ELEKTROMAGNETINIS LAUKAS

Kadangi elektrinis ir magnetinis laukai glaudžiai sąveikauja, ganėtinai patogu ir teisinga juos nagrinėti kaip nedalomą visumą. *Elektromagnetinis skystis* – tai tiesiog skystis, kurio sudedamosios dalys yra elektrinis ir magnetinis skysčiai. Elektromagnetinis laukas bet kuriame taške – tai elektromagnetinio skysčio tame taške vidurkis.

ELEKTROMAGNETINIŲ BANGŲ SPEKTRAS

Žr. **(Šviesos) spalva**

ELEKTRONAS

Elektronas – viena iš normaliosios medžiagos sudedamųjų dalių. Pirmą kartą elektronus aiškiai identifikavo J. J. Thomsonas 1897 m.

Pagrindų teorijoje *elektronai* – tai **elementariosios dalelės**, jie apibūdinami per lygtis, kurias tenkina.

Įprastoje medžiagoje elektronai turi neigiamą **elektros krūvį**. Nors sudaro labai menką tokios medžiagos dalį, jie atlieka itin svarbų vaidmenį chemijoje ir medžiagų sandaroje. Kontroliuojamas elektronų valdymas – kitaip tariant, elektronika plačiąja šio žodžio prasme – tai didžiosios šiuolaikinės technologijų civilizacijos dalies pagrindas.

ELEKTRONINIS SKYSTIS

Elektroninis skystis – tai pasaulio erdvę užpildantis aktyvus **kvantinis skystis**, arba **terpė**. Pagal kvantinę teoriją, kuri mūsų Pagrindų teorijoje naudojama pasauliui apibūdinti, elektronai ir jų antidalelės – antielektronai, arba pozitronai – tai elektroninio skysčio trikdžiai. Taip apibūdintos, jos primena vandens bangas, kurios, nesutikusios kliūčių, išlieka tvarios ir juda (arba, kaip kartais sakome, „sklinda“) ilgai ir dideliais atstumais.

Egzistuoja panašūs skysčiai, susiję su kiekviena elementariųjų dalelių rūšimi. (Fizikai skirtoje literatūroje jie dažnai vadinami „**kvantiniais laukais**“.) Šie erdvę užpildantys skysčiai egzistuoja kartu – vieno jų buvimas nepaneigia bet kurio kito buvimo. Pagrindų teorijos **dinamikos lygtys** apibūdina, kaip jie vienas kitą veikia.

Kaip ir daugelis idėjų, kuriomis remiamės apibūdindami medžiagą, mūsų dabartinis elektronų suvokimas pagrįstas sąvokomis, kurios pirmą kartą iškilo **elektromagnetizmo** ir šviesos tyrinėjimų procese. Elektroninis skystis labai panašus į **elektromagnetinį skystį**, tad dabar vertiname elektronus kaip mažiausią trikdį elektroniniame skystyje. Jie, kaip ir **fotonai** elektromagnetiniame skystyje, yra šio skysčio kvantai.

ELEKTROS KRŪVIS

Šiuolaikinėje fizikoje, o ypač mūsų **Pagrindų teorijoje**, *elektros krūvis* – tai pirminė medžiagos savybė, kurios negalima aiškinti kažkuo paprastesniu. Elektros krūvis – tai **diskretusis** (skaitmeninis) **tvarus** dydis, į kurį reaguoja **elektromagnetiniai laukai**.

Pati paprasčiausia elektros krūvio apraiška – gebėjimas generuoti **jėgas**. Pagal Coulombo dėsnį, dvi elektringosios dalelės yra veikiamos elektros jėga, proporcinga jų elektros krūvių sandaugai (ir atvirkščiai proporcinga atstumo tarp jų kvadratui). Jeigu elektros krūviai turi tą patį ženklą, tarp jų veikia stūmos jėga, o jeigu krūvio ženklai priešingi, tarp jų veikia traukos jėga. Atitinkamai, tarp dviejų protonų (kaip ir tarp dviejų elektronų) veikia elektrinė stūmos jėga, o tarp protono ir elektrono – traukos jėga.

Elektros krūvis visada yra protono krūvio sveikų skaičių kartotinis. Protonų atžvilgiu elektronai išlaiko tolygų, tačiau priešingo ženklo elektros krūvį. (Teoriškai **kvarkai** protono krūvio atžvilgiu turi trupmeninį krūvį. Tačiau kvarkai negali egzistuoti kaip pavienės dalelės, o tik kaip sudedamoji **hadronų** dalis. Hadronų elektros krūviai visada yra sveikųjų skaičių kartotiniai protono krūvio atžvilgiu.)

ELEKTROS SROVĖ

Žr. **Srovė**

ELEMENTARIOJI DALELĖ

Dalelę vadiname *elementariąja*, jeigu ji paklūsta paprastoms lygtims. Remiantis **Pagrindų teorija**, **kvarkai**, **leptonai**, **fotonai**, **vikonai**, spalvotieji **gliuonai**, **gravitonai** ir **Higgso dalelė** – tai elementariosios dalelės.

Kadaise manėme (o gal veikiau vylėmės), kad **protonai** ir **neutronai** yra elementariosios dalelės, tačiau vėlesni tyrimai parodė, kad jie nepaklūsta paprastosioms lygtims. Atomai ir molekulės taip pat nėra elementariosios dalelės. Visais šiais atvejais dabar suprantame, kad šie objektai – protonai, neutronai, atomai ir molekulės – yra sudėtiniai dariniai, sudaryti iš paprastesnių dalelių. Iš tikro jie sudaryti iš kelių Pagrindų teorijos elementariųjų dalelių (būtent iš *u* ir *d* kvarkų, spalvotųjų gliuonų, **elektronų** ir fotonų).

ELIPSĖ

Elipsė – tai plokščia geometrinė figūra, panaši į ištemptą apskritimą. Paprastai elipsės apibūdinamos taip: pasirenkame porą taškų *A* ir *B* ir atstumą *d*, didesnį, nei atstumas tarp *A* ir *B*. Tada su sąlyga, kad atstumų nuo *A* iki *P* ir nuo *B* iki *P* suma lygi *d*, visų

taškų rinkinys *P* yra elipsė. Taškai *A* ir *B*, kurie patys nepriklauso elipsei, vadinami jos židinio taškais, arba tiesiog židiniais.

Apskritimai – tai ypatingi elipsių atvejai. Jie atsiranda, kai *A* ir *B* sutampa. Kai *d* tampa žymiai didesnis nei atstumas tarp *A* ir *B*, elipsė pasidaro beveik apskrita. Kai *d* mažėja toliau ir tampa tik šiek tiek didesnis nei atstumas tarp *A* ir *B*, elipsė virsta ovalu, glaudžiai apjuosiančiu *A* su *B* jungiančią atkarpą; ribiniais atvejais, kai *d* susilygina su atstumu tarp *A* ir *B*, elipsė degeneruoja į šią atkarpą.

Elipsę galima apibūdinti keletu kitų labai skirtingų, tačiau matematiškai lygiareikšmių būdų. Vienas iš jų, mano mėgstamiausias, yra lengvai įsivaizduojamas: nubraižykite apskritimą ant guminio lakšto, o tada tolygiai įtempkite šį lakštą tam tikra pasirinkta kryptimi. Tada šis apskritimas pavirs elipse; taip galima gauti visas elipses.

Elipses nepaprastai uoliai tyrinėjo senovės graikų geometrai vien dėl to, kad jos jiems atrodė gražios. Po daugelio šimtmečių Kepleris, nuodugniai išstudijavęs Tycho Brahės astronominius stebėjimus, atrado, kad aplink Saulę skriejančių planetų orbitos viename iš židinio taškų sudaro elipses su Saule. Nors Kepleris iš pradžių su širdgėla atsisakė „idealių“ apskritų orbitų, žvelgiant retrospektyviai toks graikų geometrijos įsikūnijimas atrodo veik stebuklingas pavyzdys to, kaip Idealus tampa Realiu.

Keplerio dėsniai apie planetų judėjimą paskatino Niutoną sukurti mechanikos ir gravitacijos teorijas. Niutono teorijos leidžia mums pamatyti, kad planetos skrieja aplink Saulę tik apytikriai elipsinėmis orbitomis, nes jas iškraipo kitų planetų gravitacinės jėgos. Didžiausias grožis šiuo atveju veikiausiai slypi pačiuose **dinamikos dėsniuose**, o ne jų sprendiniuose. Daugiau apie tai sužinosite perskaitę šios knygos skyrių *Niutonas III*.

ENERGIJA, KINETINĖ ENERGIJA, MASĖS ENERGIJA, JUDĖJIMO ENERGIJA, POTENCINĖ ENERGIJA IR LAUKO ENERGIJA

Energija kartu su **judesio kiekio momentu** ir **kinetiniu momentu** yra vienas iš pačių nuostabiausių klasikinės fizikos **tvariųjų dydžių**. Kiekvienas jų taip pat išsirutuliojo į šiuolaikinės fizikos piliorių.

Praktinės diskusijos apie energiją aprėpia daug kategorijų, kaip antai vėjo energiją, cheminę energiją, šiluminę energiją ir kitas energijas, kurios atsiranda pamatines energijos formas supakavus į skirtingas pakuotes. Tačiau net ir kalbant apie energiją principiniais terminais, ji vis tiek turi keletą formų. Čia aptarsime energijos sąvoką esminių principų požiūriu.

Pilnutinė energija – tvarus dydis – yra lygi kelių narių sumai: kinetinės energijos, masės energijos, potencinės energijos ir lauko energijos. Šie pavieniai terminai susiję su realybės aspektais, kurie iš pirmo žvilgsnio atrodo labai skirtingi. Energijos sąvokos taikomoji jėga didžia dalimi yra jos gebėjimo apibūdinti ir susieti keletą skirtingų tikrovės aspektų rezultatas.

Vertinant istoriškai, kinetinė energija – tai pirmoji energijos forma, kuri buvo išsamiai aptarta ir kurios svarbą lengviausia suvokti intuityviai. Vertinant kokybiškai, kinetinė energija – tai judėjimas. Konstruodami mašinas dažnai norime, kad jų dalys judėtų. Judantys objektai turi kinetinės energijos, todėl labai dažnai svarbiausias energetikos tikslas – transformuoti kitas energijos formas į kinetinę energiją.

Kokybiškai, Niutono mechanikoje dalelės kinetinė energija yra lygi pusei jos **masės**, padaugintai iš jos **greičio** absoliučiosios vertės kvadrato. Einšteino mechanikos modifikacijoje, siekiant patenkinti **specialiąją reliatyvumo teoriją**, *judėjimo energija* susiejama su nauja energijos forma – *masės energija*,

kurią netrukus aptarsime smulkiau.

Niutono mechanikoje randami du pavieniai **tvermės dėsniai**: masės tvermės dėsnis ir *energijos* tvermės dėsnis. Specialiajai reliatyvumo teorijai būtina radikali masės sampratos peržiūra – būtina atsisakyti masės tvermės dėsnio. Energijos tvermės dėsnis lieka galioti, tačiau su gerokai pakitusiu energijos apibūdinimu. Nors niekada nemačiau tokio pateikimo, sąvokos *masės energija* logika tampa žymiai aiškesnė, jeigu ją imama vertinti kaip vieną iš nereliatyvistinės ir reliatyvistinės energijos sampratų suderinimo būdų. Apie tai bus smulkiau aiškinama tolesnėse trijose šio skyriaus pastraipose.

Momento ir kinetinio momento atveju perėjimas nuo reliatyvistinių prie Niutono apibūdinimų sklandus. Reliatyvistinės šių dydžių išraiškos apytikriai prilygsta Niutono išraiškoms, pagal kurias visų susijusių kūnų greičiai žymiai mažesni nei šviesos greitis. Kita vertus, kai kalbama apie energiją, toks tolygus perėjimas nėra visiškai paprastas. Jis bus galimas tik tada, kai į įprastą Niutono energijos apibūdinimą įvesime naują narį. Šis naujas narys vadinamas *masės energija*.

Kūno masės energija lygi jo masei, padaugintai iš šviesos greičio kvadrato. Jeigu šviesos greitį, kaip įprasta, pažymėsime simboliu c, štai tokia formulė, galimas daiktas, bus pati įžymiausia lygtis moksle:

$$E_{masė} = mc^2$$

Čia prie energijos simbolio *E* pridėjau apatinį indeksą *masė*, kad pabrėžčiau, jog tai – tik viena iš daugelio energijos formų. Kai turime kelis kūnus, pilnutinė masės energija tiesiog lygi jų masės energijų sumai. Taigi, pilnutinė masės energija tiesiog yra lygi suminei masei, padaugintai iš šviesos greičio kvadrato. Pilnutinė „patikslinta“ Niutono energija yra lygi klasikinei Niutono energijai – kinetinė energija plius potencinė energija – kurios apibrėžtį rasite vadovėliuose (taip pat toliau šiame tekste!), *sudėtai* su masės energija. Būtent ši patikslinta Niutono energija, o ne klasikinė Niutono energija, sklandžiai iškyla iš reliatyvistinės mechanikos.

Su sąlyga, kad bendra masė išlieka tvari, patikslinta ir klasikinė Niutono energijos skiriasi konstanta (ir jos abi išlieka tvarios). Tačiau patikslinta energija veikia labiau neapibrėžtai. Ji apima kai kuriuos atvejus, kaip antai branduolines reakcijas, kai masės tvermė *nėra* geras artinys. Tokiais atvejais masės energija proceso pradžioje nėra lygi masės energijai jo pabaigoje. Pilnutinė energija tvari, todėl skirtumas tarp šių masės energijų turi pasireikšti kitomis formomis. Kaip tik tai turima omenyje, kai kalbama apie masės virsmą energija arba energijos virsmą mase. Ar bent jau taip turėtų būti. Ši sąvoka buvo galingas nesusipratimų ir painiavos šaltinis mokslo populiarinimo literatūroje. Viliuosi, kad man pavyko ją čia nušviesti geriau.

Tiksliems apskaičiavimams ir sistemose, kuriose yra kelios beveik šviesos greičiu judančios dalelės, būtina naudoti pilnutines reliatyvistines judėjimo energijos formules, tad jos padalijimas į masės energiją ir kinetinę energiją yra dirbtinis.

Specialiai tiems skaitytojams, kurie šiek tiek išmano algebrą, pristatau šią formulę:

$$E_{judėjimas} = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Kai greitis žymiai mažesnis už šviesos greitį ($v << c$), ši išraiška tampa apytikriai lygi masės energijos mc^2 ir Niutono kinetinės energijos $\frac{1}{2}mv^2$ sumai, kaip aprašėme anksčiau. Greičio vertei artėjant prie šviesos greičio, judėjimo energija auga be jokių apribojimų.

Vertinant kokybiškai, *potencinė energija* – tai padėties, arba atstumo, energija. Pavyzdžiui, netoli žemės paviršiaus esančio akmens potencinė energija gali būti kaupiama akmenį keliant aukštyn arba išnaudojama akmenį metant žemyn. Kai paleistas akmuo krenta žemyn, jo greitis, o tuo pačiu ir kinetinė energija, didėja. Atitinkamai, kad būtų išlaikyta energijos tvermė, akmens potencinė energija turi mažėti.

Potencinės energijos sąvoką galima praplėsti tiek, kad ji aprėptų daugelį bendresnių atvejų. Kai kūnai veikia vienas kitą kokia nors jėga, su jų sąveika susijusi potencinė energija tampa atstumo tarp jų funkcija. Potencinė energija – atstumo energija – tai natūrali sąvoka **toliveika** pagrįstoms teorijoms, kaip antai Niutono gravitacijos teorijai. Kaip ir šios teorijos, ji išlieka naudinga daugelyje taikomųjų sričių, suteikdama ganėtinai gerą ir patogų naudoti artinį. Tačiau fundamentaliojoje fizikoje nuo Maksvelo ir Faradėjaus sukeltos revoliucijos laikų jėgas perduodantys **laukai** potencinę energiją pakeičia *lauko energija*.

Lauko energija susitelkusi visoje erdvėje, kurioje yra neišnykstančių laukų. Pavyzdžiui, su elektriniu lauku susijusios lauko energijos tankis tam tikrame erdvės taške proporcingas elektrinio lauko tame taške dydžio *kvadratui*.

Galimybė pakeisti *nuo atstumo priklausančios* potencinės energijos sąvoką *lokaliai apibrėžiama* lauko energijos sąvoka tuo pačiu metu ir gili, ir labai graži. Aptarkime potencinę energiją tarp teigiamą (elektros) krūvį turinčios ir neigiamai įkrautos dalelių. Beveik dėl tų pačių priežasčių, kurias aptarėme kalbėdami apie virš Žemės iškeltą akmenį, egzistuoja potencinė energija, susijusi su atstumu tarp šių dalelių. Faradėjaus ir Maksvelo pateiktame apibūdinime tas pats energijos kiekis atsiranda visiškai kitu būdu. Abu mūsų minėti krūviai generuoja elektrinius laukus, tad pilnutinis elektrinis laukas yra lygus jų indėlių sumai. Energijos tankis, susijęs su pilnutiniu elektriniu lauku, yra lygus jo kvadratui, todėl aprėpia ne tik kiekvieno pavienio lauko kvadratą, bet ir kryžminį narį, atspindinį jų vienalaikį egzistavimą. (Jeigu ši idėja jums nežinoma, atsitraukime trumpam atgal. 1+1 kvadratas yra lygus 2 (t. y. $2 \times 2 = 4$). Šis skaičius nėra lygus dvigubam 1 kvadratui; t. y. 2. Egzistuoja dar vienas indėlis (arba kryžminis narys), kai du nepriklausomi sumos indėliai susitinka jos kvadrate. Bendresne algebrine išraiška turime $(a + b)^2 = a^2 + b^2 + 2ab$ su kryžminiu nariu $2ab$.) Kryžminiai nariai, atsirandantys pilnutinio lauko energijos tankyje, priklausys nuo dviejų laukų, iš kurių ji sudaryta, santykinės geometrijos, kas, savo ruožtu, priklausys nuo santykinio atstumo tarp dalelių. Kai panaudodami indėlius iš visos erdvės apskaičiuosite pilnutinį energijos tankį, kad gautumėte pilnutinę *lauko energiją*, pamatysite, kad šių kryžminių narių indėlis tiksliai sutampa su senosios teorijos *potencine energija* ir gali ją pakeisti.

Šiame pavyzdyje lauko energija – tai tik kitas (ir gerokai sudėtingesnis!) būdas prieiti tą pačią išvadą, kaip ir potencinės energijos atveju. Tačiau išsamesniame fizikiniame vertinime pagrindiniai dėsniai formuluojami lokaliai ir dažniausiai veda prie lauko energijos. Potencinė energija – tai apytikrė *išvestinė* sąvoka, naudinga sprendžiant tam tikras užduotis, tačiau netinkama kitoms užduotims.

Energijos **tvermę** ir galiausiai pačią energiją geriausiai suprasime pasitelkdami Nėter apibendrinančią teoremą, kuri susieja tvermės dėsnius su **simetrija**. Šia prasme energijos tvermė atspindi fizikos dėsnių simetriją (**invariantiškumą**) **laiko poslinkio** atžvilgiu – kitaip tariant, transformacijos, kuriai vykstant visi įvykiai slenka pirmyn (arba atgal) per tą patį laiko intervalą, atžvilgiu. Taigi, turime energijos tvermę tada, kai dėsniai nepriklauso nuo išoriškai apibrėžto fiksuoto laiko.

Kvantiniame pasaulyje energija įgyja papildomų, labai subtilių ir gražių savybių. Ypač nuostabus **Planko ir Einšteino sąryšis**, susiejantis fotonų energiją su jų **spalva**. Suderintas su Boro idėjomis, šis sąryšis leidžia mums iššifruoti **spektro** siunčiamą pranešimą. Atomo spektrinės šviesos spalvos užkoduoja jo **nuostoviųjų būsenų** energijas, suteikdamos regimą Sferų muziką.

ERDVĖS POSLINKIO SIMETRIJA

Erdvės poslinkis – tai virsmas, kuris bendru poslinkiu keičia taškų padėtį erdvėje. *Erdvės poslinkio simetrija* – tai hipotezė, skelbianti, kad vykstant tokiam virsmui fizikos dėsniai nepakinta arba, kaip dažnai sakome, išlieka **invariantiški**. Erdvės poslinkio simetrija – tai **griežtas** būdas suformuluoti idėją, kad fizikos dėsniai visur vienodi. Erdvės poslinkio simetrija glaudžiai susijusi su judesio kiekio **momento tverme** per Emi Nėter teoremą.

FARADĖJAUS DĖSNIS

Šis dėsnis skelbia, kad **elektrinio lauko cirkuliacija** uždaru kontūru yra lygi neigiamo **magnetinio lauko srauto**, kertančio kontūrą per bet kokį jo ribojamą paviršių, kitimo greičiui. *Faradėjaus dėsnis* įamžintas vienoje iš **Maksvelo lygčių**.

FERMIONAS

Žr. **Bozonai ir fermionai**

FOTONAS, PLANKO IR EINŠTEINO SĄRYŠIS

Fotonas – tai minimalus galimas **elektromagnetinio skysčio** trikdis.

Klasikinėje fizikoje, remiantis **Maksvelo lygtimis**, **elektromagnetinės bangos energija** gali būti be galo maža. **Kvantinėje teorijoje** viskas kitaip. Energija egzistuoja tik diskrečiųjų dydžių, arba **kvantų**, pavidalu. Kadangi šie dydžiai negali būti išskaidyti į mažesnius, jie turi tam tikro vientisumo, kurį siejame su dalelėmis, ir tam tikrais atvejais būna naudinga galvoti apie juos kaip tik taip. Šia prasme fotonai – šviesos dalelės.

(Kvantomechaninis fotonų apibūdinimas nėra griežtai suderintas nei su klasikine bangos idėja, nei su klasikine dalelės idėja. Nėra jokių priežasčių, dėl kurių šios idėjos, padiktuotos kasdienės su dideliais kūnais įgytos patirties, galėtų būti adekvatus apibūdinimas to, kas vyksta nepažįstamoje labai mažų kūnų karalystėje, ir jos tokios nėra. Bet kuris požiūris gali būti naudingas, tačiau nė vienas jų, paimtas atskirai, tinkamai neatspindi tikrovės. Žr. **Papildomumas**)

Kalbant apie grynąsias spektro spalvas, egzistuoja paprastas kiekybinis ryšys tarp energijos vieneto – t. y. pavienio fotono energijos – ir **dažnio**, susijusio su atitinkamos spalvos **elektromagnetinėmis bangomis**. Šį ryšį teoriškai apibūdino Plankas ir Einšteinas pačioje XX a. pradžioje, jis ir vadinamas *Planko ir Einšteino sąryšiu*. Planko ir Einšteino sąryšis tebegyvuoja iki šiol be jokių žymesnių pakeitimų. Jį galima pritaikyti ir vienam, mūsų meditacijai itin svarbiam, aspektui, padėsiančiam mums atsakyti į mūsų Klausimą.

Štai jis: fotono energija yra lygi šviesos, kuriai jis atstovauja, dažniui, padaugintam iš **Planko konstantos**.

O štai kaip juo naudojamės: išspinduliuodamas arba sugerdamas fotoną, atomas atlieka perėjimą tarp dviejų nuostoviųjų būsenų. Kadangi energija šiame procese išsaugoma, fotono energija susijusi su šių abiejų nuostoviųjų būsenų energijų skirtumu. Tokiu būdu atomo spektre užkoduojama jo galimų būsenų energija.

Daugiau apie šį nepaprastą ryšį rasite straipsnelyje **Spektrai**.

FRAKTALAI

Fraktalai – tai geometriniai objektai, visais masteliais išlaikantys tam tikrą struktūrą. Jeigu padidinsite sudėtingą fraktalo atvaizdą norėdami apžiūrėti jį išsamiau, pastebėsite, kad kiekviena jo detalė tiek pat sudėtinga, kaip ir pradinė visuma – ir iš tikrųjų, daugelio fraktalų padidinta pavienė dalis identiška visumai!

Egzistuoja daugybė įvairių dydžių ir formų fraktalų, ir nėra vienintelės griežtos apibrėžties, tinkamos apibūdinti visus objektus, kuriuos žmonės vadina „fraktalais“. Užtat egzistuoja daugybė įdomių pavyzdžių, įkūnijančių šią plačią neišsemiamos vidinės struktūros koncepciją.

Kadangi mažos fraktalo detalės tokios pat sudėtingos kaip ir pats fraktalas, **Analizės ir sintezės** metodas ir jo klasikinė matematinė realizacija, **skaičiuotė**, praranda didelę dalį savo galios. Čia pradeda veikti kitos idėjos, pagrįstos rekursija ir automodeliškumu. (Čia ir sustosiu: nors šios idėjos itin patrauklios, jos veik nesusijusios su mūsų aptariamomis temomis.)

Ypač sudėtingus fraktalus galima sukurti laikantis paprastų taisyklių, taikant jas paeiliui visiems konstravimo etapams – toks metodas puikiai tinka kompiuterinei grafikai. Šios taisyklės leido sukurti nepakartojamus vaizdus, jų pagrindu atsirado naujos vaizduojamojo meno formos.

FUNKCIJA

Kai koks nors dydis bėgant laikui kinta, sakome, jog tai yra laiko *funkcija*. Kalbant labiau apibendrintai, sakome, kad dydis *y* yra dydžio *x funkcija*, jeigu kiekviena *x* reikšmė apibrėžia *y* reikšmę. Rašome *y (x)* dydžiui *y*, kurią nulėmė dydis *x*.

Pavyzdžiai:

- Temperatūra Bostone – tai laiko funkcija.
- Kalbant labiau apibendrintai, temperatūra Žemės paviršiuje yra padėties paviršiuje *ir* laike funkcija. Kitaip tariant, tai erdvėlaikio funkcija.

Žr. taip pat **Laukas**

GALILĖJAUS TRANSFORMACIJA, GALILĖJAUS SIMETRIJA, GALILĖJAUS INVARIANTIŠKUMAS

Galilėjaus transformacija – tai tokia transformacija, kuria veikiame sistemą įsivaizduodami, kad visų jos dalių judėjimui pridedame tam tikrą pastovų greitį arba jį atimame. Galilėjus, kaip pasakojama pagrindiniame tekste, aprašė gražų mintinį eksperimentą, kuris įtikinamai įrodo, kad po Galilėjaus transformacijų fizikos dėsniai išlieka nepakitę, kitaip tariant, **invariantiški**: jeigu ramiu oru keliaujate laivo žemutinio denio belangėje kajutėje, tai iš to, ką jaučiate kajutės viduje, negalite pasakyti, kaip greitai plaukia laivas. Hipotezė, skelbianti, kad fizikos dėsniai invariantiški Galilėjaus transformacijų atžvilgiu, arba, kitaip tariant, kad fizikos dėsniams būdinga Galilėjaus simetrija, yra vienas iš **specialiosios reliatyvumo teorijos** ramsčių. Žr. taip pat **Greitinimas**

GAUSO DĖSNIS

Iš tikrųjų egzistuoja du Gauso dėsniai su labai panašiomis formuluotėmis.

Gauso **elektrinio lauko** dėsnis skelbia, kad elektrinio lauko **srautas** per bet kurį uždarąjį paviršių yra lygus **elektrinio krūvio** kiekiui, esančiam šio paviršiaus ribose.

Gauso **magnetinio lauko** dėsnis skelbia, kad magnetinio lauko srautas per bet kurį uždarą paviršių lygus nuliui. Taip pat galime pasakyti, kad šis srautas lygus šiame paviršiuje esančiam magnetinio krūvio kiekiui, o toks krūvis Gamtoje neaptinkamas.

Šie Gauso dėsniai įamžinti dviejose **Maksvelo lygtyse**.

GEODEZINĖ KREIVĖ

Išlenktame paviršiuje gali nebūti jokių tiesių, tačiau *geodezinės kreivės* – pats arti-

miausias jų pakaitalas. Geodezinė kreivė – tai tiesiausia linija, jungianti du gretimus erdvės taškus. Turime apsiriboti „gretimais“ taškais, nes po ilgos „ekskursijos“ geodezinė kreivė gali vėl sudaryti kilpą šalia savo ankstesnių atkarpų – tokiu būdu gali atsirasti dar trumpesnis kelias, sutrumpinantis ilgą trajektoriją.

Pavyzdys: geodezinės kreivės ant sferos – tai jos didieji skrituliai, gaunami perpjaunant sferą per centrą einančia plokštuma. Taigi, pusiaujas – tai didysis skritulys ir Žemės geodezinė kreivė taip pat, kaip ir visi meridianai. Transpoliariniai skrydžių maršrutai apytikriai atitinka geodezines kreives, skirtas taupyti degalus.

Taip nusakoma geodezinės kreivės samprata nėra apribota vien paviršiais. Galime rasti geodezinių kreivių išlenktose daugiamatėse erdvėse, taip pat – esant atitinkamam atstumo apibūdinimui – erdvėlaikyje.

GLIUONAS, SPALVOTASIS GLIUONAS

Gliuonai – tai **gliuonų skysčio** mažiausi vienetai, arba **kvantai**.

GLIUONŲ SKYSTIS, GLIUONŲ LAUKAS

Gliuonų skystis – tai aktyvi, erdvę užpildanti substancija, nulemianti **stipriąją sąveiką**. *Gliuonų laukas* tam tikrame taške – tai gliuonų skysčio poveikio matas tame taške, suvidurkintas pagal tam tikrą sumažintą erdvės tūrį ir laiko intervalą.

GRAFENAS

Grafenas – tai cheminė medžiaga, sudaryta vien iš anglies. Grafene anglies atomai iš savo korio forma išdėstytų **branduolių** suformuoja dvimatį lakštą. Grafenas išsiskiria puikiomis mechaninėmis ir elektrinėmis savybėmis.

GRASMANNO SKAIČIAI

Šie skaičiai tenkina **antisimetrinę** daugybos taisyklę

$$xy = -yx$$

Grasmanno skaičiai figūruoja supersimetrijoje kaip kvantinių matmenų koordinatės.

GRAVITACIJA

Kol veikia tarp elementariųjų dalelių, *gravitacija* – žymiai silpnesnė sąveika negu kitos trys **Pagrindų teorijos** sąveikos. Tačiau pastarosios sąveikos reaguoja į krūvius, kurie gali turėti bet kurį ženklą ir linkę pasinaikinti, kai į vieną vietą sunešama daug dalelių. Kita vertus, gravitacija stipriausiai reaguoja į **energiją** ir į vieną vietą susibūrus daug dalelių veikiau ne susinaikina, o įgyja daugiau jėgos. **Dangaus mechanikoje** gravitacija tampa vyraujančia jėga.

Faktiškai bet kokiomis aplinkybėmis gravitacija – tai kūnų gebėjimas traukti vienas kitą. **Juodoji energija** šiuo atžvilgiu išimtis. Knygos pabaigoje esančiose pastabose pateikiu dvi nuorodas į šaltinius, kuriuose rasite daugiau informacijos šia tema. Čia tiesiog priminsiu tris padarinius visatos kaip visumos dabarčiai, ateičiai ir praeičiai:

- Dabar **normalios medžiagos** gravitaciją kartu su **juodąja energija** padidina juodosios energijos gravitacinis poveikis mūsų artimiausioje kaimynystėje, net mūsų galaktikos mastu ir šiek tiek už jos ribų. Tačiau kosmologiniais mastais normali medžiaga ir juodoji medžiaga pasiskirsčiusios netolygiai, tuo tarpu juodoji energija, nors ir turinti žymiai mažesnį tankį mums artimiausioje aplinkoje, yra visur esanti ir jos poveikis auga. Todėl juodosios energijos gravitacija – iš esmės atstumianti gravitacija, visatos kaip visumos evoliucijoje vyrauja. Visatos plėtimasis, kurį gravitacinė trauka turėtų sulėtinti, iš tikrųjų tik greitėja.
- Paprasta šių dienų kosmologijos ekstrapoliacija į tolimą ateitį leidžia daryti prielaidą, kad prabėgus šimtams milijardų metų mūsų galaktika, susiliejusi su Andromedos galaktika, o galbūt ir su keliomis kitomis kaimyninėmis nykštukinėmis galaktikomis, suformuos izoliuotą salą, o visa kita normali (ir tamsioji) medžiaga visatoje išsiplės tiek ir taip greitai, kad taps neprieinama stebėjimui dėl ribinio šviesos greičio.

  Žinoma, tai labai drąsi ekstrapoliacija, atsižvelgiant į tai, kaip stipriai keitėsi mokslininkų požiūriai į kosmologiją per žymiai trumpesnius laikotarpius. Juk nepraėjo nė *šimto metų* nuo visatos plėtimosi atradimo!
- Per maždaug 13 mlrd. (ar per apytikriai tiek) metų po Didžiojo sprogimo normalios ir juodosios medžiagos gravitacija viršijo juodosios energijos įtaką netgi kosmologiniais mastais. Tačiau šias materijos formas „praskiedė“ besiplečianti visata, o juodosios energijos tankis išliko pastovus, ir tik (maždaug) per pastaruosius du milijardus metų pastaroji virto vyraujančia forma. Tačiau esama svarių priežasčių įtarti, kad pačioje visatos istorijos pradžioje viskas vyko kitaip ir kad juodoji energija tada vyravo, tad jos atstumianti gravitacija privedė prie greitos kosmologinės *infliacijos* periodo.

Niutono gravitacijos teorija tapo žmogaus minties istorijos epochiniu įvykiu. Tiksliai paaiškindama daugelį dangaus kūnų judėjimo aspektų ir remdamasi keliais tiksliai suformuluotais matematikos principais, ji nustatė naujus mokslinio tikslumo ir ambicingumo standartus. Tačiau XX a. pradžioje Niutono teoriją nustelbė Einšteino sukurta **bendrojo reliatyvumo teorija**, kuri ir šiandien laikoma pamatine.

GRAVITONAS

Gravitonai – tai mažiausios **gravitaciniame skystyje** (kartais vadinamame **metriniu skysčiu**) vykstančių trikdžių dalelės, arba **kvantai**. Todėl gravitonai susiję su **gravitacija** lygiai taip pat, kaip **fotonai** susiję su **elektromagnetizmu**. Manoma, kad pavieniai gravitonai itin silpnai sąveikauja su **normalia medžiaga** ir kad galimybės stebėti juos kaip pavienius objektus itin menkos. Gravitacinės bangos, kurias potencialiai galima aptikti, susideda iš daugybės gravitonų.

GREITINIMAS

Šiuolaikinėje mokslinėje literatūroje vis dažniau sutinkamas terminas „greitinimas“ – taip vadiname virsmą, kurį sukeliame sistemoje, kai įsivaizduojame pridedantys tam tikrą pastovų greitį visų sistemos dalių judėjimui arba tą greitį atimantys. Manau, kad šis terminas kilo pagal analogiją su nešančiosios raketos pakopomis, kurios suteikia naudingam kroviniui pagreitį, reikalingą jį nuskraidinti į kosmosą. Knygoje tokius virsmus vadinu ne greitinimu, o **Galilėjaus transformacijomis**, taip pagerbdamas **Galilėją Galilėjų**: jų svarbą jis pabrėžė nuostabiu mintiniu eksperimentu, kuriame pakvietė mus į izoliuotą burlaivio kajutę (kaip aprašyta pagrindiniame tekste). Žr. **Galilėjaus transformacijo**s

GREITINTUVAS

Dalelių *greitintuvas* – tai įrenginys,

kuriuo išgaunami greitai judančių ir didelę energiją turinčių dalelių pluoštai. Seniau greitintuvai buvo naudojami (ir tebenaudojami) siekiant atskleisti esminius gamtos dėsnius. Tyrinėdami pačių greičiausių dalelių susidūrimus, galime žvilgtelėti, kaip jos elgiasi veikiant labai didelei energijai, esant itin mažiems atstumams ir trumpiems laikotarpiams, kurių neįmanoma pasiekti kitais būdais.

GREITIS

Intuityviai *greitis* apibūdinamas kaip padėties keitimo sparta.

Tokiu būdu, kad apibūdintume dalelės greitį, atsižvelgiame į jos poslinkį Δx per mažą laiko intervalą Δt, paimame dalmenį, gautą iš $\Delta x / \Delta t$, ir atsižvelgiame į jo ribinę vertę, kol intervalas Δt mažėja ir artėja prie nulio. Pagal apibūdinimą ši ribinė vertė ir yra greitis.

Žr. **Be galo mažas**, kur gvildenami kai kurie esminiai čia aptariamo apibūdinimo klausimai.

GRIEŽTOJI SIMETRIJA

Sakome, kad fizikos dėsnio simetrija yra griežtoji, jeigu bet kuriame erdvėlaikio taške (ir bet kuriuo momentu) jai būtina atlikti tą patį virsmą. Tuo tarpu **lokalioji simetrija** leidžia virsmus, vykstančius erdvėlaikyje.

GRIEŽTUMAS

Sakome, kad teiginys yra *griežtas* arba pasižymi *griežtumu* tada, kai jis tiksliai suformuluotas ir kai jį sunku paneigti. Sakome, kad sąvoka griežta, jeigu jos prasmė tiksliai suformuluota ir dėl to ją galima pritaikyti griežtiems teiginiams.

Pati sąvoka „griežtumas“ nėra griežta, nes frazė „sunku paneigti“ kiek miglota. (Kaip sunku paneigti?) Pavyzdžiui, egzistuoja daugybė kompiuteriniais **kvantinės chromodinamikos (*QCD*)** lygčių sprendiniais pagrįstų įrodymų, kad ši teorija atkuria **kvarkų izoliavimo** reiškinį ir teisingai numato **hadronų spektrą**. (Kitaip tariant: skaičiavimai teisingai numato tam tikrų stipriai sąveikaujančių dalelių egzistavimą, jų mases ir kitas savybes; tiesa, kvarkų tarp jų nėra.) Tačiau dauguma matematikų nelaiko šios išvados griežta.

GRYNASIS TONAS

Žr. **Tonas, grynasis tonas**

HADRONAS

Kvarkai, antikvarkai ir **gliuonai** yra veikiami **stipriosios sąveikos**, **todėl** gali sietis tarpusavyje ir sudaryti didelę mažų objektų įvairovę. *Hadronas* – tai bendras terminas, kuriuo apibūdinami tokie objektai. **Protonai** ir **neutronai** yra hadronų pavyzdžiai, taip pat kaip ir atomų **branduoliai**. Visi kiti žinomi hadronai labai nestabilūs, jų gyvavimo trukmė svyruoja nuo kelių nanosekundžių (milijardoji sekundės dalis (10^{-9} sek.) iki dar trumpesnio laikotarpio.

Didelę dalį hadronų galima pusiau kiekybiškai suprasti per **kvarkų modelį**. (Prireikus žr. **Kiekybinis**) Remiantis kvarkų modeliu, hadronai skirstomi į dvi dideles klases: **barionus** ir **mezonus**. Barionai (klasė, apimanti protonus ir neutronus) – tai susietos būsenos, apimančios tris kvarkus, tuo tarpu mezonai – susietos būsenos, apimančios vieną kvarką ir vieną antikvarką. (Taip pat egzistuoja antibarionai, sudaryti iš trijų antikvarkų. Žr. **Antimedžiaga**) Pagal tikslesnę schemą, pagrįstą **kvantine chromodinamika (*QCD*)**, šios dvi pagrindinės schemos laikytinos karkasu, papildytu gliuonais ir papildomomis kvarkų ir antikvarkų poromis.

Vyrauja nuomonė, kad egzistuoja hadronai, iškrentantys iš abiejų kvarkų modelio schemų, kaip antai „gliubolai“ (iš gliuonų sudaryti rutuliai), kuriuose gliuonai nustelbia kvarkus ir antikvarkus. Ši idėja tikrinama.

(Žr. taip pat **Kvantinė chromodinamika (*QCD*)** ir išsamią diskusiją skyriuje *Kvantinis grožis III, 2 dalis*)

HARMONIJA

Sakome, kad darniai skambantys muzikos garsai pagrįsti harmonija, arba yra harmoningi. Šio fiziologinio reiškinio kilmė kol kas miglota. Viena iš galimų teorijų gana išsamiai aprašyta pagrindiniame šios knygos tekste. Sekant Pitagoro pavyzdžiu, muzikinė harmonijos samprata dažnai išplečiama iki bendresnės sąvokos „tai, kas gerai suderinta“.

HIGGSO DALELĖ,
HIGGSO BOZONAS

Šie terminai lygiaverčiai, jais vadinamas mažiausias **Higgso skysčio** vienetas, arba **kvantas**.

Žr. **Higgso laukas**, **Higgso skystis**. Taip pat skaitykite išsamų šios temos aptarimą skyriaus *Kvantinis grožis III 3 dalyje*.

HIGGSO LAUKAS,
HIGGSO SKYSTIS

Higgso skystis – tai erdvę užpildanti, aktyvi medžiaga, kuri dalyvauja **Pagrindų teorijos** lygtyse. *Higgso laukas* – tai Higgso skysčio vidutinio poveikio kitoms dalelėms matas. Žr. **Laukas**; **Elektrinis laukas**, **elektrinis skystis**, taip pat skaitykite išsamų aptarimą skyriaus *„Kvantinis grožis III“ 3 dalyje*.

HIGGSO MECHANIZMAS

Apibūdindami **silpnąją sąveiką** norėtume pasinaudoti gražiomis **lokaliosios simetrijos** lygtimis. Tačiau šios lygtys, taikomos tuščiai erdvei, verčia daryti prielaidą, kad silpnosios sąveikos skysčių **kvantai** – **vikonai** – turi būti dalelės su nuline mase, kaip ir **fotonai**. Iš tikrųjų, vikonų masė dešimtimis kartų viršija protonų masę. *Higgso mechanizmas* leidžia mums išsaugoti gražias lygtis ir tuo pačiu neprieštarauti tikrovei. Pagrindinė Higgso mechanizmo idėja skelbia, kad erdvę persmelkia laukas – **Higgso laukas**, pakeičiantis dalelių elgesį, kurį šios demonstruotų tuo atveju, jeigu šio lauko nebūtų.

Pagal *Higgso mechanizmą*, gyvename **superlaidininko**, kuriuo teka silpnojo krūvio **srovės**, viduje.

Žr. **Higgso laukas**, **Higgso skystis**; **Higgso dalelė**, **Higgso bozonas**, taip pat išsamų šios temos aptarimą skyriaus *Kvantinis grožis III trečiojoje dalyje*.

HIPERKRŪVIS

Kiekvieno **Pagrindų teorijos** objekto vidutinis **elektros krūvis** vadinamas *hiperkrūviu* (Šie objektai apibūdinti skyriuje *Kvantinis grožis III 4 dalyje*).

Tarp **silpnosios sąveikos**, **hiperkrūvio** ir **elektromagnetizmo** egzistuoja sudėtingas ryšys, kurį tik trumpai apžvelgiau pagrindiniame šios knygos tekste. Šiam ryšiui paaiškinti būtų prireikę kelių puslapių sausų postringavimų, nors šie paaiškinimai būtų ne itin prisidėję prie svarbiausių šioje knygoje gvildenamų klausimų išaiškinimo. Šios knygos skyriuje *Pastabos* pateikiu keletą nuorodų, padėsiančių jums rasti daugiau informacijos šia tema.

IDĖJŲ EKONOMIŠKUMAS

Sakome, kad ekonomiškas yra toks paaiškinimas arba, kalbant platesne prasme, tokia teorija, kurioje prielaidų mažai, o paaiškina ji daug ką.

Nors ši koncepcija neapima nei prekinių mainų, nei paslaugų, ji turi šiokių tokių sąsajų su tikrąja ekonomika. Vadovaudamiesi pastarosios dėsniais pasakytume, kad protingas ribotų išteklių naudojimas vertingos produkcijos sukūrimui – tai ekonomiškas šių išteklių naudojimas, taigi idėja labai panaši.

Intuityviai atrodo pagrįsta teikti pirmenybę ekonomiškiems aiškinimams ir mažiau remtis tomis teorijomis, kurios, pasitelkdamos gausybę prielaidų, paaiškina ribotą faktų ir stebėjimų diapazoną. Šį intuityvų požiūrį

palaiko ir Bayes'o* statistika, pagal kurią labiau tikėtina, kad iš dviejų gerai pagrindžiančių tuos pačius duomenis aiškinimų teisingas tas, kuris ekonomiškesnis.

INVARIANTIŠKUMAS

Sakome, kad koks nors dalykas yra invariantiškas tam tikros transformacijos atžvilgiu, jeigu tokia transformacija jo nekeičia.

Pavyzdžiai:

- Atstumas tarp objektų bus invariantiškas, jeigu judinsime visus objektus viena kryptimi ir vienodu atstumu (atstumo invariantiškumas **slinkties** erdvėje atžvilgiu).
- Apskritimo forma išliks invariantiška, jeigu apskritimą suksite aplink jo centrą (apskritimo invariantiškumas sukimo atžvilgiu).
- Greitis, kuriuo sklinda šviesos pluoštas, bus invariantiškas, jeigu judėsite bet kokiu pastoviu greičiu. Taigi, sakome, kad šviesos greitis yra invariantiškas Galilėjaus transformacijų atžvilgiu arba, ekvivalentiškai, atžvilgiu greitinimų, kurie transformuoja koordinates tarp atskaitos sistemų, susijusių su skirtingais greičiais judančiomis platformomis.

Trečiasis iš šių pavyzdžių apibūdina Einšteino **specialiosios reliatyvumo teorijos** esminę prielaidą.

IŠLAIKYMAS

Kvantinės chromodinamikos (QCD), mūsų stipriosios sąveikos teorijos, pagrindiniai komponentai – tai kvarkai ir gliuonai. Egzistuoja daugybė įrodymų (iš dalies aprašytų skyriuje *Kvantinis grožis III*), kad ši teorija teisinga. Tačiau nei kvarkų, nei gliuonų neįmanoma stebėti kaip pavienių dalelių. Jie aptinkami tik kaip sudėtingesnių objektų – hadronų – sudedamosios dalys. Apibūdindami šią padėtį, kalbame apie kvarkų ir gliuonų išlaikymą (angl. *confinement*).

Galime įsivaizduoti mėginimą išlaisvinti („išplėšti“) kvarką iš protono arba laipsniškai, pincetu išardžius protoną į pavienes daleles, arba apšaudžius jį didelės energijos dalelėmis ir taip suskaldžius į pavienius komponentus. Kiekvienas toks mėginimas įdomiai – ir netgi, drįsčiau pasakyti, gražiai – žlunga.

Darydami tą lėtai, pamatysime, kad egzistuoja nenugalima jėga, įtraukianti kvarką atgal į vidų.

Darydami tą greitai, gausime *čiurkšles*.

Daugiau apie tai sužinosite skaitydami skyrių *Kvantinis grožis III*, ypač jo antrąją dalį.

IZOTOPAS

Branduoliai su vienodu skaičiumi protonų, tačiau su skirtingu skaičiumi neutronų vadinami izotopais. Branduoliai izotopai turi vienodą **elektros krūvį**, todėl jiems būdingas labai panašus cheminis elgesys, nors jų **masės** labai skirtingos.

YANGO IR MILLSO TEORIJA

1954 m. Chenas Ningas Yangas ir Robertas Millsas atskleidė, kaip sukurti naują didelę teorijų klasę, kurioje **savybių erdvės griežta simetrija** apibendrinama iki **lokaliosios simetrijos**. Jų garbei šio pobūdžio teorijos dažnai vadinamos *Yango ir Millso teorijomis*. Mūsų **stipriųjų ir silpnųjų sąveikų Pagrindų teorijos** apima jų sukurtą darinį.

1915 m., pereidamas nuo **specialiosios reliatyvumo teorijos** prie **bendrosios reliatyvumo teorijos**, Einšteinas griežtąją **Galilėjaus simetriją** išplėtojo iki lokaliosios.

* Thomas Bayesas (Tomas Bajesas, 1702 – 1761) – anglų matematikas, kurio mokslo darbai iki šiol atlieka svarbų vaidmenį matematinės statistikos ir tikimybių teorijos srityse.

Apibendrindami turime pasakyti, kad Yangas ir Millsas išmokė mus, kaip pritaikyti tokio pobūdžio – nuo griežtosios simetrijos iki lokaliosios simetrijos – apibendrinimą didelei tarp dalelių veikiančių galimų **simetrijų grupių** klasei.

Pagrindiniame knygos tekste lyginame perėjimą nuo griežtosios simetrijos prie lokaliosios simetrijos su perėjimu nuo įprastų geometrinių perspektyvų, kurias apibūdina **projekcinė geometrija**, prie lankstesnių galimybių, kurias siūlo anamorfinis vaizdavimas.

JĖGA, SĄVEIKA

Fizikoje ir šioje mūsų meditacijoje terminas „jėga“ vartojamas dviem skirtingomis prasmėmis.

Niutono mechanikoje jėga – tai vieno kūno poveikio kitam matas. ***Jėga***, su kuria veikia kūnas, yra to kūno gebėjimas sukelti kitų kūnų pagreitį. Žr. **Pagreitis**

Pagal kitą šio termino taikymo variantą (kuris dažnai sutinkamas, tačiau ne toks tikslus) kalbame apie Gamtos *jėgas*, turėdami galvoje tuos mechanizmus, kurie veikia Gamtoje. Savo Pagrindų teorijoje išskiriame keturias pagrindines jėgas: gravitaciją, elektromagnetizmą, stipriąją ir silpnąją. Šiuo atveju dažnai kalbame ne apie jėgas, o apie sąveikas (ir tokiu būdu apie elektromagnetinę sąveiką, stipriąją sąveiką ir kt.). Nusprendžiau šiame kontekste kaip įtaigesnį ištisai vartoti žodį „jėga“*.

JĖGŲ LINIJOS

Veikiamos strypinio magneto, ant popieriaus lapo išpiltos geležies drožlės suformuoja kreives, nusidriekiančias nuo vieno magneto poliaus iki kito, kaip pa rodyta 20 pav. Šis ir kiti panašūs į jį gražūs reiškiniai sužadino Faradėjaus vaizduotę. Jis iškėlė prielaidą, kad šios kreivės egzistuoja savarankiškai ir kad geležies drožlės jų *nesukuria*, o tik išryškina jų kontūrus. Šios intuityvios prielaidos paskatino jį imtis naujų eksperimentų. Maksvelas tų eksperimentų rezultatus išplėtojo iki tiksliai suformuluotų matematinių idėjų. Šiuolaikinė fizika su savaisiais erdvę užpildančiais **skysčiais** gimė iš šių idėjų. Jos pakeitė **toliveikos teoriją** kaip esminį paveikslo suvokimo modelį.

JUDESIO KIEKIO MOMENTAS)

Judesio kiekio momentas kartu su **energija** ir **kinetiniu momentu** – vienas iš nuostabiausių klasikinės fizikos tvarių dydžių.

Kūno *momentas* yra jo judesio kiekio matas. Kiekybiškai jis lygus kūno **masei**, padaugintai iš jo **greičio**. (Tai nereliatyvistinė versija, tiksliai apibūdinanti mažus greičius. Specialioji reliatyvumo teorija veda prie giminingos, tačiau sudėtingesnės formulės.)

Judesio kiekio momentas turi ne tik kryptį, bet ir didumą. Taigi, tai vektorinis dydis.

Kūnų sistemos momentas – tai pavienių kūnų momentų suma.

Egzistuoja daugybė įvairių aplinkybių, kai momentas išlieka tvarus. Šį rezultatą lengviausia suprasti vertinant per Nėter bendrosios teoremos, kuri susieja **tvermės dėsnius** su **simetrija**, prizmę. Šiuo požiūriu judesio kiekio momento tvermė aplink centrą atspindi fizikos dėsnių simetriją (invariantiškumą) transformacijų, kurios suka erdvę aplink tą centrą, atžvilgiu. Kitaip tariant, turime momento tvermę, kai mūsų sistemą valdantys dėsniai nepriklauso nuo išoriškai apibrėžtos, fiksuotos padėties.

Kvantiniame pasaulyje momentas išlieka galiojančia sąvoka ir įgauna papildomų, itin subtilių ir gražių savybių.

* Lietuvių kalboje ši žodžio *jėga* reikšmė vartojama retai, todėl vertime vietoj jo dažnai vartojamas žodis „sąveika“ – taip jau įprasta.

JUODOJI ENERGIJA, JUODOJI MEDŽIAGA

Iš esmės, **Pagrindų teorija** suteikia mums išsamų ir gilų visos medžiagos, kurią tik galime aptikti Žemėje ir jos kaimynystėje, suvokimą. Ši „normali“, arba „įprasta“, medžiaga sudaryta iš *u* ir *d* **kvarkų**, spalvotųjų **gliuonų**, **fotonų** ir **elektronų**, taip pat iš palyginti reto **neutrinų** srauto. Tačiau astronominiai stebėjimai atskleidžia, kad visata kaip visuma apima ir kitokias medžiagos rūšis, kurios sudaro jos bendrosios masės didumą. Šios papildomos medžiagos kilmė kol kas tiksliai nežinoma, tačiau paprastu ir įtaigiu būdu žinomus faktus galime susisteminti.

- **Normalioji medžiaga** sudaro apie 5 % bendros visatos masės. Ji labai netolygiai pasiskirsčiusi į galaktikas (kurios toliau pasiskirsto į dujų ūkus, žvaigždes ir planetas), o tarp šių įsiterpia didžiulės sritys, kuriose faktiškai nėra normaliosios medžiagos.
- *Juodoji medžiaga* sudaro apie 27 % bendrosios visatos masės. Ji taip pat pasiskirsčiusi netolygiai, tačiau mažesniu mastu nei normali medžiaga. Astronomai dažniausiai teigia, kad galaktikas supa labiau išsklidę juodosios medžiagos halai, tačiau, atsižvelgus į jų santykinę masę, būtų tikslingiau teigti, kad galaktikos – tai koncentruoti pašaliniai intarpai juodosios medžiagos debesyse. Juodoji medžiaga labai silpnai sąveikauja su normalia medžiaga, įskaitant ir šviesą. Tiesa, tradiciniu požiūriu ji visai ne juoda, o veikiau skaidri.
- *Juodoji energija* sudaro apie 68 % bendros visatos masės. Ji pasiskirsčiusi tolygiai, tarsi būtų universalus masės tankis, susijęs su pačia erdve. Turime įrodymų, kad šis tankis jau milijardus metų yra laike nekintanti konstanta. Kaip ir juodoji medžiaga, juodoji energija labai silpnai sąveikauja su įprasta medžiaga ir yra veikiau skaidri, nei juoda.

Išvados apie juodosios medžiagos ir juodosios energijos egzistavimą ir jų pasiskirstymą erdvėje buvo padarytos stebint normaliąją medžiagą. Pastebėjome, kad daugeliu atvejų, susijusių su astrofizika ir kosmologija, įprastos medžiagos judėjimą galime paaiškinti jau žinomais fizikos dėsniais (Pagrindų teorija) tik tuo atveju, jeigu priimsime prielaidą, kad šalia normalios medžiagos egzistuoja papildomi masės šaltiniai. Kitaip tariant, mūsų apskaičiavimais, normalios medžiagos judėjimas veikiant jos pačios gravitacijai nesutampa su jos stebimu judėjimu.

Šis neatitikimas iš principo gali būti bendrosios reliatyvumo teorijos padarinys, tačiau, nepaisant daugelio bandymų, niekam nepavyko sukurti jokios kitos patrauklios teorijos (net ir nuleidus „patrauklumo“ kertelę itin žemai).

Kita vertus, mėginant patobulinti Pagrindų teoriją, buvo iškeltos iš ganėtinai savarankiškų šaltinių kilusios prielaidos apie naujų medžiagos formų, galėjusių atlikti juodosios medžiagos vaidmenį, egzistavimą. Tam tiko ir **aksionai**, ir naujos, **supersimetrijos** teorijų siūlomos, dalelės: jos pakankamai stabilios ir silpnai sąveikauja su normalia medžiaga. Be to, kai kuriais apskaičiavimais, maždaug reikiamas jų kiekis galėjo atsirasti per Didįjį sprogimą, ir jos galėjo pasiskirstyti į tokius modelius, kokius stebime dabar. Šios galimybės yra tapusios itin aktyvių eksperimentinių tyrinėjimų objektu.

Juodoji energija turi savybių, kurių galima tikėtis iš Einšteino „kosmologinės konstantos“, iš energijos tankių, susijusių su **Higgso lauku**, spontanišku **kvantinių skysčių** aktyvumu, ir keletu kitų daugmaž patikimų šaltinių. Galimas daiktas, kad iš karto

keli tokie šaltiniai nepriklausomai vienas nuo kito veikia juodąją energiją ir kai kurie jų gali turėti neigiamą, o kai kurie teigiamą poveikį bendrai sumai. Ne taip kaip juodosios medžiagos atveju, egzistuojančios teorinės idėjos apie juodąją energiją ganėtinai miglotos, ir jas sunku **falsifikuoti**.

Čia pravartu paminėti tai, kad šiuolaikinė juodosios medžiagos ir juodosios energijos problema turi du nepaprastus istorinius precedentus. Kruopštus darbas, Niutono gravitacijos teorija pagrįstos dangaus mechanikos srityje XIX a. viduryje atskleidė du smulkius apskaičiavimų ir stebėjimų nesutapimus. Vienas nesutapimas buvo susijęs su Urano, o kitas – su Merkurijaus judėjimu. Urano problema buvo išspręsta pasitelkus tam tikrą „juodosios medžiagos“ formą. Urbenas Leverjė ir Džonas Koučas Adamsas iškėlė prielaidą, kad šios planetos judėjimą trikdo nežinomos planetos gravitacinė jėga ir kad jos padėtį jie galį apskaičiuoti. Ir tokia planeta – Neptūnas – iš tiesų buvo aptikta numatytoje vietoje! Merkurijaus problema buvo išspręsta, kai Einšteino **bendroji reliatyvumo teorija** pakeitė Niutono gravitacijos teoriją. Nauja teorija, pasiūlyta visiškai dėl kitokių, žymiai gilesnių, priežasčių, leido padaryti kiek kitokias prielaidas apie Merkurijaus **orbitą**, ir šios prielaidos suderinamos su stebėjimais.

Argumentai su **antropiniu** prieskoniu buvo pritaikyti tiek juodosios energijos, tiek juodosios medžiagos klausimams. Abiem atvejais argumentuojant buvo remiamasi panašiomis prielaidomis:

- Visatos dalis, kurią galime stebėti, yra tik menka dalis žymiai didesnio darinio, kuris kai kada vadinamas *multivisata*. (Atkreipiame dėmesį į tai, kad dėl baigtinio šviesos greičio ilgainiui stebėjimui prieinama erdvės sritis plečiasi.)
- Fizinės sąlygos kitose, atokiose multivisatos srityse gali būti visiškai kitokios. Ypač gali skirtis juodosios energijos, arba juodosios medžiagos, tankis.
- Tose srityse, kuriose juodosios energijos, arba juodosios medžiagos, tankis iš esmės skiriasi nuo mūsų visatoje stebimo tankio, negali atsirasti protinga gyvybė.
- Todėl vienintelės šių tankių vertės, kurias galima stebėti, yra artimos mūsų stebimų tankių vertėms.

Antrasis ir trečiasis šių pastebėjimų punktas dabar skamba prieštaringai, todėl šios idėjos vis dar hipotetinės. Tačiau mūsų žinios apie fundamentaliuosius dėsnius ir mūsų gebėjimai įvertinti jų padarinius tobulėja, tad logiška manyti, kad galiausiai jos bus visuotinai pripažintos. Jeigu taip nutiks, manau, kad ši samprotavimų virtinė įgis patikimumo. Tokiu atveju mūsų lauks nuostabus atradimas: pagrindinės mūsų stebimo pasaulio savybės – kitaip tariant, juodosios energijos ir (arba) juodosios medžiagos tankiai – bus apibūdinami ne abstrakčiais **dinamikos** arba **simetrijos** principais, o *atranka*, panašiai kaip biologijoje.

KALIBRAVIMO DALELĖ

Norint realizuoti **lokaliąją** (kalibravimo) **simetriją**, būtina įvesti atitinkamus **skysčius**, kurių savybės specialiai pritaikytos šiam tikslui. **Pagrindų teorijoje** dėl šios priežasties buvo įvesti **gravitacinis**, **stiprusis**, **silpnasis** ir **elektromagnetinis skysčiai**. **Gravitonai**, spalvotieji **gliuonai**, **vikonai** ir **fotonai** – tai mažiausi šių skysčių elementai (kvantai), todėl jie vadinami *kalibravimo dalelėmis*. Šis terminas kiek prėskas, tačiau jame glūdi svarbus ir gražus faktas: šios esmines Gamtos sąveikas užtikrinančios dalelės yra *simetrijos įsikūnijimai*.

KALIBRAVIMO SIMETRIJA

Tai dar vienas terminas, reiškiantis **lokaliąją simetriją**.

KINETINĖ ENERGIJA

Žr. **Energija**

KINETINIS MOMENTAS

Kinetinis momentas kartu su energija ir judesio kiekiu (kitaip tariant, su įprastu impulsu arba judesio kiekiu) yra vienas iš pačių nuostabiausių tvarių dydžių klasikinėje fizikoje. Kiekvienas jų taip pat išsirutuliojo į pamatinį šiuolaikinės fizikos ramstį.

Kinetinis momentas – tai bet kuriuo atveju sunkiausiai apibūdinamas ir suvokiamas iš šių dydžių, ir nereikia tikėtis, kad be didelių pastangų galima perprasti visą jo sudėtingumą. Pavyzdžiui, užburiantis, iš pažiūros dažnai stokojantis logikos sukučių ir giroskopų elgesys – tai jų turimo kinetinio momento padarinys. Taigi, mūsų meditacija ne itin stipriai remiasi šia idėja!

Kūno kinetinis momentas – tai jo sukamojo judėjimo aplink tiksliai apibrėžtą centrą matas. Kiekybiškai jis lygus du kartus padidintam greičiui, kuriuo nubrėžta nuo kūno centro linija „nušluoja“ sritį, padaugintam iš kūno masės. (Tai nereliatyvistinė versija, tinkanti mažiems greičiams. **Specialioji reliatyvumo teorija** atveda prie panašios, tačiau sudėtingesnės formulės.)

Kinetinis momentas turi kryptį ir dydį (taigi, tai **vektorinis dydis** – **ašinis vektorius**). Norėdami apibūdinti kryptį, iš pradžių turime nustatyti momentinę ašį – t. y. kryptį, kuri statmena srities prieaugiui – o tada pasirinkti ašies kryptį pagal dešinės rankos taisyklę. Žr. **Lyginumas**

Kūnų sistemos kinetinis momentas lygus ją sudarančių kūnų kinetinių momentų sumai.

Egzistuoja didelė įvairovė aplinkybių, kuriomis kinetinis momentas išlieka tvarus. Šį rezultatą parankiausia aiškinti pasitelkus Nėter bendrąją teoremą, kuri susieja **tvermės dėsnius** su **simetrija**. Pagal šią teoremą, kinetinio momento išsaugojimas aplink tam tikrą centrą atspindi fizikos dėsnių, apibūdinančių kitimus, kuriems vykstant erdvė sukasi aplink šį centrą, simetriją (invariantiškumą). Kitaip tariant, jeigu dėsniai nepriklauso nuo išoriškai nulemtos, fiksuotos krypties, turime kinetinio momento tvermę.

Keplerio antrasis planetų judėjimo dėsnis, pagal kurį aplink Saulę skriejančios planetos spindulys per lygius laiko tarpus nubrėžia vienodus plotus, yra vienas iš kinetinio momento tvermės pavyzdžių.

Kvantiniame pasaulyje kinetinis momentas nepraranda savo prasmės ir įgyja naujų nepaprasto subtilumo ir grožio ypatybių. Kaip tik dėl to kinetinio momento kvantinės teorijos matematinės savybės suviliojo mane atsidėti fizikai, kol, būdamas studentas, svarsčiau įvairias karjeros galimybes. Jeigu norite šį klausimą išnagrinėti smulkiau, literatūros sąrašą rasite skyriuje *Rekomenduojama literatūra*. Čia tik paminėsiu, kad kvantinės dalelės dažnai demonstruoja kraštutinį sukamąjį aktyvumą, arba sukinį, kuris tam tikra prasme panašus į nulinius virpesius (žr. **Kvantinė fliuktuacija**), arba į spontanišką kvantinių laukų aktyvumą.

KOKYBINIS IR KIEKYBINIS

Sakome, kad sąvoka, teorija, supratimas arba matmuo yra *kiekybiniai*, jeigu išreiškiami skaičiais. Kitais atvejais jie *kokybiniai*. „Skaičiai“, naudojami kiekybiniam apibūdinimui, gali būti **natūralieji skaičiai**, **realieji skaičiai**, **kompleksiniai skaičiai** arba dar kiti skaičiai, priklausomai nuo užduoties.

Kalbame ir apie *pusiau kiekybines* koncepcijas, teorijas, sampratas arba matmenis, jeigu šie dalykai išreikšti skaičiais, tačiau ne itin tiksliai ar nuosekliai. Taigi, galima pastebėti, kad įvairūs mokslininkai praktikai, remdamiesi ta pačia pusiau kiekybine fizikine teorija, išveda iš jos skirtingus rezultatus priklausomai nuo to, kokiu būdu jie užpildo tos teorijos properšas.

Žodį „kokybinis“ galima vartoti ir kaip pabrėžimą. Sakydami, kad idėja arba reiškinys yra kokybiškai nauji, teigiame, jog tai – ne vien to, kas buvo žinoma anksčiau, patobulinimas ar sustiprinimas, o kažkas iš principo visiškai nauja, taigi seną ir naują negalima lyginti kokybiškai. Pavyzdžiui, **kvantinės teorijos banginės funkcijos** kokybiškai skiriasi nuo klasikinės fizikos **orbitų**, kurių vietą dabar yra užėmusios.

KOMPLEKSINIS SKAIČIUS

Raide i pažymėtas menamasis vienetas – tai dydis, kuris, padaugintas iš savęs paties, duoda rezultatą, lygų -1. Taigi, tai išreiškę lygtimi, gausime $i^2 = -1$. *Kompleksiniai skaičiai* – tai skaičiai $z = x + iy$, kai x ir y – **realieji skaičiai**; x vadinamas realiąja z dalimi, o y – menamąja dalimi.

Kompleksinius skaičius, panašiai kaip ir realiuosius skaičius, galima sudėti, atimti, dauginti ir dalyti.

Kompleksiniai skaičiai buvo įvesti į matematiką tam, kad sudėtį ir kėlimą laipsniu apimančios bendrosios lygtys – vadinamosios polinominės lygtys – galėtų turėti sprendinius. Antai, pavyzdžiui, lygtis $z^2 = -4$ negali būti išspręsta realiaisiais skaičiais, tačiau išsprendžiama $z = 2i$ $(z = -2i)$. Galima įrodyti, kad kompleksiniai skaičiai tuo pavidalu, kaip juos apibūdinome, visiškai tinka šiai užduočiai įvykdyti. (Šis rezultatas, vadinamoji pagrindinė algebros teorema, jokiu būdu nėra akivaizdi, jos įrodymas tapo svarbiu įvykiu matematikoje.)

Kaip rodo terminas „menamieji“ (ir jo akivaizdi priešybė terminui „realieji“), matematikai labai nenoriai susitaikė su šios rūšies skaičių įvedimu. Jų „egzistavimas“ kažkodėl kėlė abejonių. Tačiau keletas drąsuolių išmintingai paisė tėvo Jimo Malley patarimo – „Garbingiau prašyti atleidimo, nei leidimo“ – ir ėmė juos naudoti. Įpročio jėga ir tolesnė sėkmė galiausiai virto didele pagarba kompleksiniams skaičiams. XIX a. matematika iš esmės buvo akinamų perspektyvų to, ką kompleksiniai skaičiai gali duoti **skaičiuotei** ir geometrijai, žvalgymas.

XX a. naujų objektų rūšių įvedimo procesas sudarant pageidaujamų jų savybių sąrašą ir paskelbiant, kad tokie objektai iš tikrųjų egzistuoja – būdas, taip sėkmingai taikytas dirbant su kompleksiniais skaičiais, tapo standartine darbine procedūra. Emi Nėter atliko itin svarbų vaidmenį plėtojant šią mąstyseną. Visai galimas daiktas, kad sužinojęs apie tokius pokyčius, Platonas būtų pasijutęs reabilituotas, turint omenyje tai, kad matematikai galutinai perėmė jo filosofiją ir atrado Idealų teikiamą džiaugsmą.

(Čia leisiu sau kiek nukrypti nuo temos ir šiek tiek pasinerti į lyriką: Iš tikrųjų *idealai*, kurie taip ir vadinami, yra svarbi matematinių objektų klasė. Galbūt Emi Nėter šedevras grynojoje matematikoje, savo gelme ir svarba prilygstantis šioje knygoje išliaupsintai tvermės teoremai, yra Nėter lanko samprata. Kas yra Nėter lankas? Tai lankas, kuriame bet kokia augančių idealų grandinė galiausiai nutrūksta. Lyrinio nukrypimo pabaiga.)

Kitas naudingas kompleksinio skaičiaus pateikimo būdas – užrašyti jį kaip $z = r \cos \theta + ir \sin q$, kur r – tai teigiamas realusis skaičius arba nulis, o θ – kampas; r vadinamas kompleksinio skaičiaus moduliu, o θ vadinamas jo faze. Taigi, arba (x, y), arba (r, θ) gali atstoti kompleksinių skaičių **koordinates**.

Pagal kvantinę teoriją kompleksiniai skaičiai laikomi **visur esančiais**.

Kompleksiniai skaičiai – tai dieviški skaičiai.

KOORDINATĖS

Skaičių sekos, apibūdinančios taško padėtį erdvėje, vadinamos *koordinatėmis*.

Koordinačių įvedimas kairiojo smegenų pusrutulio veikloje priskirtinas skaičiavimo ir kiekio sąvokas susieja su formos ir kontūrų sąvokomis, susijusiomis su dešiniojo smegenų pusrutulio veikla. Nors pamatinė šių sąsajų psichologija ganėtinai miglota, nekyla jokių abejonių, kad koordinačių metodas padeda skirtingiems mūsų smegenų moduliams bendrauti ir veikti išvien.

Pats paprasčiausias koordinačių pritaikymo pavyzdys – tiesės apibūdinimas **realiaisiais skaičiais**. Norint tą padaryti, būtina žengti tris žingsnius:

- Pasirinkti tašką tiesėje (tiks bet koks taškas). Šis pasirinktas taškas bus vadinamas koordinačių pradžia.
- Pasirinkti ilgį (galima naudoti metrus, centimetrus, colius, pėdas, furlongus, šviesmečius ir kt.). Šis pasirinktas ilgis vadinamas ilgio vienetu. Kad būtų aiškiau, pasirinksime metrus.
- Pasirinkti tiesės kryptį (turite tik dvi galimybes). Pasirinktoji kryptis bus vadinama teigiamąja kryptimi.

O dabar, kad nustatytume taško P koordinatę, metrais išmatuosime atstumą tarp taško P ir koordinačių pradžios. Tai teigiamas realusis skaičius. Jeigu kryptis nuo koordinačių pradžios iki taško P teigiama, tada šis skaičius ir yra taško P koordinatė. Jeigu kryptis nuo koordinačių pradžios iki taško P yra priešinga teigiamai krypčiai, tada taško P koordinatė bus šis skaičius su minuso ženklu. Pačios koordinačių pradžios koordinatė – nulis.

Tokiu būdu nustatome tikslų realiųjų skaičių ir tiesės taškų atitikimą: kiekvienas taškas turi unikalią realiojo skaičiaus koordinatę, o kiekvienas realusis skaičius yra unikalaus taško koordinatė.

Panašiu būdu galime nustatyti taškus plokštumoje, naudodamiesi realiųjų skaičių poromis, arba taškus trimatės erdvės modelyje, naudodamiesi realiųjų skaičių trejetais. Šiuos skaičius vadiname taškų *koordinatėmis*. **Kompleksinius skaičius** galime naudoti kaip koordinates ir apibūdindami plokštumą. Iš tikrųjų, pateiktis $z = x + iy$ užkoduoja du realiuosius skaičius x, y – vadinasi, ir tašką plokštumoje – vieninteliu kompleksiniu skaičiumi z.

Žinoma, jeigu turime tik tiesės atkarpą, jos taškus vis tiek galime apibūdinti realiaisiais skaičiais, tačiau ne visi realieji skaičiai bus joje pateikti, panašiai kaip ir kitais atvejais.

Kartografija atskleidžia mums, kaip, pasitelkus tinkamą projekciją, galima atvaizduoti išlenktuosius paviršius plokštumoje (pavyzdžiui, popieriaus lape). Tokiu būdu koordinatėmis galime apibūdinti taškus išlenktuosiuose paviršiuose.

Pagrindinė koordinačių idėja leidžia daug variacijų ir apibendrinimų:

- Galime naudoti daugiau skaičių! Nors mums sunku įsivaizduoti daugiau nei tris matmenis, dirbti su realiaisiais skaičiais iš penkių ar dar daugiau dėmenų neką sunkiau, nei dirbti su trejetais. Taigi, daugiau matmenų turinčios erdvės atsiduria mūsų suvokimo ribose. Žr. **Matmuo**
- Galime šią procedūrą ir apgręžti! Koordinatės įvedamos tam, kad leistų mums apibūdinti geometrinius objektus realiųjų skaičių grupėmis. Kita vertus, kalbėdami apie žmogaus spalvinį suvokimą pastebime, kad bet kuri žmogaus suvokiama **spalva** gali būti išgaunama tarpusavyje derinant tris pagrindines spalvas, pavyzdžiui, raudoną, žalią ir mėlyną. Skirtingas raudonos, žalios ir mėlynos spalvų intensyvumas apibūdinamas trimis teigiamais realiaisiais skaičiais, ir kiekvienas toks intensyvumo derinys atitinka tam tikrą suvokiamą spalvą. Galime interpretuoti šiuos trejetus kaip trimatės **savybių erdvės** koordinates, suvoktų spalvų *erdvę*. Egzistuoja daugybė tokių bendro pobūdžio pavyzdžių. **Spalviniais krūviais** pagrįstos erdvės mūsų **Pagrindų teorijoje** atlieka svarbiausią vaidmenį.
- Galime apibūdinti, ką laikome išlenktosiomis trimatėmis (ar kitokiomis daugiamatėmis) erdvėmis! Kita vertus, šias sąvokas sudėtinga įsivaizduoti tiesiogiai. Tačiau atstumų perteikimo žemėlapiuose, kitaip sakant, paviršių atvaizdavimo plokštumose metodai gali būti išreiškiami algebriškai, naudojant **metriką**, o po to lengvai apibendrinami.
- Vertindami laiką tuo pačiu matu kaip ir erdvę galime apibūdinti erdvėlaikį! Norėdami tą padaryti, turime tik vertinti įvykio *datą* kartu su jo *vieta* kaip papildomą koordinatę. (Įdomu pastebėti, kad neigiamieji skaičiai nepastebimai pasirodo datose pr. Kr. Galima, o gal netgi reikia, penktuosius metus pr. Kr. vadinti minus penktaisiais metais ir rašyti juos –5 m.) **Bendrojoje reliatyvumo teorijoje** deriname šią idėją su ankstesne, kad suteiktume apibrėžtumo išlenktiesiems erdvėlaikiams.
- Galime naudoti skirtingų rūšių skaičius! Kompleksiniais skaičiais pagrįstos koordinatės plačiai naudojamos kvantinėje teorijoje, o **Grasmanno skaičiais** pagrįstos koordinatės leido mums suformuluoti perspektyvią **supersimetrijos** idėją.

KOSMINĖ SPINDULIUOTĖ

Sakydami, kad „matome“ kosmosą – žvaigždes, ūkus, galaktikas ir kt. – paprastai turime omenyje tą dalį šių objektų skleidžiamos elektromagnetinės spinduliuotės, kuri pasiekia Žemę. (Žr. **Šviesos spalva**) Kvantinės teorijos kalba galime teigti, kad ją regime dėl **fotonų**. Fotonai laisvai sklinda per plačias tuščias erdvės sritis, ir mes žinome, kaip naudojant lęšius juos paversti jų šaltinių atvaizdais. „Tuščiomis“ vadinu sritis, neužpildytas **normaliąja medžiaga**. Normalioji medžiaga iš esmės yra fotonų judėjimą trikdanti medžiaga, todėl šiame apibūdinime glūdi tam tikras nelogiškumo elementas – tačiau esmė ta, kad tokios sritys egzistuoja. Kaip įsitikinsime skyrelyje **Vakuumas**, erdvėje, kuri šia prasme yra „tuščia“, vis dar esama **juodosios energijos**, dažnai **juodosios medžiagos**, vieno arba kelių **Higgso laukų** ir nesiliaujančio savaiminio kvantinio aktyvumo kunkuliavimo (žr. **Kvantinė fliuktuacija**).

Dangaus kūnai spinduliuoja ne tik fotonus, bet ir kitas daleles: **elektronus**, **pozitronus**, **protonus** ir daugelį įvairių sunkiųjų atomų **branduolių**, iš kurių pravartu paminėti geležies branduolį. Kai kurių tokių dalelių energija milžiniška – žymiai didesnė nei ta, kuri, pavyzdžiui, buvo gauta **Didžiajame hadronų priešpriešinių srautų greitintuve**, ir kai kurios jų pasiekia Žemę. Šias kitas daleles, taip pat pačius energingiausius fotonus (gama spinduliuotė) ir vadiname *kosmine spinduliuote*. Tie kosminiai spinduliai, kurie yra įelektrintos dalelės, juda kreivosiomis trajektorijomis, nes juos veikia galaktiniai

magnetiniai laukai. Dėl to sunku nustatyti jų šaltinį.

Novatoriškoje didelės energijos fizikos eroje, prieš atsirandant galingiems dalelių **greitintuvams**, kosminė spinduliuotė buvo lengviausiai pasiekiamas didelės energijos dalelių šaltinis. Tyrinėjant ją padaryta keletas svarbių atradimų, įskaitant pozitronų, miuonų (μ) ir pionų (π) egzistavimą. Galimas daiktas, kad glaudūs juodosios medžiagos dalelių kontaktai priverčia jas anihiliuoti į energetinius purslus, kurie gali veikti kaip neįprastos kosminės spinduliuotės šaltinis. Šiuo metu vykdomi eksperimentai, kuriais mėginama ištirti tokią galimybę.

KVANTAS (MEDŽIAGOS VIENETAS), KVANTAI

Objektai, kuriuos paprastai vadiname **elementariosiomis dalelėmis**, pagal mūsų **Pagrindų teoriją** suprantamos kaip **kvantinių skysčių** trikdžiai. Tuo tarpu **fotonai** – tai trikdžiai **elektromagnetiniame skystyje**, **elektronai** – trikdžiai **elektronų skystyje**, **gliuonai** – trikdžiai **gliuonų skystyje**. **Higgso dalelės** – trikdžiai **Higgso skystyje** ir t. t., ir pan. Vertindami šių skysčių judėjimą pagal klasikinės fizikos taisykles pamatysime, kad jų energija gali įgauti nuolatinę gradaciją. Tačiau šių skysčių judėjimus vertindami pagal **kvantinės teorijos** taisykles pamatysime, kad leidžiamieji trikdžiai įgyja nesuprastinamų vienetų pavidalą, o būtent, virsta tuo, ką atpažįstame kaip elementariąsias daleles.

Norėdami sužinoti daugiau apie elektromagnetinio lauko kvantą – originalius Planko ir Einšteino „šviesos kvantus – ypatingą dėmesį atkreipkite į straipsnelį **Fotonas**.

KVANTAVIMAS

Šis terminas vartojamas trimis skirtingomis prasmėmis: bendrąja prasme, konkrečia specialiąja prasme ir kaip žargono elementas.

Bendroji prasmė: kai atvaizduojame arba, kaip dažnai sakome, **projektuojame** pastovų dydį kaip diskrečią reikšmę, sakome, kad su tuo dydžiu atlikome *kvantavimą*. Kitaip tariant, kvantavimo procesas pakeičia **analoginį** dydį **skaitmenine** forma. Šia prasme kvantavimas yra įprasta šiuolaikinės inžinerijos ir informacijos apdorojimo operacija, nes skaitmeninius dydžius žymiai lengviau perduoti ir išsaugoti jų tikslias reikšmes, nei analoginių dydžių reikšmes (jei norite sužinoti daugiau, žr. **Analoginis** ir **Skaitmeninis**). Išskyrus keletą itin specializuotų atvejų, šiuolaikiniai kompiuteriai dirba tik su skaitmenine informacija, todėl analoginių signalų reikšmės, kaip antai šviesos **stipris**, *kvantuojami* dar prieš juos įvedant.

Svarbus kvantinės mechanikos rezultatas: ji kvantuoja (anksčiau nurodyta prasme) daugelį dydžių, kurie klasikinėje fizikoje buvo pastovūs (ir tai – Gamtos, arba Meistro, o ne kokio nors paprasto inžinieriaus, veiksmas!). Štai pavyzdžiai:

- Elektromagnetinės bangos **energija**. Žr. **Fotonas**
- Atome glūdinti **energija**. Pagal klasikinę mechaniką, neigiamą krūvį turintis elektronas gali skrieti aplink teigiamą krūvį turintį protoną daugeliu viena nuo kitos šiek tiek besiskiriančių orbitų, ir tai leidžia jam išlaikyti pastovų energijų diapazoną. Kvantinėje mechanikoje leidžiamosios orbitos diskretiškai skiriasi, kitaip tariant, jos kvantuotos, o dėl to jos yra ir leidžiamosios energijos (žr. **Nuostovioji būsena**, **Spektrai (atominiai, molekuliniai ir kiti)**, taip pat išsamų aprašymą su iliustracijomis skyriuje *Kvantinis grožis I*).
- **Elementariosios dalelės** (plačiąja prasme). Žr. **Kvantas (medžiagos vienetas), kvantai** Žargonas: fizikai kvantinės mechanikos taikymą fizinei sistemai dažnai vadina šios sistemos „kvantavimu“. Tai visiškai kitas šio termino pritaikymas, galintis sukelti painiavą. Bendraudami tarpusavyje, profesionalai gali drąsiai jį vartoti, tačiau aš šioje knygoje tokio vartojimo vengiu.

KVANTINĖ CHROMODINAMIKA

Kvantinė chromodinamika (angl. *Quantum Chromodynamics; QCD*) – tai mūsų stipriosios sąveikos Pagrindų teorija.

Kvantinė chromodinamika į Gamtos apibūdinimą įveda daug naujų idėjų, įskaitant **kvarkus**, **spalvinį krūvį**, **spalvinius gliuonus**, **asimptotinę laisvę**, **išlaikymą** ir **čiurkšles**.

Kvantinė chromodinamika savo sferoje suteikia aiškų teigiamą atsakymą į mus jaudinantį Klausimą: ar pasaulis įkūnija gražias idėjas? Nes būtent kvantinė chromodinamika įkūnija puikųjį **lokaliosios simetrijos** principą nepaprastai turtingame stipraus **spalvinio krūvio savybių erdvės** kontekste.

KVANTINĖ ELEKTRODINAMIKA

Kvantinė elektrodinamika (angl. *Quantum electrodynamics; QED*) yra mūsų **elektromagnetizmo Pagrindų teorija**.

Kvantinė elektrodinamika pagrįsta **Maksvelo lygtimis**, kurių forma nekaitoma, tačiau kurios interpretuojamos pagal **kvantinės teorijos** taisykles. Tai reiškia, kad trikdžiai elektromagnetiniame skystyje kyla kaip diskretiniai vienetai, arba kvantai – fotonai, o skystyje stebimas spontaniškas aktyvumas – kvantinės fliuktuacijos.

Pasak Paulio Diraco, kvantinė elektrodinamika suteikia tvirtą ir universalų pagrindą „visai chemijai ir didžiajai daliai fizikos“.

KVANTINĖ TEORIJA, KVANTINĖ MECHANIKA

Didžiojo XX a. atradimo esmė – fizikos dėsniai, kuriais apibūdinami dideli kūnai ir kuriuos įkūnija Niutono mechanika ir Maksvelo elektrodinamika, negali apibūdinti atomų ir jų **branduolių**. Paaiškėjo, kad norint aprašyti medžiagos elgesį atomų ir subatominių dalelių lygmeniu, būtina ne tik papildyti tai, kas buvo žinoma anksčiau, bet ir sukonstruoti radikaliai kitokią požiūrių sistemą, kurioje daugelis įsitvirtinusių idėjų būtų drąsiai atmestos. Apibendrinantis terminas *kvantinė teorija* (arba *kvantinė mechanika*) siejasi su šia nauja struktūra. Bendrais bruožais ji buvo suformuluota XX a. ketvirtojo dešimtmečio pabaigoje. Nuo tada mūsų būdai dorotis su matematiniais iššūkiais, kuriuos mums suteikė kvantinė teorija, žymiai patobulėjo (žr. **Pernormavimas**), ir mes, dėkui mūsų **Pagrindų teorijoms**, priėjome prie žymiai gilesnio ir detalesnio Gamtos jėgų suvokimo. Tačiau šie patobulinimai įvyko kvantinės teorijos *struktūros* ribose.

Daugelis fizikos teorijų gali būti suformuluotos kaip gana konkretūs teiginiai apie fizikinį pasaulį. Pavyzdžiui, **specialioji reliatyvumo teorija** – tai iš esmės dviejų teiginių samplaika: **Galilėjaus simetrijos** ir šviesos greičio **invariantiškumo**. Bet kuri iš mūsų **Pagrindų teorijų** iš esmės yra teiginys apie **lokaliąją simetriją** kartu su specifinėmis detalėmis, nusakančiomis, kaip su ja susijusios **simetrijos transformacijos** veikia erdvėlaikį ir medžiagą.

Kvantinė teorija, šiuolaikine jos samprata, sutvarkyta kitaip. Kvantinė teorija nėra kokia nors konkreti hipotezė. Tai glaudžiai susipynusių idėjų raizginys. Tikrai nenoriu jums įteigti, kad kvantinė teorija miglota – toli gražu taip nėra. Su retomis ir dažniausiai laikinomis išimtimis, susidūrę su konkrečia fizikos problema, visi žymūs kvantinės mechanikos specialistai visada ras konsensusą

dėl to, kaip reikia spręsti šią problemą taikant kvantinę teoriją. Tačiau labai abejoju, ar kuris nors iš jų sugebės tiksliai nusakyti, kokiomis prielaidomis remiantis prieita prie vienokios ar kitokios išvados.

Nors tikslią apibrėžtį pateikti ganėtinai sunku, vis dėlto tą padaryti įmanoma (ir pravartu dėl didesnio aiškumo), kad nušviestume čia keletą kokybiškai naujų temų, kuriomis kvantinė teorija papildo mūsų turimą medžiaginio pasaulio apibūdinimą:

- Esminiai medžiagos apibūdinimo objektai – tai ne dalelės, užimančios tam tikrą padėtį erdvėje, netgi ne **laukai** (pavyzdžiui, **elektrinis laukas**), užpildantys visą erdvę vektoriais, o **banginės funkcijos**. Kompleksinius skaičius, vadinamus amplitudėmis, banginės funkcijos priskiria galimoms objekto, kurį jos apibūdina, konfigūracijoms.

  Tokiu būdu pavienės dalelės banginė funkcija priskiria amplitudę visoms galimoms tos dalelės padėtims – kitaip tariant, kiekvienam erdvės taškui. Dalelių poros banginė funkcija priskiria amplitudę taškų poroms erdvėje, kitaip tariant, taškams šešiamatėje porų padėčių erdvėje. Elektrinio lauko banginė funkcija – tai neįsivaizduojamo didumo objektas. Kadangi ji priskiria amplitudę bet kuriai galimai elektrinio lauko vertei kaip visumai, elektrinio lauko banginė funkcija – tai (vektorinių) funkcijų funkcija!
- Į bet kurį pagrįstą fizikinį klausimą apie fizikinę sistemą galima atsakyti panagrinėjus jos banginę funkciją. Tačiau ryšys tarp klausimo ir atsakymo nėra paprastas. Tiek būdas, kuriuo banginės funkcijos atsako į klausimus, tiek atsakymai, kuriuos jos pateikia, turi nuostabių, gal net kiek keistų savybių.

Kalbant konkrečiai, aptarkime tai santykinai paprastu pavienės dalelės požiūriu. (Čia trumpai reziumuojame aptarimą iš pagrindinio teksto.) Norėdami iškelti klausimus, turime atlikti tam tikrus eksperimentus, kuriais banginė funkcija ištiriama skirtingais būdais. Pavyzdžiui, galime atlikti eksperimentus, kurie įvertina dalelės padėtį, arba eksperimentus, kurie išmatuoja dalelės **judesio kiekį**. Šie eksperimentai atsako į klausimus: „Kur yra dalelė?“, „Kaip greitai ji juda?“

Kaip banginė funkcija atsako į šiuos klausimus? Iš pradžių ji imasi apdoroti tam tikrus duomenis, o po to pateikia mums rezultatus.

Kalbant apie padėties klausimą, apdorojimas ganėtinai paprastas. Imame banginės funkcijos vertę, arba amplitudę – kaip pamenate, kompleksinį skaičių, ir pakeliame jo modulį kvadratu. Kiekvienai galimai padėčiai tai duoda mums teigiamą skaičių arba nulį. Tas skaičius – tikimybė surasti dalelę toje padėtyje (tiksliau kalbant, tai tikimybės tankis, tačiau nedidinkime painiavos).

Kai svarstomas judesio kiekio klausimas, apdorojimo procesas žymiai sudėtingesnis. Norėdami nustatyti tikimybę stebėti tam tikrą judesio momentą, iš pradžių turėsite nustatyti banginės funkcijos svertinį vidurkį – tikslus svertinio momento nustatymo būdas priklausys nuo to, koks judesio kiekis jus domina – o tada jo vidutinę vertę turėsite pakelti kvadratu.

Trys esminiai momentai:

- Gaunate tikimybes, o ne apibrėžtus atsakymus.

- Negaunate prieigos prie pačios banginės funkcijos, o galite tik vogčiomis pažvelgti į jos apdorotą versiją.
- Jeigu norite gauti atsakymus į skirtingus klausimus, gali tekti apdoroti banginę funkciją skirtingais būdais.

Kiekvienas iš šių trijų esminių momentų susijęs su rimtomis problemomis.

Pirmasis jų iškelia *determinizmo* problemą. Ar tikimybių apskaičiavimas iš tikrųjų yra geriausia, ką galime padaryti?

Antrasis momentas iškelia *daugybės pasaulių* problemą. Ką apibūdina visuminė banginė funkcija, kai į ją nežvilgčiojame? Ar ji reiškia milžinišką tikrovės plėtinį? O gal tai tik mintinis įrankis, ne ką tikresnis už sapną?

Trečiasis momentas iškelia *papildomumo* klausimą. Ieškant atsakymų į skirtingus klausimus, gali tekti imtis banginės funkcijos apdorojimo įvairiais būdais, kurie nesuderinami. Tokiu atveju, remiantis kvantine teorija, neįmanoma atsakyti į abu klausimus vienu metu. Negalėsite to padaryti, net jei kiekvienas klausimas pavieniui bus pakankamai pagrįstas ir turės informatyvų atsakymą. Kaip tik tokia yra situacija, kai reikia spręsti ir padėties, ir judesio kiekio klausimus – ji vadinama Heisenbergo neapibrėžtumo principu: neįmanoma išmatuoti dalelės padėties ir jos judesio kiekio vienu metu. Žmogus, sugalvojęs kaip tą padaryti eksperimentiniu būdu, paneigtų kvantinę teoriją, nes kvantinė teorija skelbia, jog ši užduotis neįvykdoma. Einšteinas daugybę kartų mėgino atlikti tokius eksperimentus, tačiau nė vienas jų nepavyko, ir galiausiai jis pasidavė.

Kiekvienas šių klausimų jaudrina vaizduotę, ir pirmiesiems dviem buvo skiriama itin daug dėmesio. Tačiau man atrodo, kad trečiasis klausimas ypač gerai pagrįstas ir reikšmingas. Papildomumui, kaip tikrovės aspektui ir išminties pamokai, mūsų meditacijoje tenka svarbus vaidmuo.

Nors šias problemas paaiškinau skirtingų dalelių pavyzdžiais, jos visos išryškėja su kaupu, kai iškeliame klausimus apie sudėtingesnes sistemas.

- Kadangi banginė funkcija, užuot suteikusi unikalius atsakymus, pateikia mums tik tikimybes, daug kartų uždavę vieną ir tą patį klausimą tai pačiai banginei funkcijai gausime skirtingus atsakymus. Tai labai glaudžiai susiję su tuo intuityviu modeliu, kuris man labai patinka ir kuriuo dažnai remiuosi: kvantiniai objektai demonstruoja spontanišką aktyvumą. Žr. **Kvantinė fliuktuacija**
- Daugelis dydžių, kurie pagal klasikinę fiziką pastovūs, kvantinėje teorijoje tampa diskretiniais dydžiais. Žr. **Fotonas** ir **Spektrai**
- Ir paskutinis, tačiau ne mažiau svarbus momentas: nors kvantinė teorija dažniausiai suteikia tik tikimybinius atsakymus, joje taip pat galima rasti pakankamai daug prognozių, kurios puikiai apibrėžtos. Pavyzdžiui, kvantinė mechanika pagrindžia teorijas, kurios leidžia prognozuoti vandenilio spektrą, nanovamzdelių patvarumą ir elektrinį laidumą, hadronų mases ir savybes – ir visa tai neįtikėtinai tiksliai. Tai tiksliai apibrėžti dydžiai, o ne tikimybės. Šie nuostabūs pavyzdžiai – tai ryškūs naujausios mūsų Klausimo istorijos momentai, išsamiai aptarti skyriuose *Kvantinis grožis I, Kvantinis grožis II* ir *Kvantinis grožis III*.

KVANTINĖS FLIUKTUACIJOS, VIRTUALIOSIOS DALELĖS, VAKUUMO POLIARIZACIJA, NULINIAI VIRPESIAI

Kvantinių skysčių teorijoje, sudarančioje mūsų giliausio Gamtos supratimo pagrindą, pažvelgėme į daleles nauju žvilgsniu. Jos – tai kvantinių skysčių minimalūs trikdžiai, arba **kvantai**. Tokiu būdu **fotonai** – tai **elekromagnetinio skysčio** kvantai, **elektronai – elektroninio skysčio** kvantai ir t. t.

Vis dėlto, šiuose skysčiuose glūdi kažkas daugiau nei dalelės, kurių pagrindas jie yra, taip pat kaip ir vandenyje glūdi kažkas daugiau, nei jo paviršiumi vilnijančiose bangose. O būtent tai, kad skysčiams būdingas savaiminis aktyvumas: *kvantinės fliuktuacijos*. Savaiminis aktyvumas ir trikdžiai kvantiniame skystyje, kuriuos atpažįstame kaip daleles, glaudžiai susiję – tai dvi vieno ir to paties skysčio savybės, todėl priimta laikyti, kad savaiminis aktyvumas susideda iš *virtualiųjų dalelių*. Taigi, virtualiosios dalėlės – tai mūsų pačių proto žaismas, padedantis įsivaizduoti aktyvumą kaip objektus. Tai įsivaizduojami objektai.

Savaiminį kvantinio skysčio aktyvumą gali veikti tam tikrų dalelių buvimas, ir atvirkščiai. Taigi, dalelių savybės kinta dėl grįžtamojo ryšio su kvantiniais skysčiais: dalelės gali veikti skysčio aktyvumą, o šis savo ruožtu veikia dalelę. Tokia grįžtamojo ryšio grandinė vadinama *vakuumo poliarizacija*. Taikydami virtualiųjų dalelių sąvoką galime įsivaizduoti paprastą ir suprantamą šio poveikio paveikslą. Virtualiosios dalelės sudaro dujas, kurios užpildo erdvę, ir po susidūrimų su šių dujų dalelėmis bet kurios realiosios dalelės savybės keičiasi.

Nuliniai virpesiai – tai dar vienas savaiminio kvantinių skysčių aktyvumo pavadinimas. Frazė „nuliniai virpesiai“ pabrėžia, kad toks aktyvumas, arba judėjimas, išlieka netgi tada, kai pašalinami visi energijos šaltiniai, kitaip tariant, netgi esant absoliučiam temperatūros nuliui.

Dalelės, būdamos trikdžiais savaiminį aktyvumą demonstruojančiuose skysčiuose, tą savaimingumą paveldi. Jos taip pat rodo nulinius virpesius ir šiuo savo poveikiu normaliajai medžiagai apsunkina eksperimentus, kuriais mėginama aptikti silpnus efektus, kaip antai gravitacines bangas arba kosminį aksionų foną: atsiranda foninio „triukšmo“ šaltinis, tarsi jūsų matavimo prietaisas krutėtų ar virpėtų. Šio fundamentalių fizikinių procesų keliamo kvantinio triukšmo neįmanoma išvengti net ataušinant prietaisą iki žemų temperatūrų arba jį izoliuojant. Geriausia, ką galite padaryti – suprasti, su kuo susidūrėte, ir pamėginti iškilusią problemą kaip nors įveikti.

Kvantinių fliuktuacijų poveikis stebimam dalelių elgesiui – t. y. *vakuumo poliarizacija* – yra svarbiausias mūsų Gamtos giluminių dėsnių suvokimo punktas. **Asimptotinė laisvė** – tai vakuumo poliarizacijos aspektas, nuo kurio priklauso kiekybiniai sąveikų **unifikacijos** aspektai. Šios idėjos aptariamos skyriuose *Kvantinis grožis III* ir *Kvantinis grožis IV*.

Žr. taip pat **Pernormavimas**, **Pernormavimo grupė**

KVANTINIAI MATMENYS

Kvantiniai matmenys – tai **matmenys**, kurių **koordinatės** yra **Grasmanno skaičiai**. Kvantiniai matmenys – tai **supersimetrijos** siela.

KVANTINIS SKYSTIS, KVANTINIS LAUKAS

Kvantinėje teorijoje skysčių arba **laukų** savybės žymiai skiriasi nuo savybių tų terpių, su kuriomis susiduriame ikikvantinėje, klasikinėje, fizikoje. Štai patys svarbiausi skirtumai:

- Net ir tada, kai nėra jokių išorinių veiksnių arba „priežasčių“, *kvantiniams skysčiams* būdingas savaiminis aktyvumas. Žr. **Kvantinės fliuktuacijos**, **Virtualioji dalelė**, **Vakuumo poliarizacija** ir **Nuliniai virpesiai**.
- Trikdžiai, arba sužadinimai, kvantiniuose skysčiuose negali būti maži iki begalybės. Jie egzistuoja kaip minimalūs nedalomi vienetai – **kvantai**.

Kvantiniai skysčiai – tai svarbiausi komponentai, iš kurių konstruojama mūsų **Pagrindų teorija**.

KVANTINIS ŠUOLIS

Žr. **Nuostovioji būsena**, kur šios sąvokos aptariamos joms būdingame kontekste. Čia tik atkreipsiu dėmesį į tai, kad *kvantiniai šuoliai* – tai iš tikrųjų labai maži šuoliai. Todėl žmogus, kuris giriasi atlikęs „kvantinį minties šuolį“ ir tvirtina žinąs, apie ką kalba, iš tikrųjų puikuojasi itin menku laimėjimu ir ne itin dideliu nuovokumu.

KVANTINIS TAŠKAS

Fizikai kuria įmantrius metodus, leidžiančius suformuoti labai mažas medžiaginės struktūras, kurių kraštinės aprėptų vos keletą atomų. Šios struktūros vadinamos *kvantiniais taškais*. Kvantiniai taškai – tai, tiesą sakant, žmogaus sukurtos molekulės.

KVARKAS

Kvarkų sąvoką nepriklausomai vienas nuo kito 1964 m. įvedė Murray Gell-Mannas ir George'as Zweigas. Jie pristatė pagrindinius komponentus **kvarkinio modelio**, kuris leido sutvarkyti **hadronų** „zoologiją“. Nepertraukiama tyrimų gija jungia jų novatorišką darbą su šiuolaikine kvarkų, užimančių garbingą vietą tarp mūsų **Pagrindų teorijos medžiagos dalelių**, samprata.

KVARKINIS MODELIS

Kvarkinis modelis – tai pusiau kiekybinis hadronų modelis. Istoriškai jis atliko svarbų vaidmenį susisteminant faktus apie **stipriąją sąveiką**. Daugiau apie kvarkinį modelį sužinosite skyriaus *Kvantinis grožis III 2 dalyje*.

LAIKO POSLINKIO SIMETRIJA

Laiko poslinkis – tai virsmas, kuris išdėsto įvykių laikus vienodais laiko intervalais. *Laiko poslinkio simetrija* – tai hipotezė, kad vykstant tokiam virsmui fizikos dėsniai nekinta, arba, kaip dažnai sakome, yra *invariantiški*. Laiko poslinkio simetrija – griežtas būdas suformuluoti idėją, kad fizikos dėsniai išlieka nepakitę per visą istoriją. Laiko poslinkio simetrija per Emi Nėter teoremą glaudžiai susijusi su energijos tverme.

LAUKAS, SKYSTIS

Lauko sąvokos pristatymą geriausiai pradėti nuo pavyzdžių.

- Apibūdinant oro sąlygas, pravartu aptarti temperatūros vertes įvairiuose erdvės taškuose skirtingu laiku. Šių verčių visuma apibūdina temperatūros pasiskirstymo lauką.
- Aprašant judėjimą vandens telkinyje dera aptarti vandens **greičio** vertę daugelyje erdvės taškų ir skirtingu laiku. Šių verčių visuma apibūdina **greičių lauką**.
- Aprašant **elektrinius** reiškinius, naudinga aptarti, kokios jėgos gali veikti **elektros krūvį** turinčią dalelę, atsidūrusią skirtinguose erdvės taškuose skirtingu laiku. Šių jėgų verčių ir elektros krūvio vertės dalmuo leis mums apibūdinti **elektrinį lauką**.

Kalbant apibendrintai, mes teigiame, kad turime *„X tipo lauką“*, kai turime vertes *X* skirtinguose erdvės taškuose skirtingu laiku.

Kitaip tariant, X tipo laukas duoda mums X tipo dydį kaip erdvėlaikio **funkciją**.

Šioje knygoje vartojamu terminu *skystis* apibūdinami įvairūs dalykai, užpildantys erdvę ir demonstruojantys tam tikrą aktyvumą. Tinkamiausi pavyzdžiai: **elektrinis skystis**, **magnetinis skystis**, **gliuoninis skystis** ir **Higgso skystis**. Jeigu norite daugiau sužinoti apie subtilius, tačiau svarbius konceptualius skirtumus tarp lauko ir skysčio, būtinai perskaitykite straipsnelius **Elektrinis laukas** ir **Elektrinis skystis**. Žr. taip pat **Terpė**

LAUKO ENERGIJA
Žr. **Energija**

LEPTONAS

Elektronas e ir jo **neutrinas** ν_e kartu su savo giminaičiais miuonu (μ) ir jo neutrinu ν_μ, dalele τ ir jos neutrinu ν_τ turi bendrą pavadinimą – *leptonai*. Jų antidalelės vadinamos *antileptonais*.

LYGINUMAS, LYGINUMO TRANSFORMACIJA, LYGINUMO PAŽAIDA, ŠALIŠKUMAS

Kartais sprendžiant tam tikras matematikos užduotis ar formuluojant fizikos dėsnius patogu pagalbon pasitelkti dešiniąją ranką (arba, žymiai rečiau, kairę ranką).

Daugeliu atvejų šios „dešiniosios rankos taisyklės“ – tik susitarimo dalykas. Būtų galima taikyti ir atitinkamą kairiosios rankos taisyklę, bet daugelį dalykų tektų įvardyti iš naujo. Paimkite, pavyzdžiui, būdą, kuriuo priskiriame tam tikrą kryptį erdvėje sukimuisi aplink ašį. Jeigu objektas sukasi aplink savo ašį, galime priskirti ašiai kryptį, taikydami dešiniosios rankos taisyklę taip, kaip aprašyta toliau. Įsivaizduokite, kad mūsų besisukantis objektas – dailiojo čiuožimo čiuožėja. Ašis, aplink kurią ji sukasi, yra tiesi linija, besitęsianti nuo jos viršugalvio iki kojų pirštų. Ši linija turi tam tikrą orientaciją erdvėje ir beveik apibrėžia kryptį, tačiau, kad užbaigtume tą krypties apibrėžimą, turime žengti dar vieną žingsnį: turime nuspręsti, kur yra „viršus“, o kur „apačia“. Įprasta dešiniosios rankos taisyklė, kurią taikant galima išspręsti šią dviprasmybę, skelbia: jei čiuožėjai sukantis jos ranka juda pilvo kryptimi, renkamės kryptį „aukštyn“ – kitaip tariant, kryptį nuo jos kojų pirštų iki galvos – o jeigu jai sukantis jos dešinė ranka juda link nugaros, renkamės kryptį „žemyn“. Akivaizdu, kad šioje taisyklėje sukeitus dešinę orientaciją su kaire iš to išplaukianti „kairiosios rankos taisyklė“ būtų visiškai lygiavertė.

Štai dar pora šios taisyklės taikymo pavyzdžių:

- Laikrodžio rodyklių judėjimas išreiškiamas jų sukimusi aplink ašį, statmeną ciferblatui. Jeigu žiūrėsite į laikrodžio ciferblatą iš viršaus, tada, pritaikę dešiniosios rankos taisyklę rodyklių sukimuisi „pagal laikrodžio rodyklę“, gausite kryptį „žemyn“.
- Kad įsuktume standartinį varžtą į jam skirtą vietą, turime priversti jį suktis aplink savo ašį. Jeigu žiūrėsime į varžtą iš viršaus, tada, norėdami jį įsukti, turėsime sukti pagal laikrodžio rodyklę. Tai veikia, nes standartinis, geras varžtas turi išorinį sriegį, įrėžtą pagal anksčiau aprašytą dešiniosios rankos taisyklę. Todėl jį ir vadiname varžtu su dešininiu sriegiu. Kai kurie specialūs varžtai turi kairinį sriegį.

Visais šiais atvejais galima drąsiai sukeisti dešinę su kaire, ir gausime visiškai tapačias situacijas. Mums tik reikia šiuose apibūdinimuose sukeisti vietomis žodžius „pagal laikrodžio rodyklę“ ir „prieš laikrodžio rodyklę“.

Taip pat ir fizikos vadovėliuose rasite daugybę dešiniosios rankos taisyklių, apibūdinančių, kaip nustatyti **magnetinių laukų** ir jų sukuriamų **jėgų** kryptį. Tačiau jeigu pakeistumėte dešinę su kaire ir tuo pačiu metu atvirkščiai apverstumėte magnetinio lauko krypties *apibrėžimą*, fizikos dėsniai nė kiek nepasikeistų.

Iki 1956 m. fizikai manė, kad visos kairės ir dešinės krypčių apraiškos fizikoje – tik susitarimo reikalas, kitaip tariant, tai buvo susitarimas, leidžiantis patogiai apibūdinti tam tikrus reiškinius. Susitarimai gali būti labai naudingi. Pavyzdžiui, labai svarbu tinkamai paaiškinti varžtų gamintojams, kuria kryptimi įrėžti sriegį. Tačiau tokie susitarimai nėra priskiriami prie esminių principų. Juk visada galima susitarti kitaip!

Kitas šios prielaidos formulavimo būdas, gražiai įterpiantis ją į gilių apmąstymų apie pagrindinius principus tėkmę – tai **simetrijos** prielaida. Sakoma, kad vykstant *lyginumų transformacijoms* lygčių sistema turi *lyginumo* simetriją, arba išlieka invariantiška, jeigu įmanoma sukeisti kairę su dešine, tuo pačiu atitinkamai pakeitus apibrėžtis, o lygčių turinys išlieka nepakitęs.

(Čia pateiksime techninį papildymą, kuris kartu yra ir įdomi proto mankšta. Šioje vietoje „kairės ir dešinės sukeitimą“ reikia paaiškinti kiek išsamiau, nes kairė ir dešinė – tai erdvėje išdėstytų objektų (pavyzdžiui, rankų) savybės, tad negalime taip paprastai kaitalioti kairiųjų rankų su dešiniosiomis, kairinį sriegį turinčių varžtų su dešininį sriegį turinčiais varžtais ir kt., nekeisdami pačios erdvės tiek, kad sukeičiami objektai derėtų vienas su kitu! Paprasčiausias būdas tai padaryti – pasirinkti tašką O kaip pradinį tašką ir transformuoti bet kurį tašką į jo antipodą taško O atžvilgiu. Tokiu būdu perkelsite bet kurį tašką P į tašką, kuris žvelgiant į jį iš taško O yra diametralus.)

Kai atvaizduodami taškus jų antipodais vykdome lyginumo transformaciją, tampa akivaizdu, kad ir **vektoriai** pakeičia savo kryptį. Pavyzdžiui, puikus mintinis pratimas – įsivaizduoti, kad vektorius, nubrėžtas nuo taško A į tašką B, yra priešingos krypties nei vektorius, nubrėžtas tarp šių taškų antipodų – taško –A ir taško –B.

O štai dar vienas įdomus pratimas, paremtas ta pačia idėja: ištieskite dešinę ranką taip, kad jos nykštys ir du artimiausi jam pirštai būtų nukreipti trimis statmenomis kryptimis, tada padarykite tą patį su kairiąja ranka ir sudėkite rankas taip, kad atitinkami abiejų rankų pirštai būtų nukreipti priešingomis kryptimis. Atlikdami šį pratimą įkūnijate lyginumo transformaciją: jūsų pirštai nukreipti tam tikromis kryptimis, ir visų trijų krypčių inversija kaitalioja kairiąją ranką su dešiniąja ranka, ir atvirkščiai!

1956 m. Tsung-Dao Lee (g. 1926 m.) ir Chen-Ning (Dženingas) Frankas Yangas (g. 1926 m.), išanalizavę keletą mįslingų eksperimentų, iškėlė prielaidą, kad nors dauguma „rankų“ taikymo atvejų, įskaitant ir dešiniosios rankos taisykles, gluminusias ištisas magnetizmą studijavusių studentų kartas, yra tik sąlyginumai, **silpnoji sąveika** šiuo požiūriu skiriasi, nes joje skirtumas tarp kairės ir dešinės iš tikrųjų svarbus. Kitaip tariant, jie priėjo išvadą, kad lyginumo simetrijos nėra griežtai laikomasi. Trumpai kalbant, jie iškėlė *lyginumo pažaidos* prielaidą. Ta prielaida netrukus buvo patvirtinta eksperimentiškai, ir šis proveržis leido žymiai geriau suprasti silpnąją sąveiką.

Šiandien pripažįstame, kad lyginumo pažaida – tai svarbiausias silpnosios sąveikos ypatumas ir itin svarbi atitinkamo **Pagrindų teorijos** punkto formulavimo dalis. Silpnajai sąveikai skirtumas tarp kairės ir dešinės labai svarbus, ir jo negalima paneigti jokiomis apibrėžtimis!

Kad tiksliai nusakytume skirtumą, turime įvesti dalelės *šališkumą*. Kai dalelė su sukiniu dar ir juda, turime su ja susijusias dvi kryptis: kryptį, susijusią su sukiniu, kurį api-

būdinome anksčiau, ir jos greičio kryptį. Apibrėždami su sukiniu susijusią kryptį taikėme dešiniosios rankos taisyklę. Atitinkamai, jeigu taip nustatyta dalelės sukinio kryptis sutampa su jos greičio kryptimi, sakome, jog tai dešininė dalelė. Kita vertus, jeigu dalelės sukinio kryptis priešinga jos greičio krypčiai, sakome, kad tai kairinė dalelė.

Visa tai aptarę, dabar jau esame pasirengę apibūdinti, kaip silpnoji sąveika pažeidžia lyginumą: kairieji kvarkai ir kairieji leptonai, taip pat dešinieji antikvarkai ir antileptonai dalyvauja silpnojoje sąveikoje, tačiau dalelės su priešingu šališkumu to nedaro.

Ir galų gale, leiskite man įvykdyti straipsnelyje apie **ašinį vektorių** duotą pažadą ir apibrėžti šį terminą. Prieš tai matėme, kad vektoriai, susiję su judėjimu iš vieno taško į kitą, keičia kryptį reaguodami į lyginumo transformaciją. Vektoriai, kurie transformuojasi tokiu būdu, vadinami tikraisiais, arba poliniais, vektoriais. Tačiau taip elgiasi ne visi vektoriai! Vektoriai, kurių apibrėžtis apima dešiniosios rankos taisyklę, atliekant lyginumo transformaciją pakeis kryptį du kartus: vieną kartą dėl to, kad jie yra vektoriai, o kitą kartą dėl to, kad jie buvo apibūdinti transformuotos sistemos atžvilgiu „neteisinga“ taisykle (nes dešinė virto kaire!). Vektoriai, kurių kryptis atliekant lyginumo transformaciją *nesikeičia*, vadinami netikrais, arba ašiniais, vektoriais. Pavyzdžiui, fizikoje laikoma, kad magnetinis laukas – tai ašinių vektorių laukas.

LOKALIOJI SIMETRIJA

Sakome, kad sistema *lokali*, kai jos **transformacijos** gali vykti nepriklausomai viena nuo kitos skirtinguose erdvės taškuose ir skirtingu laiku.

Lokalioji simetrija kartu su **kvantine teorija** sudaro **Pagrindų teorijos** visų keturių sąveikų, apibendrinančių mūsų dabartines žinias apie pagrindinius Gamtos dėsnius, pagrindą. Kartu su **supersimetrija** (ir kvantinės fizikos rėmuose) ji taip pat sudaro pagrindą vienam viliojančiam bandymui unifikuoti ir pagerinti Pagrindų teoriją, kaip aprašyta šios knygos skyriuje *Kvantinis grožis IV*.

Lokalioji simetrija sąveikauja su tradicine (griežtąja) simetrija kaip anamorfinis vaizdas sąveikauja su tradicine perspektyva.

Lokalioji simetrija – tai vienas svarbiausių mūsų apmąstymų objektų, kuriam tolesnėse jų dalyse skiriama daugiausiai dėmesio.

MAGNETIZMAS, MAGNETINIS LAUKAS, MAGNETINIS SKYSTIS

„Magnetizmas“ – platus terminas, kuriuo apibūdinamas didelis diapazonas reiškinių, susijusių su elektros srovių tarpusavio sąveika ir sąveika su kai kuriomis ypatingomis magnetinėmis medžiagomis, kurioms taip pat būdinga tokių jėgų sąveika. Iš magnetinių medžiagų, kurioms priklauso dauguma geležies rūdų, gaminami daugeliui gerai pažįstami magnetai, pritaikomi kompasų rodyklėms, magnetukams, kuriais prie šaldytuvo prisegami rašteliai, ir įvairiems kitiems tikslams.

Techninė diskusija dėl tikslaus magnetinio lauko ir jo sukuriamų jėgų apibūdinimo iš esmės būtų labai panaši į mūsų šios temos aptarimą terminų žodyno straipsnelyje **Elektrinis laukas**, **elektrinis skystis**, tačiau jo pavienės detalės žymiai sudėtingesnės ir miglotesnės. Siūlau du lengvai prieinamus leidinius, kuriuose rasite daugiau informacijos šia tema (žr. *Pastabos* knygos pabaigoje).

MAKSVELO LYGTYS

Maksvelo lygtys – tai sistema iš keturių lygčių, kurios išreiškia ryšius tarp **elektrinių laukų**, **magnetinių laukų** ir **elektros krūvių** bei **elektros srovės** pasiskirstymų erdvėje. Jos išsamiai aptariamos pagrindiniame šios knygos tekste ir pastabose.

Taip pat žr. straipsnelius **Ampero dėsnis (Ampero ir Maksvelo dėsnis)**, **Faradėjaus dėsnis** ir **Gauso dėsnis**, kuriuose visos keturios Maksvelo lygtys aiškinamos pavieniui.

MAKSVELO NARYS, MAKSVELO DĖSNIS

Siekdamas suderinti prieštaravimus tarp **dinamiškų dėsnių**, aiškinančių **elektrinį** ir **magnetinį laukus**, tokius, kokie jie tuo metu buvo žinomi, Maksvelas iškėlė prielaidą, kad turi egzistuoti papildomas efektas. Naujasis efektas, kurį pavadinau *Maksvelo dėsniu*, byloja, kad elektros laukai, bėgant laikui kisdami, sukelia („sukuria“) magnetinius laukus. Tai tam tikras **Faradėjaus dėsnio**, pagal kurį per tam tikrą laiką kintantys magnetiniai laukai sukelia elektrinius laukus, papildinys. Maksvelo dėsnis pateikia dar vieną būdą, kaip sukelti magnetinius laukus pasitelkus elektros sroves (**Ampero dėsnis**). Visa lygtis, gaunama pridėjus naują *Maksvelo narį* prie Ampero dėsnio, yra žinoma kaip **Ampero ir Maksvelo dėsnis**.

MASĖ

Mokslinė *masės* samprata bėgant laikui buvo plėtojama, todėl šis žodis dabar vartojamas keliomis glaudžiai tarpusavyje susijusiomis, tačiau nevisiškai suderintomis reikšmėmis. Čia apibūdinsiu tris svarbiausias masės sampratas.

1. Pats ankstyviausias, ganėtinai tikslus mokslinis termino *masė* vartojimas aptinkamas Niutono mechanikoje. Čia masė vertinama kaip pagrindinė medžiagos savybė, kurios negalima nei sukurti, nei sunaikinti, nei paaiškinti kokiais nors paprastesniais terminais. Masė – tai dydis, kuriuo matuojama kūno inercija arba jo atsparumas greitėjimui. Didesnę masę turintis kūnas, jeigu jo neveiks stiprūs išoriniai veiksniai (**sąveikos**), bus linkęs išlaikyti pastovų greitį. Ši masės samprata tampa kokybine antrajame Niutono dėsnyje, kuris skelbia, kad kūno pagreitis prilygsta jį veikiančiai jėgai, padalytai iš jo masės. Niutono masės sąvoka vis dar plačiai vartojama ir vis dar vadinama „masė“, nes Niutono mechanika, nors ir nevisiškai tiksli, dažnai veikia kaip pakankama aproksimacija, ir ja lengviau naudotis nei tikslesne reliatyvistine mechanika.
2. Einšteino mechanikos modifikacijoje, kuria siekiama ją suderinti su specialiąja reliatyvumo teorija, masė virto kitokia samprata. Reliatyvistinėje mechanikoje masė – tai pavienių dalelių savybė, tačiau masė gali būti sukurta arba sunaikinta šioms dalelėms sąveikaujant tarpusavyje. Pagal reliatyvistinę mechanikos teoriją masė – tai dalelės indėlio į **masės energiją** matas, nulemiantis jos **judėjimo energiją**. Masė – tai dalelės savybė, tačiau ji nėra aiškiai apibrėžta (**tvari**) pasaulio kaip visumos savybė.

Kiekviena mūsų **Pagrindų teorijos elementarioji dalelė** turi apibrėžtą masę, tačiau teiginys, kad sąveikaujančių dalelių masių suma lygi dalelių masių sumai po sąveikos, labai nutolęs nuo tiesos. Sąveikaujant didelės energijos **elektronams** su **pozitronais**, paprastai nustatoma, kad dalelių bendra masė po jų susidūrimo yra tūkstančius kartų didesnė, nei tų pačių dalelių bendra masė susidūrimo pradžioje.

Reliatyvistinėje mechanikoje išsaugoma ne masė, o **energija**. Man malonu apibendrinti masės ir energijos vaidmenį reliatyvistinėje mechanikoje fraze: „Dalelės turi masę, pasaulis turi energiją."

3. Kosmologijoje kalbama apie masės dalį visatoje, susidarančią dėl įvairių medžiagų: **normalioji medžiaga** (5 %), **juodoji medžiaga** (27 %), **juodoji energija** (68 %). Tai neatsakinga termino „masė" vartosena (ypač kalbant apie juodąją energiją, kuri neturi masės nė viena pirma aptarta šio termino prasme). Tačiau jis labai plačiai paplitęs tiek mokslinėje, tiek populiariojoje literatūroje, taigi, negalime be jo išsiversti. Štai ką tai reiškia: pagal bendrąją reliatyvumo teoriją galime susieti greitį, kuriuo kinta visatos plėtimosi tempas, su laiku – paprastai kalbant, jo pagreitį – su vidutiniu visatos energijos tankiu. Šį vidutinį energijos tankį galime padalyti iš šviesos greičio kvadrato, kad gautume kažką, kas išmatuojama masės tankio vienetais. Anksčiau paminėti procentai – tai to „kažko", apimančio įvairias medžiagos rūšis, santykinės dalelės.

Masė nėra tvari, tad, iš esmės, viliamės, kad galima ją paaiškinti paprastesnėmis sąvokomis. Ir iš tikrųjų, egzistuoja itin gražus, iš **kvantinės chromodinamikos** iškylantis paaiškinimas, iš kur atsiranda didžioji **normaliosios medžiagos** masės dalis. Visų svarbių **protonų** komponentų – kylančiųjų ir krintančiųjų **kvarkų** bei spalvotųjų **gliuonų** – masė žymiai mažesnė nei protono masė. Vadinasi, turi būti kažkoks kitas protono masės šaltinis.

Svarbus žingsnis link protono masės kilmės suvokimo – teisingas suvokimas, kas *yra* protonas. Tai kas gi yra protonas? Remiantis šiuolaikiniais fizikos principais, protonas – tai stabilus, lokalizuotas *trikdžių modelis* kvarkų ir gliuonų **skysčiuose**. Toks modelis gali judėti – tą mums užtikrina **Galilėjaus** simetrija – ir jeigu jį stebėsime iš toli (palyginti su jo dydžiu), jis atrodys kaip dalelė. Egzistuoja gliuonų **lauko energija**, susijusi su trikdžiais, ir išlaikymo būsenos kvarkų **judėjimo energija**. Jeigu pastoviojo trikdžio energiją pažymėsime ε, tai ε/c^2 bus dalelės masė, kurią numanome esant, kitaip tariant, protono masė. Ir tai – visų pirma – *jūsų* masės šaltinis. Tai „masė be masės", atsirandanti iš viduje glūdinčios energijos.

MASĖS ENERGIJA

Žr. **Energija**

MATMUO

Vertinant intuityviai, *matmuo* – tai galima judėjimo kryptis. Tokiu būdu teigiame, kad linija arba kreivė turi vieną matmenį. Plokštuma, arba paviršius, turi du matmenis, nes norint iš bet kurio taško pasiekti bet kurį kitą tašką reikalauja judėjimo tik dviem savarankiškomis kryptimis – jas galime pavadinti, pavyzdžiui, „horizontali" ir „vertikali, arba „šiaurė – pietūs" ir „vakarai – rytai". Erdvė, kurioje gyvename, arba kietasis kūnas turi tris matmenis (jie trimačiai).

Lankstesnė „erdvės" ir matavimo samprata natūraliai iškilo įvedus koordinates. Daugiau apie jas sužinosite perskaitę straipsnelį **Koordinatės**. Erdvės matmuo, kurį apibūdina koordinatės, yra lygus jam būtinų koordinačių skaičiui. Ši idėja, taikoma paprastiems, glotniems geometrijos objektams, sutinka su ankstesne intuityvia idėja.

Matematikai apibendrino šias daugmaž intuityvias matavimų sampratas daugybe būdų. Du įsidėmėtini apibendrinimai – tai

sudėtiniai matmenys ir trupmeniniai, arba *fraktaliniai*, matmenys. Sudėtiniai matmenys prideda daugiau koordinačių, tačiau tokių, kurios yra **kompleksiniai skaičiai**. Trupmeniniai matmenys gali atsirasti nagrinėjant objektus, kuriems būdinga itin turtinga vietinė struktūra ir kurie tolimi nuo glotnumo sąvokos (žr. **Fraktalai**). Per pastaruosius metus fizikai, atsižvelgę į **supersimetriją**, įvedė **kvantinių matmenų** sąvoką. Kvantinių matmenų koordinatės – tai **Grassmanno skaičiai**.

Moksle žodis „matmuo" gali būti vartojamas dar viena, visiškai kitokia, reikšme. Šiuo atveju kalbame apie vienetus, kuriais išmatuojamas koks nors dydis, to dydžio apimtis. Taigi, šia prasme plotas turi ilgio matmenis, pakeltus kvadratu, **greitis** turi ilgio matmenis, padalytus iš laiko, o jėga – masės matmenis, padaugintus iš ilgio ir padalytus iš laiko kvadrato, ir t. t. Kad nekelčiau galimos painiavos, šioje knygoje vengiau žodį „matmuo" vartoti čia aptarta prasme.

MEDŽIAGOS DALELĖ

Tai dar vienas visų fermionų pavadinimas. **Pagrindų teorijoje** – tai **kvarkai** ir **leptonai**.

Jeigu **supersimetrijos** idėja teisinga, tada kiekvienai medžiagos dalelei egzistuoja atitinkamas „partneris" – **sąveikos dalelė**. Medžiagos dalelė, judėdama kvantiniame matmenyje, tampa savo lydinčiąja sąveikos dalele.

METRIKA, METRINIS SKYSTIS

Teigiame, kad kai galime pasakyti, koks atstumas yra tarp dviejų šalia vienas kito esančių taškų, erdvė turi metriką. Pati *metrika* – tai slaptas „padažas", paverčiantis taškų rinkinį matmenis ir formą turinčiu dariniu.

Iš pradžių tarkime, kad žinome, kaip išmatuoti atstumą tarp dviejų gretimų taškų įprastoje erdvėje, pavyzdžiui, trumpomis liniuotėmis. Tada tomis pačiomis liniuotėmis galėsime išmatuoti ir atstumus tarp gretimų taškų ant bet kurio pakankamai lygaus paviršiaus. Apsiribojimas trumpomis liniuotėmis ir gretimais taškais čia svarbus dėl to, kad jeigu turėsime išlenktą paviršių ir ilgas plokščias liniuotes, tada dideliais atstumais tokios liniuotės gali blogai priglusti prie plokštumos, todėl neišmanysime, kaip jas tinkamai prie jos pridėti.

Dabar įsivaizduokime, jog šį paviršių turime atvaizduoti įprastame, plokščiame popieriniame žemėlapyje. Žinoma, galime tą padaryti įvairiais būdais, tiesiog nustatydami analogiją tarp šių dviejų taškų aibių: taškų paviršiuje ir taškų žemėlapyje. Pažymime Prahą čia, o Naująjį Delį štai čia, ir t. t., stengdamiesi taškus, kurie yra greta vienas kito realybėje, atvaizduoti greta vienas kito ir žemėlapyje. Galima gana laisvai pasirinkti, kaip tą padaryti, todėl atlasuose galima rasti daugybę ganėtinai skirtingų vienos ir tos pačios srities atvaizdų.

Taigi, be tam tikrų papildomų detalių žemėlapis mums neparodo, kaip iš tikrųjų vienas nuo kito nutolę paviršiuje išdėstyti taškai. Šią informaciją ir pateikia *metrika*, papildomos žemėlapio detalės. Kalbant kiek tiksliau, metrika – tai padėčių žemėlapyje funkcija: ji „sudaiktina" kiekvieną tašką žemėlapyje, t. y. priskiria jam tam tikrą vertę. Kiekviename taške metrikos vertė – tai instrumentas, parodantis jums (kiekvienai krypčiai, kuria galite judėti nuo to taško) mastelį, kurį turite taikyti trumposioms liniuotėms tam, kad žemėlapyje išmatuotas atstumas tarp gretimų taškų būtų toks pat, kaip atstumas tarp taškų, kuriuos jie atitinka realiame paviršiuje.

Išnagrinėję, ką reikia padaryti, kad plokščiąjį paviršių (mūsų žemėlapį) paverstume paviršiumi, turinčiu matmenis ir formą, galime į šią idėją pažvelgti kūrybiškai ir plėtoti ją toliau arba atlikti šios temos variacijas. Kad suvoktume metrikos idėją, kuri fizikai itin svarbi, turime įgyvendinti du svarbius dalykus.

Visų pirma, perkeliame dėmesį nuo paviršiaus išmatavimo problemos, kuri paskatino mus įvesti metrikos sąvoką, prie pačios metrikos idėjos. Todėl bet kurį instrumentą, rodantį mums mastelius, kuriuos turime priskirti trumposioms liniuotėms, vadiname mūsų žemėlapio metrika, nesvarbu, ar šis instrumentas atsirado iš paties paviršiaus, ar ne. (Žengdami šį žingsnį, einame taku, kuriuo Bernardas Rimanas (Bernhard Riemann), 1826 – 1866) apibendrino savo mokytojo Karlo Gauso (1777 – 1855) darbą.) Kitaip tariant, suteikiame šiai metrikos idėjai galimybę gyventi savarankiškai.

Visų antra, pridedame tam tikrus **matmenis**. Niekas mums netrukdo pridėti tokį patį mastelio nustatymo prietaisą prie taškų visoje trimatėje erdvėje, o ne tik prie taškų plokščiame popieriaus lape. Plėtodami šią mintį toliau, naudodamiesi koordinačių metodu galime trimatę erdvę ir laiką pateikti kaip bendrą keturmatį erdvėlaikį ir pagalvoti apie tai, kaip prie jo pridėti metrikos instrumentą. Taigi, radome labai lanksčią procedūrą, kaip galima atvaizduoti arba, kitaip tariant, apibūdinti, ką turėtume laikyti išlenkta trimate erdve, arba išlenktu erdvėlaikiu, ir visa tai padarome „akivaizdžiai teisingu“ būdu, apibendrinančiu mūsų elgesį su paviršiais, grindžiamą visiškai aiškia nuojauta.

Tai tiek apie *matematinę* metrikos idėją. Tai abstraktus mechanizmas, užpildantis erdvę (arba erdvėlaikį), kitaip tariant, konceptualųjį **lauką**. Kiti egzistuojantys laukai: **elektriniai laukai**, **magnetiniai laukai** ir **greičių laukai** vandens telkinyje. Šiais ir daugeliu kitų atvejų aptinkame, kad laukai – svarbūs tikrovės elementai. Veikiami medžiagos, o tuo pačiu ir patys veikdami medžiagos elgesį, jie šoka pagal **dinamikos lygčių** muziką. Galime teigti – ne griežtai, tačiau pakankamai pagrįstai – kad jie egzistuoja *fiziškai*. Einšteinas savo **bendrojoje reliatyvumo** teorijoje postulavo, kad *erdvėlaikio metrika*, kaip ir visi šie kiti laukai, sudaro savarankiškai egzistuojantį fizikinį objektą. Atsižvelgdami į vaidmenį, kurį jis atlieka **bendrojoje reliatyvumo teorijoje**, mes jį vadiname *metrikos skysčiu* arba **gravitaciniu skysčiu**.

Kaip kad aprašyta šiame straipsnelyje, sąvoka „metrika“ turi daug variantų ir apibendrinimų, kurie gali būti įvairiai pritaikomi ir kuriuos jungia viena svarbi bendrybė – jie visi glaudžiai susiję su tam tikru atstumu. Anksčiau aprašyta versija šiuo metu pati naudingiausia fizikai ir kaip tik ji figūruoja mūsų meditacijoje.

Aiški atstumo sąvoka tinka ne visoms erdvėms, arba erdvė gali turėti keletą skirtingų atstumo apibūdinimo galimybių. Tokiais atvejais tiesiog galime apsieiti be metrikos arba galime eksperimentuoti su skirtingomis **papildomomis** galimybėmis. Šiuo atžvilgiu įdomus pavyzdys – spalvinio suvokimo trimatė erdvė.

Ar įmanoma tiksliu kiekybiniu būdu nustatyti atstumą tarp skirtingų suvokiamų spalvų? Keletas rimtų mąstytojų, tarp kurių buvo ir įžymusis Ervinas Šriodingeris, palikęs mums garsiąją **Šriodingerio lygtį**, susigrūmė su šia problema. Jie pateikė keletą skirtingų atsakymų. Kiekvienas šių atsakymų vidujai ganėtinai nuoseklus, tačiau kol kas nė vienas jų nepasirodė nei ypač naudingas, nei žymiai pranašesnis už kitus.

MEZONAS

Žr. **Hadronas**

MIKROBANGA, MIKROBANGINĖ FONINĖ SPINDULIUOTĖ

Elektromagnetinės bangos, kurių **ilgio** intervalas – apytikriai nuo milimetro iki metro, vadinamos *mikrobangine spinduliuote*.

Ankstyvajame savo istorijos etape medžiaga mūsų visatoje buvo tokia karšta ir tanki, kad atomai joje negalėjo egzistuoti kaip tvarūs objektai. Plazma, sudaryta iš protonų, helio **branduolių** ir **elektronų**, žėrėjo baltu įkaičiu, ir visata buvo pripildyta šviesos. Visatai plečiantis ir vėstant, atomai virto tvariais objektais, o dėl to, ganėtinai staiga, visata nuskaidrėjo ir tapo laidi šviesai bei kitoms elektrinės spinduliuotės formoms, kaip kad yra ir šiandien. Šviesa toliau sklido po visatą, ir šiai plėtrai nesiliaujant šviesos bangos ilgėjo.

Šiandien didelė dalis tos šviesos pasislinko į **elektromagnetinio spektro** mikrobanginę dalį. Ji pavirto *mikrobangine fonine spinduliuote*.

Mikrobanginę foninę spinduliuotę eksperimentiškai aptiko Arno Penziasas ir Robertas Wilsonas (Vilsonas) 1964 m., ir nuo tada ji intensyviai tyrinėjama. Dėl savo kilmės mikrobanginė foninė spinduliuotė suteikia mums prieigą prie dar neiškraipytų duomenų apie sąlygas ankstyvajame visatos vystymosi etape.

MULTIVISATA

Žr. **Visata, regimoji visata ir multivisata**

MUTATRONAS

Teorijose, kurios sujungia stipriąją ir silpnąją sąveikas, egzistuoja dalelės, kurios sukelia transformacijas tarp stipriųjų ir silpnųjų spalvų. Mes (arba, tiksliau, aš) vadiname šias hipotetines daleles *mutatronais*.

NANOVAMZDELIS

Nanovamzdeliai – tai vien tik iš anglies sudarytų molekulių klasė. Kaip rodo pavadinimas, šios molekulės turi vamzdelio formą ir gali driektis iki begalybės viena kryptimi. *Nanovamzdeliai* gali būti įvairių dydžių ir formų, ir jiems būdingos nuostabios mechaninės ir elektrinės savybės. Pavyzdžiui, kai kurių klasių nanovamzdeliai itin stiprūs išilgai. Iš tokių nanovamzdelių pagaminti pluoštai bus labai lengvi, žymiai lengvesni nei plienas. Išsamesnį šios temos aptarimą ir iliustracijas rasite skyriuje *Kvantinis grožis II*.

NATŪRALIEJI SKAIČIAI

Skaičiai 1, 2, 3,.. – tai skaičiai, natūraliai kylantys iš skaičiavimo veiksmo (jais skaičiuojame daiktus). Jie vadinami *natūraliaisiais skaičiais*. Tai ta skaičių rūšis, kurią labiausiai mėgo Pitagoras. Natūralieji skaičiai sudaro diskretines sekas. Juos reikėtų skirti nuo **realiųjų skaičių**.

NEUTRINAS

Kiekvienas iš trijų elektrinį krūvį turinčių leptonų – elektronas e , miuonas μ ir tau dalelė τ – turi su jais susijusį *neutriną*. Neutrinai, žymimi ν_e, ν_μ ir ν_τ, yra elektriškai neutralios dalelės. Kairinio spirališkumo neutrinai turi geltono silpnojo krūvio vienetą, jų elektros krūvis lygus nuliui, ir jie neturi stipraus **spalvinio krūvio**. Dėl to neutrinai dalyvauja **silpnojoje sąveikoje**, tačiau nedalyvauja **elektromagnetinėje** arba **stipriojoje** sąveikose, itin silpnai sąveikauja su **normalia medžiaga**. Sukrečianti šio fakto iliustracija: kas sekundę apie 65 milijardus neutrinų, išspinduliuotų vykstant silpniems perėjimams, kurie teikia energiją mūsų Saulei, prasiskverbia per kiekvieną kvadratinį Žemės centimetrą. Vis dėlto, šių neutrinų poveikio faktiškai nejaučiame, tad norėdami aptikti jų srautą turime naudotis labai įmantriais detektoriais.

Galima išskaičiuoti, kad milžiniškas neutrinų perteklius buvo sukurtas per Didįjį sprogimą. Jo metu atsiradusios kosmologinės dujos kol kas neaptiktos – neaptiktos dėl to, kad neutrinai itin silpnai sąveikauja. Kadaise buvo manoma, kad neutrinai – tai puikūs kandidatai į **juodąją medžiagą**, tačiau ši idėja neatlaikė kritikos – iš esmės dėl to, kad, kaip žinome dabar, šios dalelės pernelyg lengvos.

Buvo atrasta daugybė kitų įdomių faktų apie neutrinus. Šios knygos pabaigoje pateiktose *Pastabose* siūlau jums du lengvai prieinamus leidinius, kuriuose galėsite surasti daugiau įdomios informacijos šia tema.

NEUTRONAS

Neutronai kartu su protonais – tai atomo **branduolių** komponentai. *Neutronai* neturi **elektros krūvio**, tačiau sveria veik tiek pat, kiek protonai. Didžioji dalis **normalios medžiagos** atsiranda iš ją sudarančių **protonų** ir neutronų masės. Kadaise buvo manoma, kad neutronai yra bazinės **elementariosios dalelės**, tačiau šiandien žinome, kad jie – tai sudėtingi objektai, sudaryti iš paprastesnių dalelių, kaip antai **kvarkų** ir **gliuonų**.

NORMALI MEDŽIAGA

„Normali medžiaga“ – patogus terminas, kurį vartoju kalbėdamas apie medžiagą, sudarytą iš **kvarkų**, spalvotųjų **gliuonų**, **elektronų** ir **fotonų**. Normali medžiaga – tai vyraujanti medžiagos forma Žemėje ir artimiausioje jai aplinkoje. Tai tokia medžiaga, iš kurios esame sudaryti mes patys ir kurią tyrinėjame pasitelkdami chemiją, biologiją, medžiagotyrą, visas inžinerijos formas ir beveik visą astrofiziką. Normalią medžiagą reikėtų skirti nuo **juodosios energijos** ir **juodosios medžiagos**.

NUKLEONAS

Nukleonais vadinamos dalelės, sudarančios atomo branduolį. *Nukleonai* yra dviejų rūšių – protonai ir neutronai.

NULINIAI VIRPESIAI

Žr. **Kvantinės fliuktuacijos**, **Nuliniai virpesiai**

NUOSEKLUMAS IR PRIEŠTARINGUMAS

Sakome, kad iš prielaidų ir pastebėjimų sudaryta sistema yra nuosekli, jeigu ja remiantis negalima išvesti prieštaravimo. Sakome, kad turime prieštaravimą, kai teisingi ir teiginys, ir jo paneigimas.

Grynai spekuliatyvinio pobūdžio teorijose, kurios nepatvirtina konkrečių fizikinių reiškinių egzistavimo, stebėjimai negali privesti prie prieštaravimų. Toks atsparumas prieštaravimams suteikia šioms teorijoms nuoseklumo, tačiau geresnės jos dėl to netampa. Niutonas šią nuomonę įtikinamai pateikia savo *Matematiniuose gamtos filosofijos pagrinduose:*

> *Vis dėlto, tai, kas nėra išvesta iš reiškinių, turi būti vadinama hipoteze; hipotezėms, tiek metafizinėms, tiek fizinėms, tiek pagrįstoms okultinėmis savybėmis, tiek mechanika, eksperimentinėje filosofijoje vietos nėra.*

Vertindami fizikos teorijas, turime atsižvelgti ne tik į jų neprieštaringumą, bet ir į jų galią ir ekonomiškumą. Norėdami sužinoti daugiau šia tema, žr. **Falsifikuojama teorija**, **veiksminga teorija** ir **Ekonomiškumas (idėjų)**

NUOSTOVIOJI BŪSENA

Istoriškai terminas „nuostovioji būsena“ pirmą kartą paminėtas Boro atomo modelyje. Taikydami klasikinę mechaniką ir elektrodinamiką užduočiai apie neigiamo krūvio elektroną, susietą su teigiamo krūvio protonu, pamatysime, kad neįmanoma rasti nuostovaus sprendimo. Elektronas spirališkai artės link protono, skleisdamas **elektromagnetines bangas**. Kad būtų išvengta šios katastrofos, Boras įvedė drąsią hipotezę – *nuostoviųjų būsenų* hipotezę. Pagal ją elektronui leidžiama užimti tik nedaugelį klasikinės teorijos leidžiamų orbitų, kurios ir nulemia jam leistinas „būsenas“. Šių ypatingų orbitalių ribose elektronas ne skleidžia energiją, o yra „nuostovus“. Tokiu būdu leidžiamosios

orbitalės nulemia nuostoviąsias būsenas.

Galiausiai Boro modelį pakeitė šiuolaikinė kvantinė mechanika, tačiau kai kuriuos jo elementus, įskaitant ir nuostoviosios būsenos sampratą, galima pamatyti ir šiuolaikinėje teorijoje. Šiuolaikinėje kvantinėje teorijoje elektrono būseną apibūdina **banginė funkcija**. Ši funkcija ir su ja susijęs **tikimybių debesis** bėgant laikui keičiasi pagal fundamentaliąją **Šriodingerio lygtį**. Tarp Šriodingerio lygties sprendinių yra keletas ypatingų, kurių tikimybių debesys bėgant laikui visiškai nekinta. Šie sprendiniai – kvantinės teorijos vaisius – turi savybių, kurias Boras postulavo savo modelio nuostoviosioms būsenoms. Taigi, kvantinėje teorijoje sakoma, kad banginės funkcijos, kurių tikimybių debesys bėgant laikui nekinta, nulemia *nuostoviąsias būsenas*. Vėl pakartosiu: jeigu norite sužinoti daugiau ir pamatyti iliustracijas, kurių viena prilygsta tūkstančiui žodžių, žr. skyrių *Kvantinis grožis I*, taip pat perskaitykite žodynėlio straipsnelį **Spektrai**.

Ypatingos banginės funkcijos, apibūdinančios nuostoviąsias būsenas (bangines funkcijas, kurių tikimybių debesys bėgant laikui nekinta), ypač praverčia gvildenant atomo fizikos ir chemijos problemas. Atiduodami duoklę jų kilmei iš Boro leidžiamųjų orbitų, mokslininkai pavadino jas orbitalėmis.

Nuostoviosios būsenos sąvoka yra apytikslė, nes egzistuoja fizikiniai procesai, kuriems vykstant elektronas gali pereiti iš vienos būsenos į kitą. Tiksliau sakant, nuostoviosios būsenos elektronas, išleisdamas arba sugerdamas **fotoną**, gali pereiti į kitą nuostoviąją būseną. Boras savo modelio ribose negalėjo pateikti išsamaus šio netolydaus orbitos kitimo paveikslo arba mechanizmo ir tiesiog priėmė jį kaip papildomą prielaidą – **kvantinių šuolių** tikimybę.

Šiuolaikinėje kvantinėje teorijoje virsmai tarp nuostoviųjų būsenų vyksta kaip logiškas lygčių rezultatas. Fiziškai jie atsiranda dėl sąveikos tarp **elektronų** ir **elektromagnetinių skysčių**. Palyginti su pagrindinėmis **elektrinėmis jėgomis**, kurios suriša elektronus, ši sąveika ganėtinai silpna, todėl mums labai dažnai gerai pavyksta įtraukti ją kaip pataisą, išlaikant nuostoviąsias būsenas kaip pradinį tašką. Laikydamiesi tokio požiūrio nustatome, kad virsmai nėra tikros vientisumo pažaidos, nors jie iš tiesų vyksta greitai.

Vertinant konceptualiai spinduliavimo procesas ypač įdomus. Jame elektronas sukuria elektromagnetinę energiją fotono pavidalu ten, kur jo prieš tai nebuvo. Tai nutinka, kai elektronas susiduria su savaiminiu elektromagnetinio skysčio aktyvumu ir, atiduodamas jam dalį savo energijos, sustiprina šį aktyvumą. Tokiu būdu elektronas pereina į žemesnės energijos būseną, **virtualusis fotonas** tampa realiuoju fotonu, ir tebūnie Šviesa.

ORBITA, ORBITALĖ

Kas yra aplink Saulę besisukančios planetos *orbita* ar aplink Žemę skriejančio dirbtinio palydovo *orbitos*, daugelis puikiai žino, todėl jokių papildomų komentarų tikrai nereikia. Iš esmės tai į vieną kreivę surinktų kūno per tam tikrą laiką užimamų padėčių seka.

Kvantinėje fizikoje ir chemijoje vartojamas terminas *orbitalė* – tai **nuostoviosios būsenos** banginė funkcija. Sakome, kad elektronas „užima orbitalę“, kai to **elektrono** būsena apibūdinama **bangine funkcija**, susijusia su ta orbitale. Terminas „orbitalė“ – tai Boro atomo modelio, kuriame nuostoviosios būsenos susietos su atrinktomis klasikinėmis orbitomis, liekana.

OSCILIACIJA

Fizikinį procesą, kuris per lygius laiko tarpus pereina daugelį identiško elgesio ciklų, vadiname *osciliacija*, arba *virpesiu*. Osciliacijų pavyzdžiai iš muzikos: tampomų gitaros stygų arba plaktukėliu užgauto kamertono virpėjimas.

PAGREITIS

Greitis – tai kūno padėties pokytis per laiko vienetą (žr. **Greitis**), o *pagreitis* – greičio pokytis laiko atžvilgiu. Vienas iš didžiausių Niutono laimėjimų – įrodymas, kad kūnų pagreitis susijęs su juos veikiančiomis jėgomis. (Jis paskelbė šį atradimą dar iki jo išsamaus pristatymo pasitelkus įsimintiną anagramą, kaip aprašyta skyriuje *Niutonas III*.) Senuose klasikinės mechanikos vadovėliuose dažniausiai sutinkamas antrasis Niutono dėsnis: „**Jėga** lygi **masei**, padaugintai iš pagreičio." Žinoma, kai nėra jokios konkrečios informacijos apie jėgas, šis teiginys tampa beprasmiškas. Iš tikrųjų jį reikėtų vertinti kaip pažadą, kad pagreičio tyrinėjimai nenueis veltui!

Niutonas suformulavo keletą bendrų teiginių apie jėgas. Itin verta prisiminti jo pirmąjį dėsnį, kuris skelbia, kad „laisvi" kūnai turi nulinį pagreitį (kitaip tariant, laisvo kūno greitis yra pastovus). Šiame dėsnyje numanoma, kad kūnai, dideliu atstumu nutolę nuo visų kitų kūnų, gali būti santykinai laisvi; arba, kitaip tariant, kad didėjant atstumui jėgos silpnėja.

Niutonas taip pat išplėtojo išsamią teoriją apie vienos jėgos rūšį – **gravitacinę** jėgą. Šiame kontekste įdomu pastebėti, kad kūną veikianti **gravitacinė** jėga yra proporcinga to kūno masei, todėl gravitacinis pagreitis *nepriklauso* nuo kūno masės! Šis dėsnis kaip Žemės traukos atvejis patikrintas garsiajame Galilėjaus eksperimente, kai šis mėtė daiktus nuo pasvirusio Pizos bokšto.

Einšteino gravitacijos teorijoje, kuri žinoma kaip **bendroji reliatyvumo teorija**, judėjimo dėsnis išreiškiamas tiesiogiai per pagreitį, atskirai neminint jėgos.

Pagreitis, kaip ir greitis – **vektorinis** dydis.

PAGRINDŲ TEORIJA

Šioje knygoje *Pagrindų teorija* vadinamos viešpataujančios **stipriosios**, **silpnosios**, **elektromagnetinės** ir **gravitacinės sąveikų** teorijos, įkūnijančios **kvantinės teorijos** ir **lokaliosios simetrijos** (įskaitant **bendrąją reliatyvumo teoriją**, lokaliąją **Galilėjaus simetrijos** versiją) principus.

Pagrindų teorija, arba ta jos dalis, kuri neapima gravitacijos, dažnai vadinama Standartiniu modeliu. Manau, jog dėl tam tikrų priežasčių, apie kurias kalbėjau šioje knygoje, ji nusipelno geresnio pavadinimo.

(Kodėl kažkam galėjo šauti galvon išmesti gravitaciją iš Pagrindų teorijos apibrėžties? Dažnai teigiama, kad tarp kvantinės mechanikos ir bendrosios reliatyvumo teorijos egzistuoja esminis konfliktas, o kartais netgi tvirtinama, kad šis konfliktas – paralyžiuojančios fizikos krizės priežastis. Abu šie teiginiai gerokai perdėti, o antrasis – atvirai klaidinantis. Pavyzdžiui, astrofizikai savo darbe reguliariai be didesnių sunkumų derina bendrą reliatyvumo teoriją ir kvantinę mechaniką.

Bendrąją reliatyvumo teoriją galima įvesti į Pagrindų teorijos lygtis ypatingu, nepaprastai įdomiu, būdu, pagal tą patį gilų principą – lokaliąją simetriją – kurį įpratome taikyti kitoms sąveikoms. Kvantinės teorijos taisyklės veikia toliau.

Apibūdinta tokiu būdu, Pagrindų teorija negali duoti įtikinamų atsakymų apie mintinius eksperimentus, kuriais mėginama patvirtinti kai kuriuos juodųjų bedugnių fizikos aspektus. Ekstrapoliuojant kosmologinio Didžiojo sprogimo pradžią jos lygtys tampa singuliarinėmis ir nepritaikomomis, o tai reiškia, kad tai nėra Visko teorija. Tačiau dėl **šeimos**, **juodosios energijos** ir **juodosios medžiagos** bei kai kurių kitų problemų mes ir taip tą žinome. Vis dėlto, ši nuosekli, galinga ir enonomiška teorija nėra nepaneigiama. Visiškai įmanoma ir pagrįsta įtraukti bendrąją reliatyvumo teoriją į Pagrindų teoriją, ir aš tą padariau.)

PANEIGIAMUMAS ARBA STIPRUMAS

Jei teiginį (arba teoriją) galima palyginti su empiriniais stebėjimais ir tokiu būdu jį paneigti, sakome, kad jam būdingas paneigiamumas (angl. *falsifiability*). Seras Karlas Popperis (1902 – 1994) siekė, kad paneigiamumas taptų kriterijumi, pagal kurį mokslas būtų atskirtas nuo kitokios žmogaus veiklos. Nors tai skamba pagrįstai, nemanau, kad Popperio paneigiamumo kriterijus adekvačiai atspindi mokslinę praktiką, nes mums dažniau rūpi, kaip patvirtinti geras idėjas, nei kaip išgenėti blogas.

Paneigiamumą labiau dera laikyti (daliniu) teorijų *brandumo* ir *vaisingumo* kriterijumi, nei jų priklausomumo mokslo ar ne mokslo sričiai matu. Šiame kontekste *paneigiamumas* turi būti aptariamas kartu su *stiprumu*. Teorijos, kurios leidžia daryti sėkmingas prielaidas, tačiau taip pat kartais patiria nesėkmes (pavyzdžiui, praktinė metrologija), arba kurių prielaidos tam tikrais atvejais savo prigimtimi yra statistinės ir, atitinkamai, ne taip lengvai paneigiamos (pavyzdžiui, **kvantinė teorija**), vis tiek gali būti labai vertingos ir turi būti laikomos mokslinėmis pagal bet kurią protingą šio termino apibrėžtį.

Stiprios, tačiau turinčios trūkumų teorijos negalima laikyti klaidinga; veikiau priešingai – kol neįrodyta kitaip – tokios teorijos laikytinos perspektyviomis tobulinimo platformomis. Niutono (nereliatyvistinė) mechanika, klasikinė (ne kvantinė) elektromagnetizmo teorija ir kitos, mažiau svarbios, teorijos buvo paneigtos, tačiau vis tiek jas gerbiame, ir dėl pagrįstų priežasčių:

- Jos toliau lieka naudingos dėl savo prognozuojamosios galios ir santykinio paprastumo.
- Jas pakeitusios teorijos dažnai grindžiamos konceptualia pirmųjų struktūra.
- Naujesnių teorijų ribose ankstesnės teorijos toliau egzistuoja kaip aproksimacijos, galiojančios tam tikrais ribiniais atvejais.

Žr. taip pat **Nuoseklumas ir prieštaringumas**, **Ekonomiškumas (idėjų)**

PAPILDOMAS, PAPILDOMUMAS

Sakome, kad du požiūriai į tą patį dalyką yra **papildomi** (*komplementarūs*), jeigu kiekvienas jų galioja ir yra logiškas pats savaime, tačiau jie negali būti taikomi tuo pačiu metu, nes vienas kitam trukdo. **Kvantinėje mechanikoje** tai įprasta situacija. Pavyzdžiui, galima pasirinkti arba išmatuoti dalelės padėtį erdvėje, arba nustatyti jos **judesio kiekį** – tačiau neįmanoma išmatuoti abi šias savybes vienu metu, nes tokie matavimai vienas kitam trukdo. Iš dalies įkvėptas panašių pavyzdžių, o iš dalies paskatintas ir gilios gyvenimo patirties, Nilsas Boras teigė, kad *papildomumo* sąvoką racionalu taikyti žymiai plačiau kaip originalų sunkių užduočių sprendimo ir akivaizdžių prieštaravimų įveikimo būdą. Šią platesnę papildomumo sąvoką, kuri man atrodo esanti ir vertinga, ir išlaisvinanti, geriausiai paaiškinti pasitelkus pavyzdžius. Keletą tokių pavyzdžių rasite baigiamajame šios knygos prieraše *Gražus atsakymas?*

PAULI DRAUDIMAS (DRAUDIMO PRINCIPAS)

Pauli draudimo principas savo pradine forma skelbia, kad du **elektronai** negali dalytis ta pačia kvantine būsena. Šis principas galioja visiems **fermionams**: jokie du identiški fermionai negali būti tos pačios kvantinės būsenos. Paprasčiau tariant, nenorėdami vienodai elgtis, elektronai ir fermionai efektyviai vienas kitą atstumia. Ši tarpusavio stūma yra gryniausias kvantinis-mechaninis reiškinys, papildantis mums įprastesnes jėgas, kaip antai elektrines jėgas.

Draudimo principas atomų sampratai be galo svarbus, nes neleidžia elektronams susikaupti aplink atomo branduolį, nors pastarajam būdinga galinga elektrinė trauka. Išoriniai elektronai, labiau nutolę nuo branduolio, imlūs kitų gretimų atomų poveikiui. Tokiu būdu draudimo principas atveria duris chemijai.

PERIODAS, PERIODINIS

Periodinis procesas – tai pasikartojantis procesas. Paprastai šis terminas apibūdina pasikartojimą, pasireiškiantį per tam tikrą laiko tarpą, nors mokslinėje literatūroje juo taip pat dažnai apibūdinamas ir pasikartojimas erdvėje. Per tam tikrą laiko tarpą pasireiškiančio proceso periodas – tai laikas, per kurį įvyksta pasikartojantis reiškinys. Žr. taip pat **Dažnis**

PERIODINĖ ELEMENTŲ LENTELĖ

Periodinė cheminių elementų lentelė – tai informatyvus geometrinis cheminių elementų sąrašas, kurio stulpeliuose pateikiami elementai su panašiomis cheminėmis savybėmis. Sulig kiekvienu stulpeliu atominiai skaičiai ir atominės masės didėja iš viršaus į apačią, o sulig kiekviena lentelės eilute atominiai skaičiai ir atominės masės didėja iš kairės į dešinę. Pačioje paprasčiausioje periodinės cheminių elementų lentelės versijoje atominis skaičius padidėja vienetu sulig kiekvienu langeliu į dešinę, taip pat pereinant iš kraštinio dešiniojo eilutės langelio į kraštinį kairįjį langelį eilute žemiau. (Egzistuoja daugybė lentelės pateikimo variantų. Pavyzdžiui, retųjų žemių elementai ir aktinoidai labai dažnai iškeliami į atskirus pogrupius.)

Kvantinė mechanika periodinės elementų lentelės struktūrą teoriškai aiškina kaip Šriodingerio lygties padarinį. Tai puikus unifikacijos pavyzdys:

Idealu → Realu.

Šiame aiškinime svarbiausią vaidmenį atlieka kvantinė **kinetinio momento** teorija ir **Pauli draudimo principas**.

PERNORMAVIMAS, PERNORMAVIMO GRUPĖ

Kvantiniai skysčiai – svarbiausios mūsų **Pagrindų teorijos** sudedamosios dalys. Jie demonstruoja spontanišką aktyvumą, arba kvantines fliuktuacijas, kurios mažais atstumais vis stiprėja. Šios nenutrūkstamos fliuktuacijos prasiskverbia į erdvę ir pakeičia elgesį, kuris būtų būdingas medžiagai, jeigu jų nebūtų. Tokių pokyčių skaičiavimas vadinamas *pernormavimu*.

Jeigu nuodugniau tyrinėdami dalelių savybes judėsime link didesnių energijų arba trumpesnių atstumų, arba, kaip esame įpratę sakyti, išnaudosime vis didesnę skyrą, laipsniškesnių ir švelnesnių kvantinių fliuktuacijų įtaką jausime vis mažiau. Priartėjame prie „plikų“ dalelių stebėjimo. *Pernormavimo grupė* – tai matematinis metodas, kuriuo nustatomi kiekybiniai ryšiai tarp dalelės savybių stebint ją skirtinga skiriamąja geba.

Asimptotinė laisvė stipriojoje sąveikoje ir kiekybiniai unifikacijos tyrinėjimai, aptarti skyriuje *Kvantinis grožis IV*, yra puikūs pernormavimo grupių pritaikymo pavyzdžiai.

PERSPEKTYVA

Žr. **Projekcinė geometrija ir perspektyva**

PITAGORO TEOREMA

Pitagoro teorema – tai nuostabus, laiką aplenkiantis geometrijos atradimas. Pitagoro teorema skelbia, kad dviejų trumpesnių stačiojo trikampio kraštinių kvadratai yra lygūs pačios ilgiausios jo kraštinės (įžambinės) kvadratui. Ši teorema, iliustruota brėžiniais, išsamiai aptariama pagrindiniame knygos tekste.

PLANKO KONSTANTA, REDUKUOTOJI PLANKO KONSTANTA

1900 m. Maksas Plankas (1858 – 1947), tyrinėdamas, kaip **elektromagnetinis skystis** pasiekia pusiausvyrą su įkaitusiomis dujomis, nusprendė, jog būsią svarbu padaryti prielaidą, kad energijos perdavimas tarp medžiagos ir elektromagnetinės spinduliuotės vyksta ne atsitiktiniais mažais kiekiais, o išimtinai **kvantiniais** vienetais. Jis jautė akstiną postuluoti, kad energijos perdavimo vienetas yra proporcingas šviesos dažniui. Proporcingumo koeficientas, iškylantis iš šio sąryšio – **Planko ir Einšteino sąryšio** – dabar žinomas kaip *Planko konstanta*.

Einšteinas vėliau teigė, kad **Planko ir Einšteino sąryšis** gali būti taikomas ir pačiam **elektromagnetiniam skysčiui**, ne tik jo energijos mainams su atomais. Boras savo atomo modelyje pasiūlė įvesti taisykles, apibrėžiančias elektrono **nuostoviąsias būsenas** vandenilio atome, kuriuose Planko konstantai teko centrinis vaidmuo. Boro taisyklių sėkmė aiškinant vandenilio spektrą nulėmė Planko konstantos įvedimą į teorinius medžiagos ir šviesos aprašus.

Šiuolaikinėje **kvantinėje teorijoje** *Planko konstanta* tapo visur esanti. Svarbus pavyzdys – jos pasirodymas dalelių **sukinio** apraše. Daugelis dalelių rūšių, įskaitant elektronus, protonus, neutrinus ir neutronus, turi „sukinį ½“. Kaip rašoma šio žodyno straipsnyje **Sukinys**, tai reiškia, kad jos demonstruoja savaiminį sukamąjį judėjimą. Planko konstanta atsiranda šio judėjimo **kiekybiniame** apraše. Tiksliau kalbant, nurodytas sukamasis judėjimas apima kinetinio momento dydį, lygų vienai antrajai *redukuotosios Planko konstantos* (tai tiesiog ta pati Planko konstanta, padalyta iš 2π).

PLATONO KŪNAS, PLATONO PAVIRŠIUS

Platono kūnas – tai **briaunainis**, kurio visos sienos yra vienas kitam lygūs taisyklingieji **daugiakampiai** ir kurio kiekvienoje viršūnėje susieina tiek pat daugiakampių. Egzistuoja tik penki skirtingi (baigtiniai) Platono kūnai: tetraedras, oktaedras, ikosaedras, kubas (heksaedras) ir dodekaedras. Visi jie išsamiai aprašyti pagrindiniame tekste.

Matematinė šių kūnų sandara ir įrodymas, kad kitokių briaunainių egzistavimas neįmanomas, tapo Euklido veikalo *Elementai* kulminaciniu momentu.

Platono kūnų daugiakampių sienų paviršiai daugeliu atžvilgių labiau fundamentalūs nei patys kūnai, kuriuos jie supa. Vadinu juos *Platono paviršiais*.

Platono kūnais daugelį šimtmečių žavėjosi matematikai, mokslininkai ir mistikai.

POSLINKIS (TRANSLIACIJA)

Visų sistemos taškų pasislinkimas erdvėje arba laike vienodu žingsniu. Žr. **Laiko poslinkio simetrija** ir **Erdvės poslinkio simetrija**

POTENCINĖ ENERGIJA

Žr. **Energija**

POZITRONAS

„Pozitronas“ – tai tik kitas **elektrono antidalelės** pavadinimas.

PRADINĖS SĄLYGOS

Pagrindiniai fizikos dėsniai, turint omenyje jų dabartinę sampratą, yra **dinamikos lygtys**. Kitaip tariant, jie apibrėžia, kaip pasaulio būsena vienu momentu susijusi su jo būsena kitu momentu. Tačiau jie mums nenurodo, ką turėtume laikyti pradiniu tašku. Vadinasi, kad išrutuliotume savo apibūdinimą, turime sudaryti *pradines sąlygas*.

PROJEKCIJA

Šis terminas tiek matematikoje, tiek fizikoje turi labai lanksčią prasmę. Jam apibūdinti naudojamasi keliomis tiksliomis techninėmis apibrėžtimis iš įvairių mokslo sričių. Visais atvejais *projekcija* – tai vienos erdvės atvaizdavimas kitoje erdvėje, kuriuo informacija apie pirmąją erdvę pateikiama nauja forma. Dažnai (tačiau ne visada) dalis informacijos per šį procesą prarandama. Šioje knygoje žodį „projekcija" vartoju neformaliai, be techninio tikslumo, keliomis tarpusavyje glaudžiai susijusiomis prasmėmis:

- Šešėlių iš Platono Olos metaforos projekcija. Čia šešėliai sukuria dvimates bespalves objektų, kuriuos jie simbolizuoja, versijas, ir daug informacijos prarandama.
- Projekcija, kurią sukuria mūsų akys, mūsų rega. Mūsų tinklainė priima dvimatę trimačio pasaulio versiją. Akies lęšiuko fokusuotė leidžia sukurti vaizdus, kuriuose (idealios regos atveju) visa šviesa, išeinanti iš tam tikro stebimo objekto taško, sufokusuojama labai mažoje tinklainės srityje, taip išsaugodama naudingą erdvinę informaciją.

  Kaip esu kalbėjęs skyriuje *Maksvelas II*, įeinantysis **elektromagnetinis signalas**, kurį vadiname šviesa, gali suteikti žymiai daugiau informacijos, nei jos gauna mūsų akys.

  Žmogaus rega atlieka begaliniamatės erdvės **spektro spalvų** stiprių **projekciją** į trimatę *suvokiamos* spalvos erdvę ir atmeta informaciją apie poliarizaciją.
- Geometrinė projekcija: taisyklingųjų daugiakampių paviršių projekcija į aplink juos apibrėžtas sferas pratęsiant linijas iš centro į paviršių; šviesos spindulių projekcija į drobę geometriškai tiksliame piešinyje (tapybos įkvėptas mokslas apie **perspektyvą**); paviršių projekcija, kaip antai pavienės vietovių sritys ar netgi visas Žemės paviršius į plokščius popieriaus lapus sudarinėjant geografinius žemėlapius.
- **Spalvinė** projekcija spalvinių **savybių erdvėje**. Pavyzdžiui, spalvotoje iliustracijoje X suprojektavome trimatę spalvinių savybių erdvę, kurios koordinatės yra stipriai *R, G, B* – raudona, žalia ir mėlyna spalvos – į dvimatę savybių erdvę, tiesiog atmesdami koordinatę *B*.

PROJEKCINĖ GEOMETRIJA IR PERSPEKTYVA

Projekcinė geometrija – tai plačios apimties matematikos sritis, glaudžiai susijusi su *perspektyvos* meniniu tyrinėjimu. Pagrindinė jos užduotis – suprasti ryšius tarp atvaizdų, kuriuos matome žiūrėdami į vieną ir tą patį objektą iš skirtingų pozicijų (kitaip tariant, skirtingais rakursais). Ką bendra turi šie atvaizdai? Kaip galima, pasinaudojus viename tokių atvaizdų esančia informacija, kurti naujus atvaizdus? Tai pavyzdžiai klausimų, kurie sprendžiami pasitelkus projekcinę geometriją. Projekcinė geometrija leidžia mums įdomiai realizuoti gilias idėjas, įskaitant **transformaciją**, **simetriją**, **invariantiškumą**, **reliatyvumą** ir **papildomumą**. Apie tai daugiau sužinosite pagrindiniame tekste.

PROTONAS

Protonai kartu su neutronais yra atomo **branduolius** sudarantys komponentai. Protonai turi priešingą **elektronams elektros krūvį** ir sveria beveik du tūkstančius kartų daugiau. Didžiąją **normaliosios medžiagos** masės dalį sudaro joje esančių protonų

ir neutronų masė. Anksčiau manyta, kad protonai – tai elementariosios dalelės, tačiau šiandien žinome, jog tai – sudėtiniai objektai, sudaryti iš elementariųjų kvarkų ir gliuonų.

REALUSIS SKAIČIUS

Vadovaujantis nuojauta, *realieji skaičiai* – tai skaičiai, leidžiantys tolydųjį kitimą. Kaip kad natūralieji skaičiai natūraliai atsiranda atliekant skaičiavimo veiksmą, *realieji skaičiai* iš tikrųjų atsiranda ilgio matavimo procese.

Ilgiai gali būti pasiskirstę labai trumpomis atkarpomis. *Akivaizdi* šio dalybos proceso riba neegzistuoja, todėl matematikai kaip darbinę hipotezę kelia prielaidą, kad jokios ribos nėra. Kaip ši hipotezė atsispindi skaičiuose? Judant į dešinę, kiekvienas paskesnis skaičius dešimtainėje trupmenoje atitinka vis mažesnę dydžio atkarpą, tad peršasi išvada, kad turėtume pripažinti dešimtainius skaičius, kurie driekiasi į begalybę.

Niutoną nepaprastai sužavėjo begaliniai dešimtainiai skaičiai – jo gyvenimo laikotarpiu tai buvo naujas atradimas. Jie tapo tiesioginiu jo darbo su begalinėmis eilutėmis ir begalinių mažų dydžių skaičiavimu įkvėpimo šaltiniu:

> *Esu labai nustebęs, kad niekam neatėjo į galvą <...> pritaikyti kintamiesiems neseniai sukurtą dešimtainių skaičių doktriną, ypač dėl to, kad ji atveria kelią žymiai nuostabesnių atradimų link. Kadangi ši doktrina lygiai taip pat susijusi su algebra, kaip dešimtainių skaičių doktrina susijusi su paprasta aritmetika, iš to seka išvada, kad jos veiksmų, kaip antai sudėties, atimties, daugybos, dalybos ir šaknies traukimo, galima lengvai išmokti iš pastarųjų.*

Kitaip tariant, Niutonas svarbiausia naujove laikė savo sprendimą vietoj konkrečių skaičių leisti sau taikyti algebros neapibrėžtąjį x tokiems pat skaidymams kaip dešimtainėms trupmenoms. Patys giliausi genijaus laimėjimai dažnai, kaip ir šiuo atveju, iškyla, regis, iš vaikiško atlapumo ir noro pašėlti.

„Dešimtainiai skaičiai, besidriekiantys į begalybę" – puikus realiųjų skaičių apibūdinimas, atitinkantis įprastą daugumos matematikų ir iš esmės visų fizikų mąstyseną apie juos. Tačiau šis apibūdinimas nėra **griežtas**. Mėginant sukurti tikslią apibrėžtį paprastai susiduriama su viena problema: norint užfiksuoti pagrindinę idėją reiškinio, kuris „tęsiasi amžinai", tenka operuoti sakiniais, kurie nesitęsia amžinai. Iš tikrųjų, griežtai apibrėžti realiuosius skaičius gana sunku. Tą pavyko padaryti tik XIX a. pabaigoje, nors žmonės pradėjo naudoti realiuosius skaičius keliais šimtmečiais anksčiau.

Šiuolaikinėje fizikoje, atomų atradimo ir kvantinės teorijos keistumo kontekste, hipotezės, kad neegzistuoja atstumo dalijimo riba, pagrįstumas toli gražu nėra akivaizdus. Tačiau realieji skaičiai toliau teikia intelektinės medžiagos, iš kurios nukaldintos mūsų Pagrindų teorijos. Kodėl? Tai atrodo labai keistai, bent jau man. Daugiau apie tai sužinosite straipsnelyje **Be galo maži dydžiai**.

REDUKCIONIZMAS

Menkinamasis terminas, kuriuo apibūdinama *Analizė ir sintezė*. Žr. **Analizė ir sintezė**.

RELIATYVUMAS

Fizikoje žodis *reliatyvumas* paprastai siejamas su viena arba abiem Einšteino teorijomis, kurios apibūdinamos šiuo žodžiu. Tai **specialioji** arba **bendroji reliatyvumo teorijos**. Apie kurią iš jų kalbama, turi paaiškėti iš konteksto.

Šioje meditacijoje pabrėžiame, kad abi

reliatyvumo teorijos iš esmės patvirtina **simetriją** mūsų aiškiai apibrėžta prasme. Taigi, jos patvirtina, kad galime atlikti fizikos dėsniuose figūruojančių dydžių transformacijas nekeisdami tų dėsnių turinio – kitaip tariant, turime pokytį be pokyčio. Pats žodis „reliatyvumas“ pabrėžia „pokyčio“ aspektą, tačiau nutyli aspektą „be pokyčio“ – t. y. **invariantiškumo**, svarbaus reliatyvumo papildo, aspektą. Deja, ši vingrybė paskatino kai kuriuos padaryti išvadą ir netgi primygtinai teigti nesąmones, kaip antai: „Einšteinas mus mokė, kad viskas reliatyvu.“ Jis to nemokė, ir taip nėra.

SAVAIMINĖ SIMETRIJOS PAŽAIDA

Tarp tikslios **simetrijos** realizacijos ir jos visiško nebuvimo egzistuoja tarpinė galimybė – *savaiminė simetrijos pažaida*, aiškiai iškylanti mūsų pasaulio apibūdinime.

Sakome, kad turime savaiminę lygčių sistemos pažaidą, jeigu:

• lygtys patenkina simetriją, tačiau stabilūs šių lygčių sprendiniai jos netenkina.

Taigi, stebimas simetrijos trūkumas pateisina pats save. Šiose lygtyse simetrija yra, tačiau pačios lygtys byloja, kad mums ji nepastebima!

Pavyzdys: bazinėse lygtyse, kurios apibūdina natūralaus magneto luitą, bet kuri kryptis erdvėje ekvivalentiška visoms kitoms kryptims. Tačiau šis luitas sudaro magnetą, ir kalbant apie pastarąjį jau negalima teigti, kad visos kryptys ekvivalentiškos. Kiekvienam magnetui būdingas poliškumas ir jis gali būti naudojamas kaip kompaso rodyklė. Paaiškinimas, kaip sukimo simetrija prarandama (arba „pažeidžiama“), ganėtinai paprastas, tačiau gilus. Magnete egzistuoja jėgos, kurios stengiasi išlyginti elektronų sukinius su jų kaimynų sukiniais.

Reaguodami į šias jėgas, visi elektronai turi pasisukti viena bendra kryptimi. Jėgas – ir jas apibūdinančias lygtis – vienodai tenkins bet koks šios krypties pasirinkimas, tačiau *pasirinkti privaloma*. Todėl šių lygčių stabilieji sprendiniai turi mažesnę simetriją nei pačios lygtys.

Mūsiškėje **silpnosios sąveikos Pagrindų teorijoje** turime sukimo simetriją tarp krypčių silpnojoje **spalvinėje erdvėje**, kuri savaime pažeidžiama dėl ją užpildančio **Higgso lauko** egzistavimo. Pagrindinė idėja labai panaši į tą, kurią ką tik aptarėme kalbėdami apie paprastą magnetą. Lygiai taip pat, kaip pagrindinės lygtys, apibūdinančios jėgas tarp elektronų, skatina kaimyninių elektronų sukinius išsirikiuoti viena kryptimi, tokiu pat būdu pagrindinės lygtys paskatina Higgso lauką išlyginti savo kryptį **silpnojo krūvio savybių erdvėje** tarp erdvėlaikio kaimyninių taškų. Turi būti pasirinkta bendra kryptis, o tokiu būdu savaime pažeidžiama sukimo simetrija (silpnojo krūvio savybių erdvėje).

Šių idėjų, suteikusių puikų silpnosios sąveikos apibūdinimą ir leidusių nuspėti Higgso dalelės egzistavimą, sėkmė skatina mus ir toliau tyrinėti galimybę, kad mūsų pasaulio lygčių pagrindą sudaranti simetrija žymiai didesnė nei simetrija, kurią matome realiajame pasaulyje apmąstydami dar platesnes jį pagrindžiančias **simetrijos grupes**.

SAVASIS DAŽNIS, REZONANSO DAŽNIS

Daugumai objektų, ypač standžių, būdingi savieji virpesiai. Jie vadinami *savosiomis virpesių modomis*. Kiekvienoje savųjų virpesių modoje objektas pereina formų kaitos ciklą, kuris kartojasi vienodais laiko intervalais. Toks intervalas vadinamas virpesių modos **periodu**, o dydis, padalytas iš to periodo – modos **dažniu**. Šių savųjų virpesių dažniai vadinami savaisiais dažniais. Kadangi kūnų virpesiai ore sukelia garso bangas, galime girdėti kūnų savuosius dažnius kaip **grynuosius tonus**, kuriuos jie skleidžia.

Pavyzdžiai:

- Kamertonai sukonstruoti taip, kad turėtų vienintelį girdimą savąjį dažnį.
- Gongai, kaip ir varpai, paprastai turi keletą savųjų dažnių. Gongui arba varpui virpant galima išgirsti įvairias tonų kombinacijas. Tai priklauso nuo to, kur ir kaip į juos buvo suduota. Taip yra dėl to, kad skirtingo pobūdžio smūgiai nustato skirtingas **pradines sąlygas**, sužadina skirtingas savąsias modas su skirtinga santykine jėga.

Kūno savieji dažniai taip pat vadinami *rezonanso dažniais*.

Šie su muzikiniais instrumentais ir garsais susiję reiškiniai turi artimų sąsajų su atomais ir šviesa. Instrumento savosios modos primena atomo **nuostoviąsias būsenas**, o muzikos instrumento garsų paletė panaši į **atomo** spektrą. Šios analogijos ne vien metaforiškos. Jos nusidriekia iki šias sistemas apibūdinančių lygčių – šios taip pat labai panašios viena į kitą. Atomų spektruose išryškėja labai tikroviška, regima Sferų muzika.

SĄVEIKOS DALELĖ

„Sąveikos dalelė“ – tai neformali frazė, kurią vartoju apibendrintai kalbėdamas apie **Pagrindų teorijos** elementariąsias daleles **bozonus**: apie **fotonus**, **vikonus**, spalvotąjį **gliuoną**, **gravitaciją** ir **Higgso dalelę**. Taip elgiuosi mėgindamas padėti skaitytojui bendrais bruožais suvokti šių dalelių vaidmenį Gamtoje.

SAVYBIŲ ERDVĖ

Tyrinėdami žmogaus spalvinį suvokimą nustatėme, kad bet kuri suvokta spalva gali būti sukurta iš esmės vienintelio būdu – derinant tarpusavyje tris pagrindines spalvas, pavyzdžiui, raudoną, žalią ir mėlyną. Skirtingi raudonos, žalios ir mėlynos spalvų **stipriai** apibūdinami trimis teigiamais **realiaisiais skaičiais**, ir kiekvienas toks stiprių derinys atitinka tam tikrą suvoktą spalvą. Galime interpretuoti šiuos trejetus kaip trimatės *savybių erdvės* – suvoktų spalvų *erdvės* – **koordinates**.

Egzistuoja daugybė panašaus pobūdžio pavyzdžių, kai naudojamės skaičiais apibūdindami savybes ir skaičių grupes vertiname kaip koordinates apibūdindami savybių erdvę. Savybių erdvės, pagrįstos **spalviniais krūviais**, atlieka svarbų vaidmenį mūsų **Pagrindų teorijoje**.

SILPNOJI SĄVEIKA

Silpnoji sąveika kartu su **gravitacija**, **elektromagnetizmu** ir **stipriąja sąveika** – tai vienas iš keturių svarbiausių mechanizmų, per kuriuos veikia Gamta.

Silpnoji sąveika sąlygoja daugelį transformacijos procesų, įskaitant kai kurias branduolinio radioaktyvumo formas, branduolinio kuro „degimą“ žvaigždžių viduje, taip pat kosmologinę ir astrofizinę visų cheminių elementų (jų branduolių), pradedant protonais ir neutronais, sintezę.

Pagrindų teorijos ribose *silpnoji sąveika* suprantama kaip dalelių *W* ir *Z* sąveikos rezultatas, vadinamųjų **vikonų** poveikis silpnam **spalviniam krūviui**. Kaip ir kitos esminės sąveikos, silpnoji sąveika – tai **lokaliosios simetrijos** apraiška.

Siekiant paaiškinti silpnosios sąveikos ypatybes, ypač nenulinę vikonų masę, buvo pasiūlytas **Higgso mechanizmas**. Tokio požiūrio plėtojimas paskatino **Higgso dalelių** atradimą. Šių idėjų sėkmė skelbia mums apie **Higgso lauko**, kuris persmelkia visą erdvę ir įvairiais būdais keičia kitų dalelių elgesį, egzistavimą.

SIMETRIJA, SIMETRIJOS TRANSFORMACIJA, SIMETRIJOS GRUPĖ

Matematikoje ir kituose tiksliuosiuose moksluose sakoma, kad objektas turi *simetri-*

ją, jeigu keičiant arba perkeliant į kitą vietą jo pavienes dalis pats objektas išlieka *invariantiškas*, kitaip tariant, nepakinta. Tokie pavidalo pakeitimai vadinami *simetrijos transformacijomis*.

Simetrijos ir simetrijos transformacijų sampratos taikomos ir lygčių sistemoms. Sakoma, kad lygčių sistema turi simetriją tam tikros transformacijos atžvilgiu, jeigu ta transformacija keičia tą lygtį sudarančius dydžius (dažniausiai sukeisdama juos vietomis arba derindama juos tarpusavyje dar sudėtingesniais būdais), nekeisdama visos lygčių sistemos prasmės.

Pavyzdys: lygtis $x = y$ turi simetriją transformacijos, sukeičiančios vietomis x ir y, atžvilgiu, nes transformuota lygtis $y = x$ turi tą pačią prasmę kaip ir pradinė lygtis. Visuma transformacijų, kurios palieka objektą invariantišką, vadinama *simetrijų grupe*.

SINTEZĖ

Sintezė – tai paprastų elementų arba sąvokų jungimo į sudėtingesnius darinius procesas. Žr. **Analizė ir sintezė**

SKAIČIUOTĖ

Anglų kalbos žodį *calculus*, kilęs iš lotynų kalbos žodžio, reiškiančio „akmenėlį“, į lietuvių kalbą dažniausiai verčiamas kaip „skaičiuotė“. Dabartinė šio termino vartosena matematikoje siekia skaičiavimo ar išlaidų ir pelno apskaitos operacijas, kurios buvo atliekamos naudojantis akmenukais (panašiai, kaip dabar daugelis žmonių tam naudojasi skaitytuvais). Šios kilmės pėdsaką galime įžvelgti bendrame anglų kalbos termine *calculation* („skaičiavimas“), kuriuo įvardijama daugybė skirtingų informacijos apdorojimo metodų ir operacijų.

Matematika pripažįsta keletą skaičiuotės rūšių (pavyzdžiui, teiginių skaičiuotė, lambda skaičiuotė, variacinė skaičiuotė). Tačiau vienas konkretus matematinių duomenų apdorojimo metodas toks svarbus ir taip paveikė mokslininkų protus, kad ištarus žodį „calculus“ iš karto, be išsamesnių paaiškinimų, pagalvojama apie matematinę analizę.

Vartojamas šia prasme, *calculus* – tai **Analizės ir sintezės** metodas, taikomas tiriant tolygiai kintančius procesus arba funkcijas. Šį metodą atspindi dvi skaičiuotės šakos – diferencialinė skaičiuotė ir integralinė skaičiuotė. Diferencialinė skaičiuotė suteikia mums idėjas ir metodus, leidžiančius analizuoti elgesį itin mažais intervalais, tuo tarpu integralinė skaičiuotė užtikrina idėjas ir metodus, leidžiančius sintetinti lokaliąją informaciją į globalųjį suvokimą.

Išskirtinis skaičiuotės pritaikymas, apie kurį plėtodamas šią temą mąstė Niutonas, yra judėjimo apibūdinimas. Galima įvesti tokias sąvokas kaip **greitis** ir **pagreitis** tam, kad apibūdintume judėjimą labai trumpais intervalais (diferencialinė skaičiuotė), arba, priešingai, galima naudotis informacija apie greitį ir pagreitį atkuriant orbitas (integralinė skaičiuotė). Klasikinėje mechanikoje **jėgas** apibūdinantys dėsniai teikia informaciją apie kūnų greitėjimą. Kaip naudotis šia informacija – klasikinei fizikai rimtas iššūkis: reikia suprasti, kaip juda kūnas, reaguodamas į žinomą pagreitį. Tai ir yra integralinės skaičiuotės problema – atkurti kažką daugiau, kai žinoma mažiau.

SKAITMENINIS DYDIS

Dydį, kuris negali kisti tolygiai, vadiname *skaitmeniniu dydžiu*. Jeigu norite apie šią sąvoką sužinoti daugiau, skaitykite straipsnį apie **analoginius dydžius**.

SKERSINĖ BANGA, ŠVIESOS POLIARIZACIJA

Mūsų meditacijoje pačios svarbiausios *skersinės bangos* – tai **elektromagnetinės bangos**, kaip ypatingą atvejį įskaitant ir šviesą.

Elektromagnetinei bangai sklindant normalios medžiagos neturinčia erdve (žr. **Vakuumas**), jos elektrinis ir magnetinis laukai – abu jie nukreipti tam tikra kryptimi, abu vektoriniai dydžiai – yra statmeni bangos sklidimo krypčiai. Kaip tik tai – ne daugiau ir ne mažiau – turime omenyje teigdami, kad elektromagnetinės bangos yra *skersinės* bangos. Taigi, kalbant apie skersinę bangą, aktyvumas, kurį sukuria banga, yra statmenas bangos sklidimo krypčiai.

Ne taip kaip elektromagnetinės bangos, garso bangos nėra skersinės. Jų aktyvumas, oro suslėgimas ir praretinimas sutampa su bangos sklidimo kryptimi. Tokio tipo bangos vadinamos *išilginėmis*.

Net pačios paprasčiausios šviesos bangų rūšys, susijusios su pagrindinėmis spektro spalvomis, be spalvos ir sklidimo krypties, turi dar vieną papildomą savybę. Ši savybė vadinama *poliarizacija*. Pati paprasčiausia galima poliarizacija – tiesinė poliarizacija. Jeigu šviesos banga sklinda tiesiai į jus, stovinčius – jos elektriniai laukai tokiu atveju nukreipti jūsų galvą su kojomis jungiančia kryptimi – sakome, kad šviesa turi tiesinę poliarizaciją vertikalia kryptimi. Egzistuoja Maksvelo lygčių sprendiniai, kurie atitinka tiesinę poliarizaciją bet kuria skersine kryptimi – kitaip tariant, bet kuria kryptimi, kuri statmena bangos sklidimo krypčiai. Egzistuoja ir daugiau, žymiai sudėtingesnių poliarizacijų, kai elektriniai laukai per tam tikrą laiką apibrėžia apskritimus arba elipses bangos sklidimo krypčiai statmenoje plokštumoje. Tokiais atvejais gauname apskritai arba elipsiškai poliarizuotą šviesą.

Žmonės nėra jautrūs šviesos poliarizacijai (išskyrus kelias nežymias išimtis), nors daugelis gyvūnų, ypač vabzdžiai ir paukščiai, ją jaučia.

SKYSTIS

Žr. **Laukas ir skystis**

SLĖGIS

Ši sąvoka iškyla mums aptariant jėgas, veikiančias tolydžiosios terpės (kaip priešpriešos dalelėms) sąlygomis. Kiekviena tolydžiosios terpės dalelė sąveikauja su gretimomis dalelėmis per jas skiriančius paviršius (šie paviršiai įvedami kaip įsivaizduojami objektai ir nebūtinai turi materialiai pažeisti vientisumą). Tokiais atvejais *slėgis* apibūdinamas kaip jėga, veikianti ploto vienetą.

SPALVINIS KRŪVIS, STIPRUS
SPALVINIS KRŪVIS, SILPNAS
SPALVINIS KRŪVIS

Mūsų **silpnosios** ir **stipriosios sąveikų Pagrindų teorijos** grindžiamos idėjomis, kurios iš pradžių buvo išplėtotos **elektrodinamikos srityje**. Itin įdomu tai, kad jose esama elektros krūvio analogų, vadinamų *spalviniais krūviais*. Krūviai visais atvejais yra tvarūs dydžiai, valdantys dalelių (pavyzdžiui, fotonų) elgesį – **fotonų elektros krūvio** atveju, spalvotų **gliuonų** *stipriųjų spalvinių krūvių* atveju, **vikonų** *silpnųjų spalvinių krūvių atveju*.

Egzistuoja trys stiprieji spalviniai krūviai – mūsų knygoje jie vadinami raudonuoju, žaliuoju ir mėlynuoju. Aštuoni spalvotieji gliuonai reaguoja į šiuos krūvius ir sukelia jų virsmus.

Egzistuoja ir du silpnieji spalviniai krūviai. Šiame tekste jie vadinami geltonuoju ir violetiniu.

Neverta nė sakyti (bet vis tiek pasakysiu), kad sąvoka „spalva“, vartojama spalvinio krūvio kontekste, visiškai skiriasi nuo sampratos „spalva“ šviesos kontekste.

SPECIALIOJI RELIATYVUMO TEORIJA

Savo *specialiojoje reliatyvumo teorijoje* Einšteinas suderino dvi idėjas, kurios iš pirmo žvilgsnio atrodo viena kitai prieštaraujančios:

- Galilėjaus pastebėjimą, kad visai sistemai judant pastoviuoju **greičiu** Gamtos dėsniai išlieka nepakitę.

- Iš **Maksvelo lygčių** išplaukiančią išvadą, kad šviesos greitis – tai Gamtos dėsnių padarinys, ir kad jis nekinta.

Tarp abiejų šių idėjų egzistuoja trintis, nes patirtis su kitais objektais leidžia daryti išvadą, kad mūsų stebimas šių objektų greitis pasikeis, jeigu mes patys judėsime pastoviu greičiu. Mes galime juos pavyti ar netgi aplenkti. Kodėl šviesos spinduliai turi elgtis kitaip?

Einšteinas išsprendė šį prieštaravimą, kritiškai analizuodamas operacijas, būtinas laikrodžių sinchronizavimui skirtinguose erdvės taškuose, ir tai, kaip šį procesą keičia visuotinis judėjimas nuolatiniu greičiu. Iš šios analizės paaiškėja, kad laikas, kurį įvykiui priskiria judantis stebėtojas, skiriasi nuo laiko, kurį įvykiui priskiria nejudantis stebėtojas, priklausomai nuo to įvykio padėties erdvėje. To paties įvykio atžvilgiu vieno stebėtojo laikas yra kito stebėtojo erdvės ir laiko samplaika, ir atvirkščiai. Šis erdvės ir laiko „reliatyvumas“– esminė naujovė, kurią Einšteino specialioji reliatyvumo teorija įvedė į fiziką. Abi šią teoriją pagrindžiančios prielaidos buvo žinomos ir pripažintos dar gerokai iki pasirodant Einšteino darbams, tačiau niekas rimtai nežiūrėjo į jų visumą ir nesiekė jų suderinimo.

Specialioji reliatyvumo teorija svarbi ne tik pati savaime, bet ir dėl to, kad pasiūlė mokslui naują metaidėją, kuria remiantis buvo kuriamos hipotezės ir tikslinami fizikos dėsniai. Kaip paaiškėjo vėliau, ji buvo itin vaisinga ir sėkminga. Ši metaidėja yra tai, ką vadiname simetrija, poetiškai apibrėžiama kaip Pokytis be pokyčio. Du specialiosios reliatyvumo teorijos postulatai labai gerai atitinka šį apibūdinimą: pirmasis postulatas skelbia, kokios rūšies permainas reikia aptarti (turimos omenyje **Galilėjaus transformacijos**), o antrasis mums praneša, kad jos *nesikeičia* (turimas omenyje šviesos greitis).

Simetrijos, arba invariantiškumo, tema – Pokytis be pokyčio – daugybę kartų su nedidelėmis variacijomis skamba mūsų meditacijoje. Iš pradžių ji skamba kiek nedrąsiai ir prislopintai, pamažu išryškėdama ir stiprėdama, kol galiausiai tampa viešpataujančia mūsų pačiame giliausiame Gamtos suvokime.

SPEKTRO SPALVA

Žr. (**Šviesos) spalva** ir **Elektromagnetinis spektras**

SPINORINIS VAIZDAVIMAS

Spinoriai – tai tam tikra aukštesnio lygio **vektorių** versija. Jie pasirodo matematiniame elektrono **sukinio** apraše, Diracko lygtyje, kaip medžiagos dalelių **savybių erdvė** unifikacijų schemoje *SO(10)* (Georgio ir Glashow modelis), trumpai apžvelgtoje skyriuje *Kvantinis grožis IV*, ir keliose kitose pažangiose fizikos kryptyse. Spinorių matematinio modelio aprašymo neįmanoma sutalpinti į šią knygą, tačiau šios knygos pabaigoje pateiktose pastabose nurodžiau keletą lengvai prieinamų šaltinių.

SRAUTAS

Vektorinius laukus, kad ir kokia būtų jų prigimtis, galima nagrinėti matematiškai kaip įprastos tekančios terpės, pavyzdžiui, oro arba vandens, srautą. Matematiškai įsivaizduojamas srautas kiekviename erdvės taške turi greitį, kuris proporcingas faktinio vektorinio lauko vertei tame taške. Šiame modelyje *srautas* per paviršių – tai tiesiog greitis, kuriuo skystis juda šiuo paviršiumi (iki bendro ženklo, ką dabar ir aptarsime). Šis srauto apibūdinimas prasmingas nepriklausomai nuo to, ar paviršius turi ribą.

Tokiu būdu, jeigu aptarsime tekančią upę ir įsivaizduosime paviršių, į kurį kaktomuša atsimuša srovė, srautas per šį paviršių bus gerai pastebimas. Kita vertus, srautas bus nežymus tokiais paviršiais, kurie bus labiau pakreipti išilgai srovės.

Dabar jums būtų pravartu perskaityti

šio žodynėlio straipsnį **Cirkuliacija** – jeigu to dar nepadarėte! Reikalas tas, kad tuoj užpildysiu vieną spragą, susijusią su viena paskutine ryšio tarp šių dviejų sąvokų subtilybe. Po to žinosite tiek, jog, operuodami vien geometrinėmis sąvokomis ir atvaizdais, galėsite iš tikrųjų suprasti, kas yra **Maksvelo lygtys**.

Dviejose Maksvelo lygtyse turime aptarti uždaro kontūro ribojamą paviršių ir palyginti kokio nors objekto cirkuliaciją šiuo kontūru su kito objekto srautu per šį paviršių. (**Faradėjaus dėsnyje** susiejame elektrinio lauko cirkuliaciją su magnetinių laukų srautu; o **Ampero ir Maksvelo dėsnyje** susiejame magnetinio lauko cirkuliaciją su elektros srovės ir elektrinio lauko srautais.)

Norėdami apskaičiuoti šiose lygtyse naudotiną cirkuliaciją, turime apsispręsti dėl krypties, kuria judėsime aplink kontūrą. Egzistuoja dvi galimybės, kurių atsakymai, susiję su šiomis cirkuliacijomis, skiriasi ženklu. Kad Maksvelo lygtys išliktų tokios pačios nepriklausomai nuo mūsų pasirinkimo, turime užtikrinti, kad keičiant uždaro kontūro kryptį (o tuo pačiu ir cirkuliacijos ženklą) srauto paviršiumi ženklas taip pat pasikeistų.

Tuo tikslu naudojamės paprasta *dešinės rankos taisykle*: jeigu jūsų dešinės rankos pirštai rodo kontūro kryptį, tada, nustatydami srautą, laikysime skysčio pernešimą teigiamu, kai jis vyks jūsų nykščio kryptimi, ir neigiamu, jeigu jis bus nukreiptas priešinga kryptimi. Jeigu laikysimės šios taisyklės, tada kontūro krypties pokytis vienu metu pakeis ir cirkuliacijos ženklą, ir srauto ženklą, todėl santykis tarp cirkuliacijos ir srauto išliks toks pat.

Kitose dviejose Maksvelo lygtyse (kurios apibūdina elektrinį ir magnetinį Gauso dėsnius) aptariamas srautas per uždarą paviršių. Šiuo atveju laikysime srautą teigiamu, jeigu jis perneša skystį iš paviršiaus vidaus į jo išorę, o priešingą srautą laikysime neigiamu.

SROVĖ

Elektros srovė – tai **elektros krūvio** judėjimo iš vienos vietos į kitą matas. Pats paprasčiausias, idealizuotas, elektros *srovės* atvejis siejamas su pavienio **elektrono** judėjimu. Šiuo atveju elektros srovė lygi elektrono elektros krūviui, padaugintam iš jo greičio elektrono momentinės padėties metu, ir nuliui kituose erdvės taškuose. Jeigu elektrono greitis išlieka pastovus, srovė savo dydžiu išlieka pastovi, tačiau jos lokacija juda kartu su elektronu.

Tuo atveju, kai yra daug elektronų ir kitų elektros krūvį turinčių dalelių, bendra elektros srovė lygi visų elektros srovių, sukeltų kiekvienos šių dalelių pavieniui, sumai (ir visais atvejais šis krūvis dauginamas iš greičio). Šios esminės „mikroskopinės“ elektros srovės vertė bet kuriame erdvės taške ir bet kuriuo momentu yra apibrėžta. Kitaip tariant, elektros srovė – tai **vektorinis laukas**.

Ten, kur nėra judančių įelektrintų dalelių, tokiu būdu nustatytas mikroskopinės elektros srovės dydis yra griežtai lygus nuliui ir padrikai kinta erdvėlaikyje. Paprastai praktiniais sumetimais būna patogu suvidurkinti erdvės sričių, kuriose daug elektronų, dydžių vidurkius. Tokiu būdu nustatome suvidurkintąją elektros srovę, kuri tolygiai kinta erdvėje ir laike. Aptariant elektros sroves elektrinėse grandinėse ar elektriniuose prietaisuose toks suvidurkinimas dažniausiai laikomas savaime suprantamu dalyku.

Panašiu būdu galime kalbėti apie sroves, susijusias su kitų rūšių krūvių, kaip antai dviejų **silpnosios sąveikos spalvinių krūvių** rūšių arba **trijų stipriosios sąveikos stiprųjų spalvinių krūvių** rūšių, perkėlimu. Taip pat turėsime (apibrėžtyje „krūvį“ pakeitę „mase“) *masės sroves*, susijusias su masės perkėlimu, *energijos sroves*, susijusias su energijos perkėlimu, ir t. t. Kasdienėje kalboje žodžiu „srovė“ dažniausiai apibūdiname vandens srautą, turėdami omenyje masės srovę.

STANDARTINIS MODELIS
Žr. **Pagrindų teorija**

STIPRIOJI SĄVEIKA

Stiprioji sąveika kartu su **gravitacija**, **elektromagnetizmu** ir **silpnąja sąveika** – tai vienas iš keturių pagrindinių mechanizmų, per kuriuos veikia Gamta.

Stiprioji sąveika – pati galingiausia Gamtos jėga. Ji užtikrina atomų branduolių stabilumą ir valdo didumą to, kas vyksta per susidūrimus, kurie tyrinėjami didžiaenergiuose **greitintuvuose**, kaip antai **Didžiajame hadronų priešpriešinių srautų greitintuve**.

Netrukus po to, kai XX a. pradžioje buvo atrasti atomų **branduoliai**, fizikai pripažino, kad tuo metu jau žinomos sąveikos – **gravitacija** ir **elektromagnetizmas** – negali reikiamai paaiškinti pačių svarbiausių branduolių savybių, pradedant jų gebėjimu išlaikyti stabilumą. Tai paskatino imtis ilgus dešimtmečius trukusių intensyvių eksperimentinių ir teorinių tyrinėjimų dalelių fizikos srityje. Brandus šio darbo rezultatas – **Pagrindų teorija**, smulkiai aprašyta mūsų pagrindinėje meditacijoje. Pagrindų teorijos rėmuose stiprioji sąveika suprantama kaip **kvantinės chromodinamikos** apraiška.

STOVINČIOJI BANGA IR BĖGANČIOJI BANGA

Bangų virpesiai apibrėžtose srityse vadinami *stovinčiosiomis bangomis*. Taigi, muzikos instrumentų stygų – arba jų rezonatorių – virpesiai yra stovinčiosios bangos. Stovinčiosios bangos dažnai vadinamos virpesiais, arba svyravimais.

Bangos, kurios laisvai sklinda erdve ir kurių neriboja jokia apibrėžta sritis, vadinamos *bėgančiosiomis bangomis*. Kasdienėje kalboje ir, žinoma, fizikoje kalbėdami apie „garso bangas“ paprastai turime omenyje bėgančiąsias bangas. Rojalio dekos virpesiai – stovinčiosios bangos – judina šalia esantį orą pirmyn ir atgal. Judantis oras išjudina aplinkinį orą, šis išjudina dar toliau esantį orą ir t. t., o tai sukelia trikdį, kuris toliau veikia pats vienas. Tai bėgančioji garso banga, kurią galime aptikti – kitaip tariant, išgirsti būdami toli nuo garso šaltinio.

Banginė funkcija, susijusi su elektronu, gali būti tiek stovinčioji, tiek bėgančioji banga.

Elektronas, surištas su protonu ir kartu su juo sudarantis neutralų vandenilio atomą, laikomas stovinčiąja banga, nors ši, kalbant iš esmės, pasklinda po visą erdvę. Iš tikrųjų, elektrono tikimybių debesies tankis, atspindintis banginės funkcijos dydį, mums tolstant nuo protono labai greitai mažėja ir už mažos apibrėžtosios srities aplink protoną ribų niekada netampa reikšminiu. Štai ką turime omenyje sakydami, kad elektronas surištas su protonu. Iš esmės, banginė funkcija įkalinta apibrėžtoje erdvės srityje, tad ją vertėtų laikyti stovinčiąja banga.

Laisvai judančio erdvėje nesurišto elektrono banginė funkcija – bėgančioji banga.

Žr. taip pat **Šriodingerio lygtis**

SUDĖTINIS MATMUO

Paprastai įprasti („daiktiniai“) **matmenys** apibūdinami skaičiais – **koordinatėmis**. Šios koordinatės – tai **realieji skaičiai**. Pavyzdžiui, taško padėtį kompiuterio ekrane apibūdina dvi realios koordinatės, žyminčios jo padėtį pagal vertikalę ir horizontalę, tuo tarpu taško padėtį įprastoje erdvėje apibūdina trys koordinatės. Daugelyje su matematika ir fizika susijusių sričių yra patogu aptarti erdves, kuriose koordinačių vaidmenį atlieka **kompleksiniai skaičiai**. Tokiu atveju sakysime, kad turime kompleksinę erdvę ir kad būtinas koordinačių skaičius lygus sudėtinių matmenų šioje erdvėje skaičiui. Kadangi kompleksinį skaičių galima apibūdinti dviem realiaisiais skaičiais – kalbant konkrečiau, jo realiomis ir įsivaizduojamomis dalimis – kompleksinę erdvę taip pat galime laikyti realia erdve (su

papildomais sandaros elementais). Vertinant ją tokiu būdu, jos realių matmenų skaičius bus lygus padvigubintam jos sudėtinių matmenų skaičiui.

SUGERTIS

Sakome, kad dalelė buvo sugerta, jeigu ji negali toliau savarankiškai egzistuoti. Kadangi pilnutinė energija išsaugoma, dalelės energija po sugerties įgyja kitą formą. Pavyzdžiui, kai šviesos dalelė (fotonas) atsimuša į jūsų tinklainę, ją gali sugerti šviesai jautrūs baltymai (rodopsinai), kurie po sugerties pakeičia formą. Savo ruožtu jų pakitusi forma sukelia elektrinius signalus, kuriuos mūsų smegenys supranta kaip vaizdinę patirtį.

SUKINYS

Kai sakoma, kad objektas turi sukinį arba sukasi, norima pasakyti, kad jis sukasi aplink tam tikrą ašį. Kvantiniame pasaulyje žodis „sukinys“ reiškia tą patį, tačiau čia ši sąvoka įgyja naują atspalvį iš esmės dėl dviejų priežasčių:

- Dauguma dalelių niekada nesiliauja suktis! Šioms dalelėms sukamasis judėjimas aplink savo centrą – vienas iš kvantiniam pasauliui tokio būdingo savaiminio aktyvumo aspektų. **Elektronai**, **protonai** ir **neutronai** – visoms šioms dalelėms būdinga ši savybė. Kiek bematuotume sukimosi **kinetinį momentą**, jo dydis bus lygus vienai antrajai, padaugintai iš redukuotosios **Planko konstantos**. Sakoma, kad šios dalelės turi sukinį ½ arba kad jos yra dalelės su ½ sukiniu.
- Dauguma dalelių, ypač elektronai, veikia kaip mažyčiai magnetai. Kaip ir Žemė, jie sukuria **magnetinius laukus**, kurių struktūra suderinta su jų sukimosi kryptimi. Magnetinis laukas, susijęs su bet kuriuo pavieniu elektronu, ganėtinai mažas, tačiau jeigu daug elektronų nukreips savo sukinio ašis viena kryptimi, jų laukai susisumuos. Klasikinių magnetų– iš esmės tai iš geležies rūdos pagaminti strypeliai – „magnetizmas“ atsiranda iš vienodos juose esančių besisukančių elektronų laukų orientacijos.

SUPERLAIDUMAS, SUPERLAIDININKAS

Daugelis metalų ir kai kurios kitos medžiagos, atšaldytos iki absoliučiajam nuliui artimos temperatūros, demonstruoja kokybiškai kitokį elgesį. Svarbiausia tai, kad jų elektrinė varža staiga nukrenta iki nulinės vertės. Todėl sakoma, kad šios medžiagos demonstruoja *superlaidumą* ir tampa *superlaidininkais*.

Superlaidumą 1911 m. atrado ir jo egzistavimą eksperimentiškai patvirtino olandų fizikas Kamerlingas-Onesas (Heike Kamerlingh Onnes). Daugelį metų šio reiškinio nepavyko pagrįsti teoriškai. Proveržis įvyko 1957 m., kai Johnas Bardeenas (Džonas Bardinas), Leonas Cooperis (Kuperis) ir Robertas Schriefferis (Šriferis) paskelbė tai, ką dabar vadiname *BCS* (santrumpa iš mokslininkų pavardžių pirmųjų raidžių) teorija. Šia teorija jie ne tik paaiškino superlaidumo kilmę, bet ir padarė tai panaudodami itin gražias ir galingas idėjas, kurias buvo galima pritaikyti – ir kurios buvo pritaikytos – kitų problemų sprendimui. Iš esmės jų teorija išpranašavo **savaiminę simetrijos pažaidą** ir **Higgso mechanizmą**.

Superlaidininkuose **fotonai** elgiasi taip, tarsi turėtų nenulinę **masę**. Lygtys, kuriomis apibūdinama ši būsena, iš esmės tokios pačios, kaip ir lygtys, kurias naudojame **Pagrin-**

dų teorijoje, kad suteiktume nenulinę masę **vikonams** Higgso mechanizme. Manau, kad bus teisinga ir poetiška teigti, jog **Higgso dalelių** atradimas pateikia mums itin naudingą pamoką: gyvename kosminio superlaidininko viduje (tiesa, jo superlaidumas skirtas silpnojo krūvio, o ne **elektros krūvio** srautui).

SUPERSIMETRIJA

Supersimetrija – tai ypatinga simetrijos rūšis. Supersimetrijos transformacijos apima poslinkį (arba *transliaciją*) **kvantiniame matmenyje**. Judėdama **kvantiniame matmenyje, sąveikos dalelė (bozonas)** virsta **medžiagos dalele (fermionu)**, ir atvirkščiai.

Jeigu sugebėsime įtikinti save, kad jėga ir medžiaga yra viena ir ta pati skirtingais rakursais stebima esybė, pasieksime naują Gamtos esminio suvokimo vienybės ir darnos lygį. Tačiau kad ir kokie įspūdingi, supersimetrijos egzistavimo įrodymai kol kas paremti tik šalutiniais faktais

SVYRAVIMO PERIODAS

Žr. **Dažnis**

ŠAKOJIMOSI KOEFICIENTAS

Kai dalelė gali skilti keliais skirtingais būdais, sakome, kad ji turi keletą skilimo kanalų, arba skilimo šakų. Reliatyvioji kokio nors konkretaus skilimo tikimybė vadinama *šakojimosi koeficientu*. Taigi, jeigu dalelė A skyla į $B + C$ 90 % atvejų, o į $D + E$ tik 10 % atvejų, sakome, kad A skilimo į $B + C$ šakojimosi koeficientas lygus 0,90, o skilimo į $D + E$ šakojimosi koeficientas lygus 0,10.

ŠEIMA

Pagrindų teorijoje **medžiagos dalelės**, t. y. **kvarkai** ir **leptonai**, turi vieną įdomią savybę – trigubą pasikartojimą. Sakome, kad jos sudaro tris *šeimas*. Kiekvienoje šeimoje yra po 16 dalelių, kurios sudaro tokius pačius darinius iš **stipriųjų**, **silpnųjų** ir **elektromagnetinių krūvių**.

Arba kitaip, skyriaus *Kvantinis grožis III* geometrine kalba, galime pasakyti, kad kiekviena iš šių trijų šeimų turi po šešias esybes, kurios kiekvienu atveju užima tas pačias **savybių erdves**.

Virsmai susiję su silpnąja sąveika, kuri paverčia geltono silpnojo krūvio vienetą violetiniu silpnojo krūvio vienetu, o (kairjį) u kvarką (kairiuoju) d kvarku, kaip ir aptarėme pagrindiniame tekste. Ten užsiminiau apie tam tikras komplikacijas, tad čia papasakosiu apie jas smulkiau. Padėtį komplikuoja tai, *kad silpnosios spalvos virsmus gali lydėti šeimų virsmai*. Todėl kartu su $u \rightarrow d$ taip pat turime $u \rightarrow s$ ir $u \rightarrow b$. Norėdami apibūdinti šių virsmų tikimybes, turime įvesti į **Pagrindų teoriją** papildomus parametrus. Pavyzdžiui, Cabibbo kampas suteikia matą to, kaip santykiauja antrojo ir pirmojo tikimybės. Tarp kvarkų egzistuoja daugybė kitokių virsmų, į kuriuos būtina atkreipti dėmesį (pavyzdžiui, $c \rightarrow d$), o jeigu prisiminsime leptonus, įsitikinsime, kad tų virsmų dar daugiau. Kad apibūdintume juos visus Pagrindų teorijos ribose, turime įvesti apie tuziną naujų parametrų. Šių „sumaišytų kampų“ dydžiai buvo išmatuoti eksperimentiškai, tačiau nėra jokios patikimos teorijos, galinčios paaiškinti, kodėl jie būtent tokie.

Tiesą sakant, nėra jokios patikimos teorijos, kuri galėtų paaiškinti, kodėl Gamta iš viso leido sau mėgautis šių trigubų šeimų pasikartojimu.

ŠRIODINGERIO LYGTIS

Šriodingerio lygtį 1925 m. sukūrė Erwinas Šriodingeris (1887 –1961). Tai **dinamikos lygtis**, kuri apibūdina, kaip **elektronų** arba kitų dalelių **banginė funkcija** kinta laike.

Šriodingerio lygtis yra apytikslė dviem svarbiais požiūriais. Visų pirma, ji pagrįsta ne

Einšteino reliatyviąja, o nereliatyviąja (Niutono) mechanika. Paulis Diracas 1928 m. elektronų banginėms funkcijoms pasiūlė kitą lygtį, kuri paklūsta **specialiosios reliatyvumo teorijos** nuostatoms (žr. **Diraco lygtis**). Antra, ji neapima **kvantinių svyravimų**, kaip antai **virtualiųjų fotonų**, įtakos elektronams. Nepaisant to, Šriodingerio lygtis ganėtinai tiksli daugeliui tų sričių, kurioms galima praktiškai taikyti kvantinę teoriją, kaip antai chemijai, medžiagotyrai ir biologijai, ir tai kaip tik ta kvantinės teorijos versija, kuria paprastai remiamasi aptariant šias disciplinas.

Nors paprastai kalbama apie „Šriodingerio lygtį“, Šriodingeris pateikė mums ne vien paprastą lygtį, o veikiau procedūrą, skirtą formuluoti lygtis, apibūdinančias skirtingas situacijas, kuriose gali būti pritaikyta kvantinė mechanika.

Viena iš pačių paprasčiausių Šriodingerio lygčių – lygtis pavieniam elektronui, kurį veikia pavienio **protono elektrinė** trauka. Tai suteikia mums vandenilio atomo apibūdinimą. Nors ji suformuluota kitoje idėjų erdvėje – pasaulyje, kuriame erdvę užpildančios banginės funkcijos pakeičia orbitomis judančias daleles – rezultatai, kurie išplaukia iš Šriodingerio lygties šiuo atveju, didžia dalimi pateisina intuityviąją Boro vandenilio spektro reikšmės koncepciją. Šio klausimo apžvalgą rasite straipsnelyje **Spektrai**.

Galime suformuluoti ir Šriodingerio lygtis, apibūdinančias kelių elektronų elgesį vienu metu. Žinoma, turime tai padaryti, jeigu norime atsižvelgti į elektronų tarpusavio sąveiką. Kaip paaiškinta straipsnelyje **Banginė funkcija**, banginės funkcijos, kurios išsamiai apibūdina fizikinę kelių elektronų būseną, užima labai aukšto **matmens** erdves. Banginė funkcija dviem elektronams „gyvena“ šešiamatėje erdvėje, banginė funkcija trims elektronams – devynmatėje erdvėje ir t. t. Lygtis šioms banginėms funkcijoms greitai tampa vis sunkiau išspęsti, netgi apytikriai ir netgi pasitelkus pačius galingiausius kompiuterius. Štai kodėl chemija išlieka klestinčia eksperimentine veiklos sritimi, nors iš principo žinome lygtis, kurios ją valdo ir kurios turėtų leisti mums apskaičiuoti cheminių eksperimentų rezultatus be būtinybės juos atlikti.

(ŠVIESOS) SPALVA, SPEKTRO SPALVA

Aptariant šviesą, svarbu atskirti fizinę šviesą nuo suvokiamos spalvos.

Spektro spalva – tai fizikinė sąvoka, nepriklausanti nuo žmogaus suvokimo. Iš esmės ją galima nustatyti ir ištirti naudojant tik tam tikras fizines priemones: lęšius, prizmes, fotoplokšteles ir kt. Galime atkurti bet kurios grynosios spektro spalvos šviesą, perleidę baltosios šviesos pluoštą per prizmę ir atsirinkę mažą pasirodžiusios „vaivorykštės“ atkarpą, kaip aprašyta pagrindiniame tekste. Dabar suprantame, kad grynosios spektro spalvos atitinka **elektromagnetines bangas**, kurios **virpa** tam tikru **dažniu**. Skirtingos grynosios spektro spalvos tiksliai sutampa su skirtingais dažniais. Remiantis Maksvelo (kruopščiai patikrinta) teorija, galima gauti veik bet kokio dažnio elektromagnetines bangas, tad galima teigti, kad grynosios spektro spalvos sudaro nepertraukiamą seką. Žmogaus akis jautri tik siauro diapazono dažnių elektromagnetinėms bangoms; tačiau gan dažnai tenka kalbėti apie „šviesą“ kiek bendresne prasme, apimančia elektromagnetines bangas radijo bangų, mikrobangų, infraraudonųjų bangų, ultravioletinių bangų, rentgeno ir gama spinduliuočių pavidalu. Visas galimų dažnių diapazonas sudaro **elektromagnetinį spektrą**.

Spektro spalvos panašios į **grynuosius tonus** muzikoje. Kad ir kas, grynieji tonai taip pat yra tam tikro dažnio virpesiai – garso bangos. Remiantis šia analogija, galima tvirtinti, kad baltoji šviesa atitinka **tonų** kakofoniją – štai iš kur atsirado terminas „baltasis triukšmas“.

Suvokiamos spalvos idėja apima fizikos ir psichologijos derinį. Patys turtingiausi mūsų spalvų potyriai, pavyzdžiui, tie potyriai, kuriuos mums suteikia vaizduojamasis menas, yra nepaprastai sudėtingi ir apima aukšto lygio smegenų procesus, kurie kol kas ne iki galo atskleisti. Vis dėlto, kai kurie esminiai faktai apie ankstyvąsias regimojo suvokimo stadijas gerai išaiškinti ir jau išryškina didžiulę prarają tarp šviesos analizės, kuri įmanoma pagal svarbiausius fizikinius principus, ir tos analizės, kurią mums leidžia atlikti mūsų spalvų suvokimas. Pats svarbiausias skirtumas: grynosios spektro spalvos sudaro kontinuumą, o išsami įeinančios šviesos analizė suteikia kiekvienos jų intensyvumą, žmogaus akys išgauna tik tris vidutinius intensyvumus iš šių reikšmių.

Šios mūsų meditacijai itin svarbios temos žymiai išsamiau gvildenamos pagrindiniame knygos tekste!

ŠVIESOS STIPRIS

Šviesos stipris – tai tiksli sąvoka, atitinkanti suvokiamą šviesos laipsnį. Ant paviršiaus krintančio šviesos pluošto *stipris* – tai energijos kiekis, kurį pluoštas perduoda į tą paviršių (per tam tikrą laiko vienetą ir į tam tikrą vienetinį plotą). Ši apibrėžtis leidžia mums apibendrinti šviesos stiprio sampratą visoms elektromagnetinio spektro dalims, kaip antai radijo bangoms, infraraudonajai, ultravioletinei ir rentgeno spinduliuotėms.

TERPĖ

Mums žodis *terpė* reiškia tam tikrą medžiagą, užpildančią erdvę.

Todėl šiuo atveju terminas *terpė* gali būti vartojamas pakaitomis su terminu **skystis**. Paraštėse pažymėsime, kad „skysčiu“ vadinama tam tikra medžiaga, kurios dalelės viena su kita gali keistis vietomis, kaip kad oro arba vandens srautuose, tuo tarpu „terpė“ nusako kažką labiau apčiuopiama, tai, kas gali svyruoti, tačiau nepraranda struktūrinio vientisumo, pavyzdžiui, stiklas arba želė. Tačiau terpės, arba skysčiai, kurie, remiantis mūsų Pagrindų teorija, sudaro svarbiausią medžiaginį pasaulio pagrindą, kaip antai **gliuonų skystis** ir **elektronų skystis**, taip skiriasi nuo oro, vandens, želė ar bet kurio kito mums įprasto skysčio arba terpės, jog, atrodo, neprotinga remtis bet kuria viena iš abiejų metaforų.

TIKIMYBIŲ DEBESIS

Klasikinėje mechanikoje dalelės bet kuriuo momentu užima tam tikrą apibrėžtą padėtį erdvėje. Kvantinėje mechanikoje dalelė apibūdinama visiškai kitaip. Ji neužima apibrėžtos pozicijos bet kuriuo momentu, užtat jai paskiriamas *tikimybių debesis*, nusidriekiantis per visą erdvę. Bėgant laikui tikimybių debesies forma gali keistis, nors tam tikrais svarbiais atvejais ji nesikeičia. Žr. **Nuostovioji būsena**

Pavadinimas rodo, kad galime įsivaizduoti tikimybių debesį kaip išplėstinį objektą, kuris bet kuriame taške turi tam tikrą ne neigiamą, kitaip tariant, teigiamą arba nulinį, tankį. Tikimybių debesies tankis taške rodo, kokia santykinė tikimybė, kad tame taške yra dalelė. Taigi, egzistuoja didelė tikimybė aptikti dalelę ten, kur jos tikimybių debesies tankis didelis, o mažiausia tikimybė ją rasti ten, kur šio debesies tankis mažas.

Kvantinė mechanika nesuteikia lygčių, tiesiogiai apibūdinančių tikimybių debesis. Tikimybių debesys apskaičiuojami keliant kvadratu bangines funkcijas, kurios tenkina Šriodingerio lygtį. Žr. **Banginė funkcija**, **Šriodingerio lygtis**

TOLYDŽIOJI GRUPĖ

Žr. **Grupė**

TOLYDŽIOJI SIMETRIJA

Jeigu tam tikra sistema leidžia egzistuoti tęstiniam virsmų diapazonui, kuris palieka ją nepakitusią, arba **invariantišką** – kitaip tariant, jeigu mūsų struktūra leidžia tolygų *simetrijos transformacijų* diapazoną, sakome, kad turime tos sistemos *tolydžiąją simetriją*, arba kad ta sistema leidžia egzistuoti simetrijos transformacijų *tolydžiajai grupei*.

Pavyzdys: apskritimą galima pasukti bet kokiu kampu aplink jo centrą, tačiau jis vis tiek tebėra tas pats apskritimas. Taigi, apskritimas veikiant tolygiam sukimosi diapazonui išlieka invariantiškas. O štai lygiakraštis trikampis išlieka invariantiškas tik pasuktas aplink savo centrą sveiko skaičiaus kartotiniu 120° kampu. Taigi, lygiakraščiui trikampiui būdinga ne tolydžioji, o diskrečioji simetrija.

Žr. taip pat **Analoginis** ir **Skaitmeninis**

TONAS, GRYNASIS TONAS

Šioje knygoje vartojamas žodžių junginys „grynasis tonas“ reiškia paprastą banginį trikdį, kuris tiek erdvėje, tiek laike yra periodiškas. (Čia žodis „paprastas“ turi apibrėžtą techninę reikšmę: bangos pavidalas – sinusoidė, tačiau čia išsamiai apie tai nekalbėsiu. Knygos pabaigoje esančiose pastabose rasite dviejų lengvai prieinamų šaltinių nuorodas.)

Mums patys svarbiausi grynųjų tonų pavyzdžiai susiję su garso bangomis ir **elektromagnetinėmis bangomis** (ypač įskaitant ir šviesą). Sklindant garso bangai, kinta oro slėgis ir tankis; sklindant elektromagnetinei bangai – elektrinis ir magnetinis laukai.

Iš mokslinių Gamtos tyrinėjimų kylančios gilios ir teikiančios pasitenkinimą įžvalgos esmę sudaro tai, kad *grynieji tonai*, apibūdinti anksčiau aptartu matematiniu arba fizikiniu būdu, atitinka paprastus pojūčius. Grynuosius garso tonus lengva atkurti elektroniniu būdu, jie jums gali būti pažįstami iš klausos patikrinimo testų arba iš primityvių elektroninės muzikos įtaisų (tokius įtaisus kartais galima rasti atverčiamuose sveikinimo atvirukuose) arba kamertonų. Grynieji vizualieji tonai – tai grynosios spektro spalvos, kurias galima pamatyti vaivorykštėje arba per prizmę išsklaidytame Saulės šviesos pluošte, pavyzdžiui, Niutono eksperimentuose. Šie vienas kitą papildantys požiūriai į grynuosius tonus – sensoriniai ir konceptualūs – gražiai iliustruoja mūsų taip trokštamą atitikimą

Realu ↔ Idealu.

Tradicinių muzikos instrumentų išduodami *tonai*, kai išgrojama pavienė „nata“, tolimi nuo grynųjų. Kiekvieno instrumento garsas skiriasi tam tikromis savybėmis, tačiau bet kuriuo atveju nata apima daug grynųjų tonų, skambančių vienu metu skirtingu stiprumu. Pats stipriausias iš šių tonų yra tas grynasis tonas, kuris suteikia išduotai natai vardą, tačiau muzikinio garso kokybę, tembrą, leidžiantį atskirti vieną muzikos instrumentą nuo kito, didžiąja dalimi nulemia papildomi tonai, vadinamieji *virštoniai*.

Ši tema išsamiai nagrinėjama pagrindiniame knygos tekste. Su ja taip pat susijęs šio žodynėlio straipsnelis **Spektrai**.

TRANSFORMACIJŲ GRUPĖ, TOLYDŽIOJI GRUPĖ, LIE GRUPĖ

Dažnai pravartu apžvelgti transformacijas, kurioms įvykus tam tikra struktūra iš esmės lieka nepakitusi, arba **invariantiška**, o jos dalys yra perkeltos – kitaip tariant, apžvelgti tos struktūros **simetrijos transformacijas** arba tiesiog jos **simetrijas** – ne tik pavieniui, bet ir kaip sankaupą. Tokios simetrijos transformacijų sankaupos vadinamos transformacijų *grupėmis*.

Transformacijų grupės būna labai įvairios. Pavyzdžiui, kai kurios jų sąlygoja tolygų kitimą, o kitos yra diskrečios. (Žr. **Tolydžioji simetrija**) Tačiau visas grupes sieja keletas svarbių savybių:

- Galime derinti dvi simetrijos transformacijas vieną po kitos. Ta-

čiau po tokios jungtinės operacijos mūsų struktūra taip pat išliks invariantiška, taigi, ji taip pat nusakys naują simetrijos operaciją.

- Kiekvienas simetrijos virsmas turi savo priešybę, arba (kaip ją įprasta vadinti) *atvirkštinę* transformaciją. Jeigu pradinė transformacija pakeičia x į x', tuomet atvirkštinė transformacija paverčia x' į x.
- Jeigu remdamiesi mūsų pirmąja taisykle suderinsime bet kurią transformaciją su jos atvirkštine transformacija (bet kuria tvarka), gausime nereikšmingą tapatybės transformaciją, kuri „pakeis" bet kurį x į jį patį.

Norvegų matematikas Sofusas Li nuo XIX a. pabaigos nuodugniai ištyrinėjo grupes transformacijų, kurios leidžia tolydžiuosius kitimus ir kurias galima ištirti taikant **skaičiavimo** metodus. Jo garbei šios tolydžiosios simetrijos grupės buvo pavadintos Li grupėmis. Apskritimų ir sferų simetrijos grupės ir jų daugiamačiai apibendrinimai, susidedantys iš visų transformacijų, kurias galime gauti derindami sukimąsi aplink visas įmanomas ašis visais įmanomais kampais, vadinami Li grupėmis.

Šios sukimosi grupės, kaip ir kitos Li grupės, turi platų pritaikomumą šiuolaikinėje kvantinėje fizikoje. Visų pirma, **savybių erdvių** simetrijos grupės, pagrįstos skirtingais **krūviais** ir esančios **Pagrindų teorijos stipriosios, silpnosios** ir **elektromagentinės sąveikų** kertiniais akmenimis, yra Li grupės – taip pat kaip ir dar didesnės *simetrijos grupės*, kurias apmąstome mėgindami šias teorijas sujungti. Žr. taip pat **Lokalioji simetrija**

TVERMĖS DĖSNIS, TVARUS DYDIS

Sakome, kad dydis yra *tvarus*, jeigu jo vertė nesikeičia bėgant laikui. *Tvermės dėsnis* – tai tvirtinimas, kad tam tikras dydis išlieka nepakitęs. Daugelį mūsų svarbių įžvalgų apie pasaulį galima išreikšti kaip tvermės dėsnius. Emi Nėter įrodė svarbią teoremą, išsamiai aprašytą šioje knygoje, pagal kurią egzistuoja glaudus ryšys tarp tvermės dėsnių ir teiginių apie **simetrijos** arba invariantiškumo egzistavimą.

Pavyzdžiai: **energijos** tvermė, **judesio kiekio** tvermė, **kinetinio momento** tvermė ir **elektros krūvio** tvermė – tai tvermės dėsniai. Energija, judesio kiekis, kinetinis momentas ir elektros krūvis – tai tvarūs dydžiai.

Frazė „energijos tvermė" nusipelnė ypatingo dėmesio, nes jos vartojimas moksle skiriasi nuo bendro vartojimo. Dažnai girdime raginimus tausoti energiją, pavyzdžiui, naktį išjungiant elektros šviesą, sumažinant šildytuvų temperatūrą arba vaikščiojant pėsčiomis užuot važinėjus automobiliu. Bet ar tikrai pasauliui reikia mūsų pagalbos, kad veiktų jo svarbiausi dėsniai? Esmė ta, kad kai mus ragina taupyti energiją, iš tikrųjų mus ragina išlaikyti energiją tokiomis formomis, kurios gali būti vėliau pritaikytos naudingam darbui, ir neleisti jai pereiti į nenaudingas (šiluma) arba kenksmingas (nuodingas medžiagas išlaisvinančios cheminės reakcijos) formas. *Laisvosios energijos* idėja termodinamikoje atspindi kai kuriuos iš šių skirtumų. Laisvoji energija, kuri yra bendrai naudinga energijos rūšis, neišsaugoma. Ji turi tendenciją bėgant laikui mažėti, arba, kaip dažnai sakome, išsisklaidyti.

UNIFIKACIJA

Tarpusavyje susijusių idėjų *unifikacija* – tai minties ekonomijos aspektas. Kitas, papildomas, unifikacijos aspektas – akivaizdžių priešybių sutaikymas. Sutaikydami priešybes, vertiname jas kaip vienas kitą papildančius jose slypinčios vienybės aspektus.

Mūsų Klausimas meta mums iššūkį suderinti grožį su fiziniu įsikūnijimu, arba sujungti Idealų su Realiu.

Unifikacija, tiek turint omenyje jos tarpusavyje susijusių idėjų suderinimo aspektą, tiek tariamų prieštaravimų sutaikymo aspektą, tapo svarbiausiu daugelio pamatinių fizikos laimėjimų ypatumu:

- Sisteminis koordinačių naudojimas, kurį 1637 m. pirmą kartą aprašė Renė Dekartas (1596 – 1650) savo veikale *La Géométrie*, sujungęs algebrą su geometrija.
- Niutono visuotinės traukos ir judėjimo dėsniai sujungė dangiškąją astronomiją su žemiškąja fizika. Galilėjaus stebėjimai per teleskopą, per kuriuos jis atrado (kartu su įvairiausiais kitais dalykais) kalnuotą Mėnulio reljefą ir Jupiterio palydovų sistemą, papildė šią unifikaciją svariais vaizdiniais argumentais.
- **Maksvelo lygtys**, kuriomis apibūdinamas **elektromagnetizmas**, suvienijo elektros ir magnetizmo apibūdinimus. Tos pačios lygtys suteikė mums elektromagnetizmu paremtą šviesos apibūdinimą, įtraukdamos į jį ir visus optinius reiškinius.
- Einšteino **specialioji reliatyvumo teorija** įvedė **simetrijos transformacijas**, kurios sujungė erdvę su laiku ir leido mums pažvelgti į šias medžiagos egzistavimo formas kaip į du vieningo erdvėlaikio aspektus.
- Faradėjaus ir Maksvelo **elektromagnetinis skystis** ir Einšteino **metrinis skystis**, panaikindami **tuštumą**, suvienijo erdvėlaikį su medžiaga.
- **Kvantinių skysčių kvantų**, kurių tipiški atstovai yra elektromagnetinės spinduliuotės (šviesos) fotonai, samprata leido sujungti fizikinio elgesio korpuskulinį ir banginį aspektus.

  Šiuolaikinės fizikos pažinimo paribyje galima pastebėti daug viltis žadinančių ženklų, kad netrukus gali įvykti dar daugiau unifikacijų.
- Visi mūsų **Pagrindų teorijos** skyriai pagrįsti **lokaliąja simetrija**, tačiau transformacijos, kurias numato mūsų **stipriosios**, **silpnosios** ir **elektromagnetinės sąveikų** teorijos, vyksta savarankiškai **savybių erdvėse**, tuo tarpu mūsų **gravitacinės** sąveikos teorijos transformacijos vyksta erdvėlaikyje. Todėl ieškome dar platesnės lokaliosios simetrijos, kuri visas šias teorijas paverstų vieninga visuma.

Pasitelkę supersimetriją, galėtume suvienyti **medžiagą** su **sąveika**.

Kaip tik šios idėjos ir gvildenamos skyriuje *Kvantinis grožis IV*.

VAKUUMAS, TUŠTUMA

Žodį „vakuumas" dažniausiai suprantame kaip „erdvės dalį, kurioje nėra jokios medžiagos". Tokiu būdu, dažniausiai kalbama apie „vakuumo sukūrimą" ištraukiant orą iš talpyklos, arba apie „vakuuminius vamzdžius", arba apie „tarpžvaigždinės erdvės vakuumą". Tokia šio žodžio vartosena stokoja apibrėžtumo dėl šių priežasčių:

- Tą, ką atrasite, priklauso nuo to, kiek būsite pasirengę ieškoti. Pavyzdžiui, tarpžvaigždinės erdvės vakuumą persmelkia foninė mikrobanginė spinduliuotė, tokia spinduliuotė, kurią mūsų akys suvoktų kaip žvaigždžių šviesą, kosminius spindulius, įvairius neutrinų srautus, juodąją energija ir juodąją medžiagą. Žemėje vakuuminės technikos inžinieriai

gali, pasistengę, pašalinti pirmąjį dvejetą šių dalykų ir netgi didelę dalį trečiojo dalyko iš erdvinės srities, tačiau jokiu būdu ne paskutinįjį trejetą. Laimė, priežastis, kodėl tai padaryti taip sunku, yra ir priežastis to, kodėl tai neturi jokios reikšmės praktiniu požiūriu: neutrinų srautai, juodoji energija, juodoji medžiaga – ir, galimas daiktas, kiti dalykai, apie kuriuos kol kas nieko nežinome! – labai silpnai sąveikauja su **normalia medžiaga**.

- Tai, ką manote ten esant, priklauso nuo to, kaip atkakliai esate pasirengę mąstyti. Pagal mūsų Pagrindų teoriją, netgi idealiai „tuščią“ erdvę persmelkia daugybė **kvantinių skysčių – elektromagnetinis skystis, metrinis skystis, elektroninis skystis, Higgso skystis** ir kt. – taip pat **metrinis laukas** ir **Higgso laukas**.

  Tai, ką žmonės turi omenyje sakydami „vakuumas“, dažniausiai paaiškėja iš konteksto, tačiau mąstant apie esminius principus reikėtų aiškiai suvokti, kad žodis „vakuumas“ neapibūdina jokios aiškiai apibrėžtos sąvokos. Tuo tarpu filosofinė sąvoka „tuštuma“ – visiškai tuščia erdvė – labai skiriasi nuo bet kurios protingos fizinės erdvės, kad ir kur ši bebūtų šiuolaikiniame fizikiniame pasaulėvaizdyje, sampratos.

Šiuolaikinėje fizikinėje kosmologijoje būtina atsižvelgti į tai, kad erdvę užpildantys laukai, kaip antai **Higgso laukas**:

- sukuria stiprų fizikinį poveikį tiek keisdami medžiagos elgesį, tiek papildydami *juodąją energiją*;
- užpildo bet kurį fizikiniu požiūriu apibūdintą vakuumą (nes jie visur prasismelkiantys ir neišvengiami);
- gali – eksperimentinėmis sąlygomis – keisti savo intensyvumą.

Derindami šiuos pastebėjimus, mes imame suvokti, kad gali egzistuoti labai skirtingi fizikiniai vakuumai, kuriuos persmelkia skirtingų dydžių laukai. Medžiagos elgesys šiuose skirtinguose vakuumuose gali labai skirtis, kaip ir **juodosios medžiagos** ir **juodosios energijos** tankiai.

Apibendrinant pravartu ir malonu pasakyti, kad pati erdvė – tai tokia medžiaga, kuri gali egzistuoti keliomis skirtingomis būsenomis, kaip kad vanduo gali turėti skystąją, kietąją ir dujinę būsenas. (žr. **Visata, Regimoji visata, Multivisata**)

VEIKIMAS PER ATSTUMĄ

Veikimas per atstumą – tai Niutono **gravitacijos** teorijos ypatybė: tuščioje erdvėje kūnai akimirksniu veikia vienas kitą gravitacine jėga net ir tada, kai jie nutolę vienas nuo kito dideliu atstumu. Pačiam Niutonui nepatiko ši jo teorijos ypatybė, tačiau ją patvirtino jo matematinių skaičiavimų rezultatai. Niutono teorijos, pagrįstos veikimu per atstumą, sėkmė buvo tokia tvari, jog šią idėją tyliu sutikimu priėmė dauguma pirmųjų elektros ir magnetizmo tyrinėtojų.

Maiklas Faradėjus sukūrė alternatyvią viziją, pagal kurią elektrinė ir magnetinė jėgos yra perduodamos kaip slėgis per erdvę užpildančius skysčius. Džeimsas Maksvelas išplėtojo Faradėjaus prielaidas matematiškai ir jomis pagrindė elektromagnetizmo principus, pagrįstus skysčių (arba lauko) sąvoka, kuriais vadovaujamės iki šiol.

Astrologija iškelia postulatą, kad egzistuoja galingas veikimas per atstumą, tačiau, švelniai tariant, neturime jokių patikimų šio teiginio įrodymų.

VEKTORIUS, VEKTORINIS LAUKAS

Vektorius galima apibūdinti tiek geometriškai, tiek algebriškai.

Geometriniu požiūriu vektorius – tai matematinis dydis, apibūdinamas dydžio verte ir kryptimi erdvėje. Pavyzdžiui:

- Jeigu turime du taškus, tarkime, A ir B, tada tiesinis poslinkis, kuris perkelia A į B, yra vektorius. Jo dydis – tai atstumas tarp A ir B, o jo kryptis – tai kryptis nuo A į B.
- Dalelės **greitis** yra vektorius.
- **Elektrinis laukas** bet kuriame taške yra vektorius.

Vertinant algebriškai, vektorius – tai tiesiog skaičių seka.

Šiuos du apibūdinimus galima susieti vieną su kitu įvedant **koordinačių** sąvoką. Anksčiau pateiktuose pavyzdžiuose vektoriai – tai vektoriai įprastoje trimatėje erdvėje, atitinkantys realiųjų skaičių triadas. Keletas įdomių ir svarbių variacijų minimos straipsnelyje **Koordinatės**.

Kai turime vektorinį dydį, priskiriamą kiekvienam taškui erdvėje, sakome, kad turime vektorinį lauką. Pavyzdžiai:

- Vandens telkinyje jo skirtingos dalelės judės skirtingais greičiais. Šie greičiai nulemia vektorinį lauką.
- Elektrinis ir magnetinis laukai – tai vektoriniai laukai.
- Kiekviename kompiuterio ekrano taške raudonos, žalios ir mėlynos spalvų švytėjimo intensyvumas yra trijų skaičių sekos, taigi, jos apibūdina vektorių. Tokiu būdu jūsų kompiuterio ekrane susidaro vektorinis spalvų laukas.

VIKONAS

Vikonai gražūs iš dalies ir dėl to, kad juos galima apibūdinti keliais papildomais būdais:

- Vikonai – tai W ir Z dalelės, stebimos elementariųjų dalelių greitintuvų detektoriuose.
- Vikonai – tai silpnosios sąveikos **skysčio kvantai**, kurių reakcija į silpnų krūvių judėjimą sukelia **silpnąją sąveiką**.
- Vikonai – tai ypatingos **lokaliosios simetrijos** įsikūnijimas. Tai sukimosi simetrija silpnų krūvių **savybių erdvėje**. Štai pati gražiausia jų apibrėžtis, atskleidžianti vikonų giminystę su spalvotaisiais **gliuonais, fotonais** ir **gravitonais**. Visi jie – **lokaliosios simetrijos** įsikūnijimas. Tai primena mums apie mūsų Klausimą ir atsakymą į jį Pagrindų teorijoje. Atrandame ryšį „Realu ↔ Idealu“, objektams ir tikrovės įvykiams patvirtinant sąvokas, kurias įvedame siekdami įgyvendinti anamorfinį lokaliosios simetrijos meną.

VIRTUALIOJI DALELĖ

Žr. **Kvantinė fliuktuacija, virtualioji dalelė, vakuumo poliarizacija, nuliniai virpesiai**

VISATA, REGIMOJI VISATA IR MULTIVISATA

Šiuolaikinė fizika atvėrė kosmologijai neregėtas galimybes, kurių veik neįmanoma išreikšti mums įprasta kalba. Kad jas tinkamai apibūdintume, turime gerokai atnaujinti ir praturtinti kasdienį žodyną. Pavyzdžiui, jau netinka žodį „visata“ vartoti reikšme „viskas aplink“. Nors net ir mokslinė literatūra nėra visiškai nuosekli šiais klausimais, manau, kad įmanoma ir kartu naudinga išskirti tris sąvokas, kurios atspindi šiuolaikinę termino vartoseną. Viliuosi, kad jos prigis kasdienėje kalboje.

Regimąją visatą sudaro viskas, ką galima

stebėti. Esminiai apribojimai kyla iš baigtinio šviesos greičio, kuris (kaip manome) yra ribinis informacijos perdavimo greitis, ir iš baigtinio laiko, kuris prabėgo nuo Didžiojo sprogimo momento, iki kurio visi įvykiai (kaip manome) yra mums nepažinūs. Ribojami baigtinio greičio ir baigtinio laiko suvokiame, kad iki vadinamojo horizonto turime prieigą tik per tam tikrą baigtinį atstumą. Būtina įsidėmėti du momentus:

- Horizontas auga ilgėjant laiko intervalui nuo Didžiojo sprogimo. Tokiu būdu regimoji visata anksčiau buvo mažesnė, tad galime tikėtis, kad ateityje ji dar labiau išaugs.
- Jeigu atrasime, kad šviesos greitis nėra esminis informacijos perdavimo apribojimas, arba jeigu išmoksime matyti tai, kas vyko iki Didžiojo sprogimo, turėsime iš naujo apmąstyti, ką turime galvoje vartodami terminą *regimoji visata*.

Regimoji visata, kurią stebime šiandien, iš pažiūros visur vienoda. Kad ir kaip toli, kad ir kokia kryptimi žvelgtų, astronomai atranda tokio paties tipo žvaigždes, organizuotas į labai panašaus tipo galaktikas, kurios paklūsta vieno ir to paties tipo fizikiniams dėsniams. Jeigu manysime, kad toks modelis horizontui plečiantis vystysis ir toliau, prieisime prie to, kas paprastai vadinama „visata“. Šia prasme visata yra konservatyvi logiška mūsų regimos visatos stebėjimo ankstesnės patirties tąsa, nusidriekusi į neapibrėžtą ateitį.

Tačiau šiuolaikinė fizika privertė mus patikėti, kad fizinis pasaulis gali egzistuoti **kokybiškai** skirtingomis formomis, arba etapais, maždaug taip, kaip vanduo gali egzistuoti ledo, skysčio arba garo pavidalais. Šiuose skirtinguose etapuose erdvė persmelkta skirtingų **laukų** (arba tų pačių, tačiau skirtingo intensyvumo laukų) (Žr. **Vakuumas**). Kadangi tie laukai žymia dalimi nulemia per juos judančios medžiagos savybes, šie skirtingi etapai iš esmės realizuoja skirtingus fizikos dėsnius. Jeigu tokios skirtingos erdvės sritys egzistuoja, tada „visata“, kaip ją apibūdinome, nėra realybės visuma. Realybės visumą vadiname *daugybine visata*, arba *multivisata*.

Idėja, kad egzistuoja multivisata, taip kad mūsų stebimi fizikos dėsniai iš dalies yra tik atsitiktinė tos vietos, kurioje nelauktai atsidūrėme, savybė, užima svarbią vietą **antropiniuose argumentuose**.

W DALELĖ

Tai masyvi dalelė, atliekanti pagrindinį vaidmenį silpnojoje sąveikoje. Žr. **Silpnoji sąveika** ir **Vikonas**

Z DALELĖ

Masyvi dalelė, atliekanti vieną iš svarbiausių vaidmenų silpnojoje sąveikoje. Žr. **Vikonas**

ŽAVUSIS KVARKAS

Žavusis kvarkas, žymimas simboliu *c* – tai **medžiagos dalelių** antrosios **šeimos** narys. Žavieji kvarkai labai nestabilūs, o jų vaidmuo šiandienos pasaulyje labai menkas. Žavieji kvarkai buvo atrasti 1974 m., jų eksperimentiniai tyrimai itin daug prisidėjo prie **Pagrindų teorijos** sukūrimo.

PASTABOS

PITAGORAS II: SKAIČIAI IR HARMONIJA

Kodėl garsai, kurių dažniai sąveikauja kaip maži sveikieji skaičiai, kartu skamba darniai?

Netgi esminiai muzikos suvokimo faktai iškelia užburiančius klausimus. Du paprasti pastebėjimai man atrodo ypač glaudžiai susiję su Pitagoro mums perduoda mįsle: „*Kodėl* būtent tas garsų poras, kurių dažniai yra mažų sveikų skaičių santykiai, paprastai suvokiame kaip harmoningas?“

Abstrakcija

Kalbėdami, pavyzdžiui, apie viduriniuoju C pagrįstą oktavą, turime omenyje, kad tiek vidurinysis C, tiek iš karto virš jo esantis padvigubinto dažnio C skamba kartu. Norėdami supaprastinti susiliejimo reiškinį iki jo esmės, tarkime, kad elektroninėmis priemonėmis atkuriame griežtai grynuosius tonus ir kad abiejų tonų intensyvumas (garsumas) vienodas. Šios charakteristikos vis dar nesuteikia mums unikalaus recepto, kokia turi būti galutinė bangos, kurią sukuria mūsų kompiuteris ir kuri pasiekia mūsų ausis, forma. Dvi sinusoidės neturi būti sinchronizuotos: vienos sinusoidės viršūnė gali sutapti arba nesutapti su kitos sinusoidės viršūne. Sakome, kad tarp abiejų tonų egzistuoja santykinė fazė. Priklausomai nuo tos santykinės fazės reikšmės, gautos bangos formos, sudarančios laiko funkciją, gali atrodyti labai skirtingai. Tačiau jos neskamba skirtingai! Aš pats atlikau šį ir dar daugelį kitų su juo susijusių eksperimentų. Baziliarinės membranos reakcija erdviškai atskiria šiuos tonus vieną nuo kito, tačiau išlaiko informaciją apie jų santykinę fazę. (Bent jau taip supratau skaitydamas ganėtinai sunkiai suvokiamus literatūros šaltinius. Eksperimentai su vidiniais klausos organais pakankamai sudėtingi, dažniausiai atliekami tik laboratorijose.) Šiaip ar taip, mes vienaip ar kitaip sugebame sujungti visas šias galimybes žemajame apdorojimo lygyje ir atpažįstame rezultatą kaip C oktavą – ir taškas. Kad išgautume naudingą abstrak-

ciją, suvedame nepertraukiamam fizikinių savybių diapazonui atstovaujančius signalus į vieną suvokimą.

Tas pats principas galioja ir kitais tonais pagrįstoms oktavoms, ir kitoms dviejų natų kombinacijoms, kol jų dažniai pernelyg nesuartėja. (Kraštutiniu atveju galime sudėti du to paties dažnio ir intensyvumo, tačiau skirtingų santykinių fazių tonus ir vietoj oktavos paimti unisoną. Dabar, keisdami santykinę fazę, visada gausime jungtinį toną, kurio dažnis unisoninis, tačiau fazė ir *intensyvumas* kintami. Pastarojo pokyčiai lengvai suvokiami.)

Tyčinio sujungimo procesas, arba *abstrakcija*, turi prasmę kaip informacijos apdorojimo strategija. Natūraliajame pasaulyje ir paprastų muzikinių instrumentų (kaip ir balsų) pasaulyje įprasti šaltiniai tam tikrais atvejais dažnai sukuria skirtingų, iš esmės atsitiktinių santykinių fazių oktavas. Jeigu šios skirtingos bangų formos būtų suvokiamos nevienodai, būtume perkrauti iš esmės beverte informacija, tad, galimas daiktas, mums būtų labai sunku ištirti, atpažinti ir įvertinti bendrą naudingą „oktavos“ sąvoką. Reikia manyti, kad evoliucija apsidžiaugė galėdama palengvinti šią naštą.

Taip pat ir idealios klausos neturintys žmonės – o tokių didžiuma – sulieja daugybę fiziškai skirtingų „oktavų“, pagrįstų skirtingomis natomis (tačiau diskusiją apie *įsiminimą* žr. toliau). Tokiu būdu jie nuslopina informaciją ir apie fazę, ir apie absoliutųjį dažnį, tačiau išlaiko informaciją apie santykinį dažnį.

Atsižvelgus į tai, kad siekiant sukurti naudingą abstrakciją numalšinti nereikšmingą informaciją gali būti naudinga, kyla klausimas, kaip tą padaryti. Tai įdomi apgrąžos inžinerijos problema. Galiu sugalvoti trejetą paprastų, daugmaž biologiškai įmanomų būdų, kuriais to galima pasiekti:

- Nervų ląstelės (arba nedideli nervų ląstelių tinklai), kurios reaguoja į virpesius skirtingose baziliarinės membranos dalyse, gali būti mechaniškai, elektriškai arba chemiškai susietos viena su kita tokiu būdu, kad jų reakcijos būtų sinchronizuotos pagal fazę. Šis reiškinys fizikoje ir inžinerijoje žinomas kaip fazinė *sinchronizacija*. Lengvo šios koncepcijos realizacijos varianto esmė ta, kad gali egzistuoti nervų ląstelių klasė, kuri į virpesių signalus iš dviejų tokių nervų ląstelių (ar tiesiogiai iš virpančių epiteliocitų vidinėje ausyje) reaguoja nuo jų santykinės fazės nepriklausomu būdu.
- Gali egzistuoti nervinių ląstelių bankai (grupės), kurie reaguoja į virpesius bet kuriame baziliarinės membranos taške su skirtingais fazių postūmiais. Kai suderinamos dvi išeinamųjų signalų, atitinkančių dvi skirtingas lokacijas, grupės, tarp jų būtinai atsiras tokių, kurie bus sinchronizuoti. Tolesnis nervų ląstelių lygis, gaunantis signalą iš šių bankų, gali stipriau reaguoti į šias sinchronizuotas poras.
- Gali būti kiekvieno dažnio *standartiniai atstovai* – nervų ląstelės, kurių išėjimas fiksuotas bendrojo sinchronizavimo mechanizmo atžvilgiu. Tada santykinė fazė tarp standartinių atstovų visada bus vienoda, kad ir kokia būtų įeinančio signalo santykinė fazė.

Į šį sąrašą neįtraukiau paprastos, tačiau radikalios galimybės tiesiog užkoduoti vietas, kur baziliarinė membrana stipriai vibruoja, visiškai nesuvokdama aukščiausių ir žemiausių laiko struktūros taškų. (Panašiai nutinka elektromagnetiniams virpesiams regimojo suvokimo procese.) Žinoma, dėl tokio kodavimo fazių informacija prarandama, tačiau manau,

jog taip nueitume per toli. Nesugebėtume paaiškinti Pitagoro atradimų, nes dažnių santykiai daugiau neatitiktų užkoduoto signalo dėsningumų.

Įsiminimas

Benjaminas (Bendžaminas) Franklinas aistringai domėjosi muzika. Puikiai grojo stikline harmonika – subtiliu muzikos instrumentu, kuriam Mocartas parašė nepaprastai gražią pjesę (K. 356, kurią galima nemokamai išklausyti kai kuriose interneto svetainėse). Laiške lordui Kamesui (1765 m.) Franklinas išsakė keletą įžvalgių pastabų apie muziką, iš kurių ypatingu gilumu išsiskyrė ši:

> *Vis dėlto, kalbant paprastai, tik darni garsų seka laikoma melodija, ir tik darnių garsų koegzistencija yra harmonija. O kadangi protas gali kuriam laikui įsiminti nuskambėjusio garso aukščio idėją, kad po to palygintų ją su vėlesnio garso aukščiu ir teisingai nuspręstų apie jų darną ar disonansą, iš to gali kilti ir kyla harmonijos tarp dabartinių ir anksčiau nuskambėjusių garsų jausmas, teikiantis tokį pat malonumą, kokį teikia harmonija tarp dviejų dabartiniu metu skambančių garsų.*

Faktas, kad galime palyginti šiek tiek skirtingu metu sugrotų tonų dažnius, leidžia daryti tvirtą prielaidą, jog egzistuoja ląstelių tinklai, atkuriantys ir trumpam įsimenantys priimtus virpesių modelius. Manau, kad ši galimybė puikiai dera su mūsų įprasta suvokimo idėja, nes tokie tinklai gali įkūnyti standartinį atvaizdavimą. Čia pažymėtina, kad santykinio garso aukščio suvokimas atitinka paprastą *standartinių* įvaizdžių palyginimą, o tai visiškai kita užduotis, nei absoliutaus garso aukščio *atpažinimas*.

Kalbant apie šiam ratui priklausančias idėjas pravartu atkreipti dėmesį į tai, kad daugmaž pastovų tempą sugebame palaikyti ganėtinai ilgai. Tai taip pat patvirtina, kad mūsų nervų sistemoje egzistuoja virpesių – tik žymiai žemesnių dažnių – derinimo tinklai.

Man liūdna, nes neturiu tobulos klausos. Mėginau apeiti savo santykinio garso aukščio akustinę abstrakciją, sužadindamas tam tikrą dirbtinę sinesteziją. Parašiau programą, kad atsitiktine tvarka tam tikromis spalvomis būtų išgrojami tam tikri tonai. Vėliau tikrinau save tai su vienais, tai su kitais duomenimis, mėgindamas nuspėti jų porinį signalą. Po daugybės varginančių bandymų man pavyko kukliai pagerinti atsitiktinio spėliojimo rezultatus. Galimas daiktas, kad esama veiksmingesnių būdų, o gal tą padaryti žymiai lengviau jaunuoliams.

Norint nustatyti, ar čia išsakytos konkrečios idėjos apie harmoniją kreipia teisingu keliu, būtina imtis nelengvo eksperimentinio darbo. Tačiau būtų nuostabu po dviejų su puse tūkstančių metų nuo Pitagoro laikų pasiekti jo nuostabaus atradimo esmę ir tuo pačiu pagerbti Delfų orakulo raginimą: „Pažink save!“

PLATONAS I: STRUKTŪRA IŠ SIMETRIJOS – PLATONO KŪNAI

Penki Platono kūnai – vieninteliai baigtiniai taisyklingieji briaunainiai.

Atrodo, visiškai natūralu paklausti, ar galime įveikti savo (arba, veikiau, Euklido) atrastą ribotumą, pagal kurį įmanomi tik penki Platono kūnai, jeigu nagrinėsime pastaruosius kiek bendresniu požiūriu. Prisiminkime, kaip kalbėjome, kad vienoje viršūnėje gali susieiti ne daugiau kaip šeši trikampiai, nes jeigu jų bus daugiau, jų kampų suma sudarys daugiau nei 360°, o tai viršija tą erdvę, kurią gali užimti viena viršūnė. Iš šešių trikampių gauname plokštumą kaip Platono paviršių.

Projektuodami iš mūsų Platono paviršiaus centro į apibrėžtą sferą tris, keturis ar penkis trikampius, gauname taisyklingus sferos pjūvius. Tai įmanoma, nes lygiašoniai sferiniai trikampiai turi didesnius nei 60° kampus, todėl galime apsupti viršūnę mažiau nei šešiais iš jų. Tai kitas būdas įsivaizduoti abi Platono kūnų klases – kaip plokštumų arba sferų taisyklinguosius pjūvius.

Taigi, priėjome prie to, kad turime paklausti konkrečiau: ar galime įsivaizduoti kitokio pobūdžio paviršius – tokius, kurių kampai mažesni? Tada galbūt galėsime įsivaizduoti Platono paviršius su daugiau nei šešiais trikampiais, susikertančiais vienoje viršūnėje.

Tikrai galime tą padaryti! Mums tik reikia paviršiaus, kuris gaunamas deformavus plokštumą tokiu būdu, kad ši išsilenktų į išorę, o ne į vidų – taip, kaip darome, kad gautume rutulį. Reikalingą rezultatą užtikrina balno forma. Ant balno galime įsivaizduoti taisyklingus pjūvius, pagrįstus viršūnėmis su septyniais ar netgi didesniu skaičiumi trikampių (tiksliau sakant, su sutartiniu jų skaičiumi). O kalbant dar tiksliau, matematinė figūra, žinoma kaip trochoidė, duoda tikslią balno formą, leidžiančią visa išlaikyti simetriška, todėl kiekviena viršūnė ir kiekvienas trikampis (arba kita figūra) atrodo vienodai.

Senovės geometrai žinojo apie geometriją daugiau, nei reikėjo visiems jiems reikalingiems statiniams pastatyti. Tolesnis šios minties rutuliojimas būtų paskatinęs mūsų eros aušroje gyvenusius protingus žmones išplėtoti XIX a. neeuklidinę geometriją ir tas grafinio dizaino rūšis, kurias XX a. išpopuliarino M. C. Escheris (Ešeris). Deja, taip nenutiko.

Galima pamatyti stendą su penkiais išraižytais akmenimis…

Iki šiol nesutariama, ar Ašmolio muziejuje ir kitur saugomi panašūs akmenys iš tikrųjų yra Platono kūnai. Žr. nuorodą math.ucr.edu/home/baez/icosahedron.

NIUTONAS III: DINAMIKOS GROŽIS

Didis XX a. fizikas ir matematikas Hermannas Weylis.

Hermannas Weylis – vienas iš mano herojų. Išaugau skaitydamas jo knygas ir netgi dabar dažnai prie jų sugrįžtu. Jis mirė dar tada, kai buvau labai mažas, tad man neteko su juo susitikti. Tačiau jo parašytos nuostabios eilutės, pateiktos tekste, atvėrė mums galimybę bendradarbiauti, kurią tęsiu čia. Weylis visada mane stulbindavo savo poetiškumu, ir man šovė mintis: kodėl gi nežengti dar toliau ir neparašyti eilėraščio?

Štai šis eilėraštis. Pirmoji jo eilutė yra kartu ir eilėraščio pavadinimas.

Pasaulis tiesiog yra.
Mano sąmonėje
Susietas su mano smegenimis ir kūnu.
Tik šio pasaulio
Greitai pralekiantys vaizdai atgyja –
Tik pavyzdžiai.
Pasaulis tiesiog yra.
Ir tai nėra ***atsitiktinumas****.*

MAKSVELAS I. DIEVO ESTETIKA

...keletas puikių nemokamų interneto svetainių, kuriose galite interaktyviai išstudijuoti Maksvelo lygtis:

Interneto svetainė maxwells-equations.com, kurioje rasite ir trumpą vaizdinę mokymo programą, užtikrina visapusišką pradinę pažintį su Maksvelo lygtimis. Straipsnis, kurį rasite adresu en.wikipedia.org/wiki/Maxwell%27s_equations, taip pat labai geras. Jeigu susidomėsite šiuo straipsniu, rekomenduoju pradėti nuo skyriaus *Conceptual Descriptions*, kuriame, iš esmės, toliau plėtojama ta pati linija, kaip ir mūsų knygoje. Taip pat ten rasite labai gražų, trumpą ir suprantamą filmą apie erdve sklindančios elektromagnetinės bangos lauko modelį. Šį filmą, kurį labai rekomenduoju peržiūrėti, rasite: en.wikipedia.org/wiki/Maxwell%27s_equations#/media/File: Electromagneticwave3D.gif.

* Laisvas vertimas. *Vert. pastaba.*

MAKSVELAS II.
SUVOKIMO DURYS

... šis gebėjimas labai retas ir dar nėra gerai ištirtas.

Tačiau visai įtikėtina, kad tetrachromatija paplitusi tarp daltonikų vyrų motinų ir dukterų. Jeigu toks vyras yra pažeisto receptoriaus geno nešiotojas, todėl jo žalios ir raudonos spalvų receptoriai labai panašūs – nors ir ne identiški – ir tai perduodama drauge su X chromosoma, tada jų dukterys taip pat gaus šį receptorių. Kartu su normaliais receptoriais, paveldėtais iš motinų, šios dukterys turės keturis skirtingus receptorius (nors du iš jų bus panašūs). Jeigu tai tiesa, tada tetrachromatija – ne toks ir retas reiškinys, tačiau jos padariniai gali būti sunkiai pastebimi. Dėl panašių priežasčių galima tikėtis, kad daltonikų vyrų motinos yra tetrachromtės.

KVANTINIS GROŽIS I.
SFERŲ MUZIKA

... antropiniai argumentai iškelia daugybę klausimų.

Bendra antropinių argumentų esmė smulkiai išdėstyta skyriuje *Terminai*. Jiems paskirtas atskiras straipsnelis, be to, apie juos gana išsamiai kalbama straipsniuose apie juodąją medžiagą ir juodąją energiją. Nusprendžiau nepertraukinėti pagrindinio teksto nukrypimais šių argumentų tema.

KVANTINIS GROŽIS III.
GROŽIS GAMTOS ESMĖJE

...*savybės*, į kurias reaguoja gliuonai, taip pat buvo pramintos *spalvomis*...

Literatūroje sutinkami keli skirtingi trijų stipriųjų spalvinių krūvių pavadinimų variantai. Mūsų pasirinkimas *(RGB)*, kaip ir bet kuris kitas pasirinkimas, iš esmės sutartinis, tačiau jis puikiai dera su mūsų ankstesniu spektro spalvų ir jų derinimo aptarimu, kaip kad įsitikinsite patys.

Spalvinių savybių erdvių aprašymą palikau kiek neapibrėžtą, nes tikslus aprašas žymiai sudėtingesnis ir apima kompleksinius skaičius. Todėl stipriosios spalvos savybių erdvė – tai trijų sudėtinių matmenų savybių erdvė; silpnosios spalvos ir elektromagnetinės spalvos savybių erdvės sudarytos panašiai. Visais atvejais simetrijos transformacijos nekeičia

viso atstumo iki koordinačių pradžios, todėl savybių erdvės to, ką vadiname esybėmis (dalelės, kurias vieną su kita susieja simetrijos transformacijos), yra skirtingų matmenų sferos. Stipriosios sąveikos atveju pradedame nuo trijų sudėtinių matmenų, kurie atitinka šešis realiuosius matmenis, todėl kvarkinės esybės savybių erdvė – tai sfera su penketu realiųjų matmenų. Elektromagnetiniam krūviui turime vieną sudėtinį matmenį, du realiuosius matmenis ir, galiausiai, vieną vienmatę sferą, kuri taip pat žinoma kaip apskritimas. Šio apskritimo spindulys lygus elektros krūvio dydžiui.

Istorinė termino „kalibravimo simetrija“ kilmė gana įdomi.

1919 m. Hermannas Weylis savo straipsnyje *Eine neue Erweiterung der Relativitätstheorie (Naujas reliatyvumo teorijos plėtinys)* pasiūlė puikią teoriją, paaiškinančią elektromagnetizmo kilmę. Nors ši teorija savo pradine forma buvo gana neteisinga, ji pateikė idėjų, kurios pasirodė esančios neįtikėtinai vaisingos. Tiesą sakant, tai buvo pirmasis bandymas pranokti Einšteiną ir paskelbti *lokaliąją simetriją* esminiu kūrybiniu negravitacinių sąveikų principu. Kaip jau aptarėme, ši strategija – taikoma pasitelkus įvairias taktikas – veda prie mūsų Pagrindų teorijos.

Terminas „kalibravimo simetrija“ – tai Weylio originalios teorijos reliktas.

Kaip jau aptarėme, pagrindinė lokaliosios simetrijos idėja – reikalauti, kad daugybė skirtingų pasaulio vaizdų perteiktų tą patį fizinį turinį. Jeigu norime, kad galiotų didelė įvairovė „iškraipytų“ erdvės, laiko ir medžiagos komponuočių, kitaip tariant, jeigu norime, kad elgesys, kurį kiekviena iš jų apibūdina, būtų fiziškai įmanomas, turime įvesti terpę, kuri leidžia atsirasti iškraipymams – kitaip sakant, juos „sukuria“. (Žr. iliustraciją EE arba 33 pav., kur pateiktas vaizdinis šios idėjos atitikmuo.) Mums reikalingos terpės rūšis glaudžiai susijusi su iškraipymų, kuriuos nusprendėme naudoti, rūšimi.

Weylis savo originalioje teorijoje postulavo *lokaliąją skalės simetriją*. Kitaip tariant, postulavo, kad galima nepriklausomai keisti objektų dydį kiekviename erdvėlaikio taške ir vis tiek gauti tokį patį šių objektų elgesį! Kad pavyktų įgyvendinti šią drąsią idėją, jam teko įvesti „kalibravimo“ ryšio lauką. Kalibravimo ryšio laukas mums pasako, kaip judėdami nuo vieno taško prie kito turime keisti ilgio mastelį arba perkalibruoti savo liniuotes. Weylis padarė didžiulį atradimą: tam, kad atliktų savo darbą ir užtikrintų lokaliąją mastelio simetriją, kalibravimo ryšio laukas turi tenkinti Maksvelo lygtis! Apstulbintas šio tariamo stebuklo, Weylis pasiūlė laikyti savo *idealųjį* matematinį ryšio lauką tolygiu *realiajam* fizikiniam elektromagnetiniam laukui.

Deja, nors Weylio ryšio laukas yra būtinas lokaliosios mastelio simetrijos komponentas, jo nepakanka tam, kad būtų užtikrinta ši simetrija. Kitos medžiagos savybės, kaip kad, pavyzdžiui, protono savybės, suteikia mums objektų ilgio mastelius, kurie mums judant iš vieno taško į kitą nekinta.

Einšteinas ir kiti teorijos trūkumų nepražiūrėjo. Nepaisant įžvalgaus genialumo, šiai teorijai, atrodo, buvo lemta nugrimzti užmaršty.

Tačiau viskas pasikeitė pasirodžius kvantinei teorijai. Šiame kontekste elektros krūvis yra susijęs su vienmate savybių erdve, esančia virš erdvėlaikio, kaip ir aptarėme pagrindiniame tekste.

1929 m. Weylis pasinaudojo šia landa, kad atgaivintų savo „kalibravimo“ teoriją nauja modifikuota forma. Jo naujoje teorijoje lokaliosios simetrijos virsmai yra ne priklausomi nuo erdvėlaikio ilgio mastelio pokyčiai, o veikiau elektrinės savybių erdvės sukiniai. Po tokios modifikacijos gauname patenkinamą elektromagnetizmo teoriją!

Prabėgus keliems dešimtmečiams paaiškėjo, kad lokaliosios (priklausomos nuo erdvėlaikio) simetrijos įdiegimas sukinių kitose, didesnėse, savybių erdvėse atžvilgiu mums taip pat suteikia patenkinamas stipriosios ir silpnosios sąveikų teorijas. Išreikšdami pagarbą Weylio ankstyvajai vizijai, fizikai visas šios rūšies teorijas vadina *kalibravimo* teorijomis.

...jie – tai santalkos protonų ir neutronų, kurie susieti vienas su kitu...

Patys izoliuoti neutronai nestabilūs, tačiau, būdami surišti su kitais neutronais ir protonais, neutronai tampa stabilūs atomų branduolių viduje.

Lee ir Yangas manė, kad…

Vertinant istoriškai, jų pradinė prielaida buvo ne tokia konkreti, tačiau vėlesni jų darbai ją patikslino.

...silpnąją sąveiką taip pat galima apibūdinti kaip lokaliosios simetrijos įsikūnijimą.

Specialistams: pilnutinių sąveikų forma, sudaryta iš dviejų srovių (srovė × srovė), ir susijungimo universalusis stipris – tai kalibravimo teorijų susijungimo savybės.

SIMETRIJA III.
EMI NĖTER – LAIKAS, ENERGIJA, NUOVOKUMAS

...pats Nilsas Boras, kai jis XX a. trečiajame dešimtmetyje…

Boras ir Landau šias prielaidas iškėlė po to, kai Nėter pristatė savo teoremą. Jiedu numatė radikalius fizikos pagrindų pokyčius, dėl kurių Nėter teorema taptų nepritaikoma. Tačiau ir kvantinė teorija apskritai (apie kurią Boras negalėjo žinoti), ir iš dalies Pagrindų teorijos (kurių negalėjo žinoti Landau) remiasi tais pačiais principais, kuriais naudojosi Nėter tam, kad įrodytų savo teoremą, o būtent – Hamiltono mechanikos principais. Kaip jau minėjau pagrindiniame tekste, būtų labai pravartu turėti abstraktesnį, mažiau techninį pagrindą.

KVANTINIS GROŽIS IV.
TIKIME GROŽĮ

Palaiminti tie, kurie tiki pamatę...

Sąveikų unifikacija ir sąveikos bei medžiagos unifikacija – dvi labai gerai išplėtotos teorinės programos. Kaip jau aptarėme, jos įgijo didelę aiškinamąją galią ir numatė iš esmės naujus rezultatus, kuriuos galima patikrinti konkrečiais, įvykdomais eksperimentais – šios prielaidos dabar tikrinamos. Fundamentaliojoje fizikoje egzistuoja dar dvi unifikacijos, kurios, manau, būtų labiau pageidautinos, tačiau jų atveju egzistuojančios idėjos kol kas nėra tokios brandžios.

Vienas jų – tai mūsų medžiagos ir informacijos aprašų unifikacija. Pirmoji, kalbant paprastai ir apibendrintai, pagrįsta lygtimis, kurios apibūdina energijos srautus ir krūvius. Formaliai kalbant, šios lygtys išvedamos atliekant manipuliacijas su dydžiu, kuris vadinamas veiksmu. Veiksmas turi tam tikrų įdomių sąsajų su entropija, o entropija glaudžiai susijusi su informacija, todėl unifikuotos teorijos galimybė labai viliojanti. Tokia teorija galėtų užtikrinti konceptualesnį Nėter teoremos supratimą ir sutvirtinti pastarosios pagrindus. Kita vertus – tai dinamikos ir pradinių sąlygų unifikacija, apie kurią keletą kartų užsiminėme mūsų pagrindinėje meditacijoje.

Tai, ką Francis Crickas (Frensis Krikas) pavadino „nuostabia hipoteze“, yra fizikos paribyje, tačiau labai svarbu aptariant bet kurią galutinę unifikaciją, kaip antai: sąmonė, kitaip dar vadinama Protu, yra emergentinė (virsmo metu atsirandanti) Medžiagos savybė. Molekulinė neurologija progresuoja nesutikdama savo kelyje jokių kliūčių, kompiuteriai atkuria vis daugiau elgsenos tipų, kuriuos vadiname žmogaus intelektu, todėl ši hipotezė atrodo neišvengiama. Tačiau ką ji reiškia iš tikrųjų, švelniai tariant, nelabai aišku.

GRAŽUS ATSAKYMAS?

Voltas Vitmanas.

Garsiosiose eilutėse iš *Žolės lapų*, kurias prisiminėme, Vitmanas išpranašavo papildomumą. Šio baigiamojo skyriaus dvasia norėčiau pratęsti šį eilėraštį ta pačia kryptimi:

Pasaulis platus –
Jame daugybė skirtingų esybių.
Žiūriu visa aprėpiančiu žvilgsniu
Ir pasakoju tau, ką matau.
Ar aš sau prieštarauju?

Na ką gi, aš sau prieštarauju.
Jeigu tavęs dar neapakino spindesys:
Pažvelk kitaip ir gėrėkis.[*]

TERMINAI

…funkcijų analizė tiriant jų pokyčius mažuose diapazonuose, kaip (diferencialinėje) skaičiuotėje

Vertinant matematiškai, pats paprasčiausias periodinis judėjimas – tai dalelės judėjimas ratu pastoviu greičiu. Stebėdami taip judančios dalelės aukštį, matysime patį paprasčiausią periodinį judėjimą, kurį galima atvaizduoti kaip liniją. Jis vadinamas sinusoidiniu svyravimu. Spustelėję nuorodą www.youtube.com/watch?v=mitioODQYgI, pamatysite meninį sinusoidinės bangos judėjimo atvaizdą skambant Bacho muzikai.

Spustelėję nuorodą http://www.mathopenref.com/trigsinewaves.html, rasite kiek paprastesnį pateikimą, įskaitant svarbios fizikinės tokio judėjimo realizacijos – ant spyruoklės pakabinto svarelio svyravimų aplink pusiausvyros tašką – animaciją. Išplėtoję šį judėjimą laike, kitaip tariant, nubraižę svarmens aukščio grafiką kaip laiko funkciją, gausite sinusinę funkciją. Sinusoidės atsiranda su grynaisiais tonais susijusių garso bangų ir su grynosiomis spektro spalvomis susijusių šviesos bangų apraše. Grynajame tone tankio ir slėgio pokyčiai erdvėje (jų vidutinių verčių atžvilgiu) įgauna sinusoidės formą, kaip ir šių dydžių pokyčiai laike bet kuriame fiksuotame erdvės taške. Panašiu būdu grynos spektrinės spalvos šviesoje elektrinis ir magnetinis laukai kinta kaip sinusoidės.

Taigi, kai mūsų ausis įeinantį akordą išskaido į jį sudarančius tonus arba kai prizmė įeinantį į ją šviesos pluoštą išskaido į spektro spalvas, jos atlieka tam tikrą analizę, matematiškai gerokai skirtingą nuo tos analizės, kuri pagrįsta kruopščiais elgesio per trumpus laiko intervalus tyrimais ir tolesniu gautais rezultatais grindžiamu labiau apibendrinto elgesio tyrimu. Matematinė funkcijų analizė, kuri išskaido jas į sinusoidines skirtingų bangų ilgių arba dažnių dedamąsias, prancūzų matematiko Žozefo Furjė (Joseph Fourier, 1768 – 1830) garbei vadinama *Furjė analize*. Ši analizė ir ją atitinkanti sintezė – tai galingi instrumentai, papildantys be galo mažų dydžių skaičiuotės analizę.

...nėra jokios patikimos teorijos, kuri galėtų paaiškinti, kodėl Gamta iš viso leido sau mėgautis šių trigubų šeimų pasikartojimu.

Skirtumą tarp šeimų galima vertinti kaip dar vieną savybę, analogišką stipriajam arba silpnajam krūviui. Savybių erdvę, susijusią su šeimos savybe, galima apibrėžti. Taigi, skirtingas šeimas galima būtų apibūdinti dar vienu spalvų rinkiniu: pirmoji šeima būtų

* Laisvas vertimas. *Vert. pastaba.*

(tarkime) žalsvai geltona, antroji šviesiai violetinė, o trečioji – švelniai rožinė. Mudu su Anthony'u Zee (Entoniu Zi), kaip ir kai kurie kiti, laikėme, kad savybių erdvė taip pat gali palaikyti lokaliąją simetriją. O kadangi jokiame atliktame eksperimente nėra jokių užuominų apie virsmus, kuriuos galėjo sukelti šios hipotetinės simetrijos kalibravimo bozonai, bet kuri tokio tipo „šeimų simetrija“ turi būti smarkiai pažeista, o jos kalibravimo bozonai turi būti labai sunkūs.

Tačiau kitos trys sąveikos reaguoja į krūvius, kurie gali turėti bet kurį ženklą.

Egzistuoja vienas įdomus klausimas: kodėl (ir ar tikrai) visata, plačiąja prasme, yra elektriškai neutrali. Jeigu ji nebūtų neutrali, tada elektrinių jėgų nebūtų galima tiksliai neutralizuoti, ir kaip tik jos, o ne gravitacija, vyrautų astronomijoje. Galėtume užduoti ir klausimą apie pilnutinį kinetinį momentą. Jeigu jis nebūtų lygus nuliui, visata pasidalytų į tam tikru būdu orientuotas sūkurines struktūras. Kad ir kokia būtų to priežastis, pagal krūvį ir kinetinį momentą visata, regis, yra subalansuota.

Kita vertus, žmonių, kaip fizinių būtybių, atsiradimo požiūriu svarbu, kad visata neturi subalansuoto skaičiaus barionų ir antibarionų. Egzistuoja įtikinamos idėjos, kaip ankstyvaisiais Didžiojo sprogimo etapais, pradedant maksimaliai simetrinėmis sąlygomis, ši asimetrija galėjo atsirasti, o po to buvo užfiksuota tam tikroje būsenoje. Daugiau informacijos šiuo klausimu žr. frankwilczek.com/Wilczek_Easy_Pieces/052_Cosmic_Asymmetry_between_Matter_and_Anti_matter.pdf.

...gravitacija – tai kūnų gebėjimas vienas kitą traukti.

Einšteinas numatė to, ką dabar vadiname „juodąja energija“, egzistavimą. Jis pastebėjo, kad metrinis skystis gali turėti būdingą energijos tankį, kuris iš esmės ir yra jo „kosmologinis narys“. Kad tankis būtų invariantiškas Galilėjaus virsmų atžvilgiu, papildomai turi egzistuoti tokio paties dydžio, tačiau priešingo ženklo slėgis. Taigi, teigiamas metrinio skysčio tankis susijęs su neigiamu slėgiu. Šiuo atveju sakome, kad egzistuoja teigiamasis kosmologinis narys. Ir, užbaigiant šią loginių samprotavimų grandinę, neigiamas slėgis skatina plėtimąsi. Atitinkamai, teigiamas „juodosios energijos“ tankis susijęs su plėtimosi tendencija. Šia prasme jis sukuria stūmos gravitacinę jėgą.

Neigiamą kosmologinį narį taip pat įmanoma apsvarstyti: jeigu metrinio skysčio energijos tankis neigiamas, gauname teigiamą slėgį ir tendenciją trauktis.

Vėliau fizikai pripažino, kad ne tik metrinis, bet ir kiti skysčiai, kuriais pripildyti mūsų Gamtos aprašymai, gali turėti baigtinį energijos tankį, o šis gali būti tiek teigiamas, tiek neigiamas. Tokiu atveju Galilėjaus simetrija taip pat reikalauja, kad jie suteiktų priešingo ženklo slėgį. Frazė „juodoji energija“ apibūdina šių efektų visumą, tuo tarpu frazė „kosmologinis narys“ konkrečiai susijusi su metriniu skysčiu. Fizikai nežino, kaip apskaičiuoti šių tankių dydį ir ar iš viso yra prasmės kalbėti apie juos kaip apie atskirus dydžius. (žr. **Pernormavimas**)

Literatūra šia tema ganėtinai sudėtinga ir (dėl to) gali tik dar labiau jus supainioti. Daugiau informacijos rasite čia: (en.wikipedia.org/wiki/Cosmological_constant, en.wiki-

pedia.org/wiki/Dark_energy ir scholarpedia.org/article/Cosmological_constant. Pagrindiniai apibrėžimai ir stebėjimų aprašai nėra prieštaringi, tačiau visa kita su jais susijusi teorinė terpė išdavikiškai nepatikima.

Egzistuoja sudėtingas ryšys tarp silpnosios sąveikos, hiperkrūvio ir elektromagnetizmo.

Elektromagnetizmo padėtis mūsų Pagrindų teorijoje gana sudėtinga, nes jis siejamas su silpnąja sąveika. Problema ta, kad kalibravimo bozonai, pačiu paprasčiausiu būdu veikiantys savybių erdves, skiriasi nuo tų bozonų, kurie turi paprastas fizikines savybes. Fundamentaliai paprastus bozonus dažniausiai vadiname *B* ir *C*. Bozonas *B* reaguoja į skirtumą tarp geltono ir violetinio silpnųjų krūvių, tuo tarpu *C* reaguoja į hiperkrūvį. Hiperkrūvis glaudžiai susijęs su elektros krūviu, tačiau nėra lygus pastarajam. Vertinant matematiškai, fotonas ir *Z* bozonas yra bozonų *B* ir *C* deriniai. Nulinę masę turintis fotonas suteikia mums elektromagnetizmą, tuo tarpu *Z* bozonas, eksperimentiškai atrastas 1983 m., turi masę, kuri prilygsta maždaug 100 protonų, ir jo vaidmuo natūraliajame pasaulyje labai ribotas.

Pavienės esybės hiperkrūvis – tai *vidutinis* elektros krūvis tų dalelių, kurias ji simbolizuoja (kartais dėl tam tikrų istorinių priežasčių įvedamas papildomas veiksnys, lygus 2). Silpnoji sąveika susieja daleles vienos esybės viduje ir gali pakeisti elektros krūvį, todėl šiai esybei negalime priskirti apibrėžto elektros krūvio, tad hiperkrūvis – tinkamas pakaitalas.

Roberto Oerterio (Erterio) knyga *The Theory of Almost Everything (Veik visa ko teorija)* (leidykla *Plume*) – puikus Pagrindų teorijos stipriosios ir silpnosios sąveikų idėjų pristatymas plačiajam skaitytojų ratui, papildantis šios knygos turinį.

S. F. Novaeso straipsnis, kurį rasite arxiv.org/pdf/hep-ph/0001283v1.pdf – toli gražu ne pats lengviausias skaitinys, tačiau jo antrojoje dalyje pateikiamos pagrindinės lygtys pačia paprasčiausia forma, kokia tik galima jas pateikti, o jo pirmojoje dalyje rasite naudingą chronologiją ir pagrindinių sąvokų paaiškinimus.

Techninė diskusija dėl tikslaus magnetinio lauko apibūdinimo...

Ryšys tarp magnetinių laukų ir jų sukuriamų jėgų sudėtingas. Magnetinė jėga, veikianti judančią įkrautą dalelę, yra proporcinga lauko didumui, krūvio didumui ir dalelės greičiui. Jėgos kryptis yra statmena plokštumai, kurią sudaro magnetinio lauko vektoriaus greitis ir kryptis. Galų gale, jeigu sukimosi kryptis eina nuo greičio vektoriaus link magnetinio lauko vektoriaus, jėgos veikimo kryptį nusako dešinės rankos taisyklė. Šio proceso aprašą rasite spustelėję nuorodą en.wikipedia.org/wiki/Lorentz_force. Dar daugiau informacijos apie magnetinius laukus galima rasti puikiame straipsnyje, kurio nuoroda yra en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_field. Nobelio premijos laureato Melvino Schwartzo (Švarco) knyga *Principles of Electrodynamics (Elektrodinamikos pagrindai)* (leidykla *Dover*) – tai šiuolaikiškas, suprantamai parašytas vadovėlis.

Įprasta dešiniosios rankos taisyklė, kurią taikant galima išspręsti šią dviprasmybę...

Neutrino fizika – tai savitas pasaulis, kuriame vyrauja egzotiškose vietovėse atliekami didvyriški eksperimentai. Interneto svetainėje (žr. nuorodą www.icecube.wisc.edu/info/neutrinos), skirtoje eksperimentui *IceCube* – eksperimentui, kai ilgos fotoelektronų grandinės įleidžiamos giliai į Antarktikos ledą, pateikiama išsami diskusija apie šią sritį kartu su kruopščiu eksperimentinių metodų aprašu, plačia istorine chronologija ir puikiu nuorodų į kitus šaltinius rinkiniu.

Straipsnis, paskelbtas en.wikipedia.org/wiki/Neutrino, taip pat puikus, nors ne toks išsamus.

Spinorių matematinio modelio aprašymo neįmanoma sutalpinti į šią knygą.

Spinoriai fizikoje ir su ja susijusiose srityse atsiranda keliose skirtingose vietose.

Spinorius galima apibrėžti bet kuriam matmenų skaičiui, ir jų subtilios savybės įdomiu būdu priklauso nuo šio matmens.

Tam tikra prasme pats įspūdingiausias – nes esminis ir geometrinis – spinorių panaudojimas yra jų taikymas kompiuterinėje grafikoje. Spinoriai suteikia patį glausčiausią ir patį efektyviausią sukinių trimatėje erdvėje nagrinėjimo būdą. Jeigu jums reikia išskaičiuoti daugybę sukinių per trumpą laikotarpį, pavyzdžiui, kuriant interaktyvų žaidimą, spinoriai labai pravers.

Pats paprasčiausias tokių spinorių pritaikymas fizikoje – tai elektronų laisvės ir kitų ½ sukinį turinčių dalelių sukinio laipsnio apibūdinimas. Kita spinorių forma – tinkanti keturių matmenų erdvėlaikiui – atsiranda Diraco lygtyje reliatyvistiniams elektronams. Dar viena spinorių forma, susijusi su dešimtmate erdve, atsiranda esybėje, kuri atitinka medžiagą *SO(10)* unifikacijos schemoje. Kitos spinorių formos atsiranda klaidų koregavimo teorijoje, skirtoje kvantiniams kompiuteriams. Kas sieja trejetą pastarųjų spinorių pasirodymų (jeigu juos išvis kas nors sieja), iki šiol neaišku. Galbūt čia slypi dar viena galimybė unifikacijos ieškotojams.

Norėčiau klysti, tačiau nuogąstauju, kad bent kiek gilesnis spinorių suvokimas yra kitapus žmogiškosios intuicijos ribų, jeigu tik pastarajai negelbsti ypatinga patirtis ir algebra. Straipsnis, kurį rasite en.wikipedia.org/wiki/Spinor, parašytas labai gerai, bet ir jis negali padaryti tokio stebuklo. Didis šiuolaikinis matematikas Michaelas Atiyaha (Maiklas Atija) perskaitė paskaitą *What is a Spinor (Kas yra spinorius?)*, kurią galima rasti svetainėje *YouTube* pagal nuorodą youtube.com/watch?v=SBdW978Ii_E. Viena vertus, ši paskaita apima įdomius gyvenimiškus atvejus ir bendražmogišką išmintį, o kita vertus, joje pateikta labai pažangi matematika.

Spinoriai atskleidžia vieną svarbų dalyką: sukinys 360° kampu – ne tas pats, kas jokio sukinio nebuvimas, tuo tarpu sukinys 720° kampu, kitaip tariant, du kartus didesnis, yra tas pats. Šį skirtumą taip pat galima pamatyti atlikus eksperimentą – tą galima padaryti ir namuose, peržiūrėjus vaizdo įrašą čia: youtube.com/watch?v=fTlbVLGBm3Q.

Čia žodis „paprastas“ turi apibrėžtą techninę reikšmę...

Šiuo atveju tiks dvi anksčiau minėtos nuorodos: www.youtube.com/watch?v=mitioODQYgI ir http://www.mathopenref.com/trigsinewaves.html. Dar pridėsiu dvi didžių fizikų klasikines knygas apie akustiką: H. Helmholtzo (Helmholco) *On the Sensations of Tone (Apie tono pajautą)* ir Lordo Reilio *Theory of Sound (Garso teorija)*. Abi prieinamos nemokamai internete, taip pat galima rasti gražiai išleistus leidyklos *Dover* egzempliorius.

REKOMENDUOJAMA LITERATŪRA

Čia pateikiu glaustą sąrašą literatūros, kurioje smulkiai gvildenamos mūsų meditacijoje paliestos temos. Padalijau jį į tris kategorijas: klasika, kvantinė teorija ir šiuolaikiniai laimėjimai. Kiekviena čia paminėta knyga man labai svarbi.

KLASIKA (IKIKVANTINIS LAIKOTARPIS)

Niekas negali atstoti galimybės pabendrauti su didžiais mąstytojais per geriausius jų darbus. Todėl, nors techninis ir mokslinis toliau išvardytų knygų turinys jau pasenęs, nė kiek nedvejodamas siūlau jas jūsų dėmesiui. Didelė dalis šios medžiagos pateikta viešajame tinkle, todėl ją galima rasti internete, jeigu tik žinote, ko ieškote. Tačiau gražiai išleistos popierinės knygos itin patrauklios ir patikrintos laiko, jas patogu nešiotis, malonu liesti, be to, jos teikia estetinį pasitenkinimą. Taigi, galbūt įvertinsite jas kaip puikią alternatyvą.

Plato, *The Collected Dialogues of Plato, Including the Letters*, edited by Edith Hamilton and Huntington Cairns, translated by Lane Cooper (Princeton University Press). Ypatingą dėmesį verta skirti dialogui *Timaeus*.

Bertrand Russell, *The History of Western Philosophy* (Simon & Schuster). Ypatingą dėmesį verta skirti Pirmajai knygai *(Ancient Philosophy)* ir Trečiosios knygos I daliai *(From the Renaissance to Hume)*.

Galileo Galilei, *The Starry Messenger (Levenger)*.

Isaac Newton, *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy (University of California Press)*. Skaitant šį šedevrą pravarti gero vadovo pagalba. Laimė, rekomenduojamas leidinys – puikus naujas vertimas iš lotynų kalbos į anglų kalbą, kurį atliko Bernardas Cohenas (Kohenas) ir Anne Whitman (Anė Vitman) ir kuriam puikią įžangą bei išsamius komentarus parašė Cohenas.

Isaac Newton, *Opticks (Dover Publications)*. Žymiai suprantamesnis Niutono veikalas. Tai specialus ir nebrangus leidinys, kuriam pratarmę parašė Albertas Einšteinas, įvadą – seras Edmundas Whittakeris, įžangą – Bernardas Cohenas, o naudingą analitinį knygos turinį sudarė Duane'as Rolleris (Dueinas Roleris).

John Maynard Keynes, *Newton, the Man*. Tai puikus trumpas esė, vieno genijaus duoklė kitam, visiškai į jį nepanašiam, genijui. Šį esė rasite www-history.mcs.st-and.ac.uk/Extras/Keynes_Newton.html.

James Clerk Maxwell, *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell,* edited by W. D. Niven *(Dover Publications)*.

Albert Einstein, H. A. Lorentz, H. Weyl, and H. Minkowski, *The Principle of Relativity* (with notes by A. Sommerfeld). *(Dover Publications)*. Tai nuostabus rinkinys! Į jį įtraukti svarbiausi Einšteino darbai iš specialiosios ir bendrosios reliatyvumo teorijų, jo trumpos pastabos apie masės virsmą energija, Minkowskio (Minkovskio) kreipimasis į skaitytoją, kuriame jis pristato šiuolaikinę erdvėlaikio sąvoką, ir ankstyvasis Weylio mėginimas sukurti vieningojo lauko teoriją, kurioje pirmą kartą pasirodo sąvoka „kalibravimo invariantiškumas". Šie straipsniai – tai moksliniai darbai, ir eiliniai skaitytojai tikrai neturėtų viltis, kad jiems pavyks perprasti visas matematines smulkmenas, tačiau daugelyje jų galima rasti turiningų diskusijų ir pastabų, kurias galima vertinti kaip literatūros kūrinius.

ŠIEK TIEK KVANTINĖS TEORIJOS

Skaitytojams, kurie neturi solidaus matematikos ir fizikos žinių bagažo, bus tikrai sunku susidoroti su čia išvardytais originaliais darbais. Tačiau eiliniai skaitytojai gali pasimėgauti pirmosiomis šių meistrų sukurtų tekstų dalimis ir atradimų aprašymais.

P. A. M. Dirac, *The Principles of Quantum Mechanics* (Oxford University Press). Šios knygos pradžioje pateikiamos svarbiausios idėjos ir (teisingi) įspūdžiai apie begalinį šios problemos gilumą.

R. P. Feynman, R. Leighton, and M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics* (Addison-Wesley). Trečiasis tomas skirtas kvantinei teorijai, pirmosios jo dalys apima svarbiausias šios teorijos sąvokas. Pirmojo tomo pradžioje kalbama apie fiziką kaip apie visumą (kokia ji buvo prieš Pagrindų teorijos atsiradimą), o po to pateikiamas įvadas į mechanikos sąvokas. Antrojo tomo pradžioje supažindinama su elektromagnetizmo sąvokomis. Visas šias dalis vienija unikalus R. Feynmano (Feinmano) įžvalgos ir entuziazmo derinys.

Henry A. Boorse, ed., *The World of the Atom* (Basic Books). Tai labai gerai apgalvotas ištraukų iš originalių darbų rinkinys, apimantis laikotarpį nuo Lukrecijaus iki elementariųjų dalelių fizikos aušros, gausus naudingų komentarų. Jis parodo, kaip medžiagos analizė paskatino žmones sukurti tokį keistą ir nuostabų dalyką kaip kvantinė teorija.

ŠIUOLAIKINIAI LAIMĖJIMAI

Nobelio fondo svetainė nobelprize.org – labai vertingas šaltinis. Joje prieinami detalūs premiją laimėjusių darbų (nuo 1901 m.) aprašai ir laureatų kalbos.

Duomenų apie elementariąsias daleles grupės svetainė labiau skirta profesionalams, tačiau skyriuje *Reviews, Tables, Plots* rasite pačių pažangiausių fizikos idėjų apžvalgas, kurių įžanginiai skyriai tikrai verti jūsų dėmesio. Visų svarbiausia: naršydami po šią svetainę, išmoksite geriau suprasti įspūdingus, detalius empirinius įrodymus, pagrindžiančius mūsų pagrindines teorijas.

Apie naujausius darbus fizikos srityje paprastai pirmiausiai paskelbiama svetainėje arXiv.org. Galbūt panorėsite žvilgtelėti, kaip atrodo fizikos mokslas kūrybiniame etape. Žinoma, tik labai menka dalis šių darbų išlaikys laiko egzaminą.

The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Šios enciklopedijos internetinę svetainę, kurioje daug įdomių ir ganėtinai painių straipsnių, rasite adresu plato.stanford.edu.

Nors ši knyga labiau susijusi su grynąja matematika, Timothy (Timočio) Gauerso *Princeton Companion to Mathematics (Princeton University Press)* bus įdomi visiems, kam patiko *Visatos grožis*. Dabar redaguoju *Princeton Companion to Physics*, kuri turi pasirodyti 2018 m.

ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS

Frontispisas: Išspausdinta leidus autoriui He Šuifai.
1 pav. Iš autoriaus asmeninio archyvo.
2 pav. Iš autoriaus asmeninio archyvo.
3 pav. Medžio raižinys iš Franchino Gaffuri veikalo *Theorica Musice, Liber Primus* (Milanas: Ioannesas Petrusas de Lomatio, 1492).
4 pav. Albrechtas Diūreris, *Melancholija I*, graviūra varinėje plokštėje, 1514.
5 pav. Iš autoriaus asmeninio archyvo.
6 pav. Iš autoriaus asmeninio archyvo.
7pav. Penki raižyti rutuliukai iš Škotijos, smiltainis, neolitas – ankstyvasis bronzos amžius, © Ašmolio muziejus, Oksfordo universitetas.
8 pav. Iš Ernst Haeckel, *Kunstformender Natur,* 1904. 1 graviūra, Phaeodaria.
9 pav. Johaneso Keplerio Saulės sistemos teoriją iliustruojantis stendas, demonstruojamas Vienos technikos muziejuje, nuotrauka © Sam Wise, 2007.
10 pav. Iš autoriaus asmeninio archyvo.
11 pav. www.vertice.ca.
12 pav. Filipo Bruneleski, perspektyvos demonstracija, 1425.
13 pav. Abell 2218, Kosminio teleskopo mokslinis instututas, NASA Contract NAS5-26555.
14 pav. Izaoko Niutono dienoraštis, Kembridžo universiteto biblioteka.
15 pav. Seras Godfrey Knelleris, Izaoko Niutono portretas, aliejus, drobė, 1689.
16 pav. Galilėjas Galilėjus, *Sidereus Nuncius*, 1610.
17 pav. Sir Isaac Newton, *A Treatise of the System of the World*, 1731, p. 5.
18 pav. Iš autoriaus asmeninio archyvo.
19 pav. Sir Isaac Newton, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, vol. 1, 1729.
20 pav. Newton Henry Black and Harvey N. Davis, *Practical Physics* (New York: Macmillan, 1913), 200 pav., p. 242.
21 pav. James Clerk Maxwell, *On Physical Lines of Force, Philosophical Magazine*, vol. XXI, Jan. – Feb. 1862. Perspausdinta leidinyje *The Scientific Papers of James Maxwell* (New York: Dover, 1890), vol. 1, pp. 451–513.
22 pav. © Bjørn Christian Tørrissen, "Spiral Orb Webs Showing Some Colours in the Sunlight in a Gorge in Karijini National Park, Western Australia, Australia," 2008.
23 pav. Džeimsas Klerkas Maksvelas su savo spalvotu vilkeliu, 1855.
24 pav. Iš autoriaus asmeninio archyvo.
25 pav. Hans Jenny, *Kymatic*, vol. 1, 1967.
27 pav. Iš autoriaus asmeninio archyvo.
28–29 pav. © D& A Consulting, LLC. *Below*: Care of Wikimedia contributor Alexander AIUS, 2010.
30–31 pav. Wikimedia user Benjahbmm27, 2007. *Below:* Harold Kroto, © Anne-Katrin Purkiss, reprinted by per-

mission of Harold Kroto.
33 pav. Išspausdinta leidus autoriui Istvánui Oroszui.
34 pav. C. 304: Mechanic's Magazine, cover of vol. II (London: Knight & Lacey, 1824).
35 pav. Andreas S. Kronfeld, *Twenty-first Century Lattice Gauge Theory: Results from the QCD Lagrangian, Annual Reviews of Nuclear and Particle Science*, March 2012. Paskelbta leidus autoriui Andreasui Kronfeldui.
36 pav. Iš autoriaus asmeninio archyvo.
37 pav. Emi Nėter, 1902.
38–39 pav. Sukūrė Betsy Devine.
40 pav. Iš autoriaus asmeninio archyvo.
41 pav. Iš autoriaus asmeninio archyvo.
42 pav. Wikimedia.
43 pav. Nuotrauka iš NASA marsaeigio, NASA/JPL–Caltech/MSSS/TAMU.

SPALVOTOS ILIUSTRACIJOS

A: Išspausdinta leidus autoriui He Šuifai.
B: Detalė, kurioje atvaizduotas Pitagoras. Žr. Rafaelis, *Atėnų mokykla*, freska Vatikano Apaštalų rūmų kambaryje , 1509–11.
C: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
D: RASMOL image of 1AYN PBD by Dr. J.-Y. Sgro, UW-Madison, USA. RASMOL: Roger Sayle and E. James Milner-White. "RasMol: Biomolecular Graphics for All," *Trends in Biochemical Sciences* (TIBS), September 1995, vol. 20, no. 9, p. 374.
E: Salvador Dalí, *Paskutinė vakarienė*. Iš Vašingtono nacionalinės dailės galerijos archyvų.
F: Camille Flammarion, *L'atmosphère: météorologie populaire*, 1888.
G: Pietro Perudžino, *Kristus įteikia raktus Šv. Petrui*, freska Siksto koplyčioje, 1481–1482.
H: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
I: Fra Andželiko, *Kristaus Atsimainymas*, freska, apie 1437–1446.
J: © Molecular Expressions.
K: Viljamas Bleikas, *Niutonas*, plunksna, tušas, akvarelė, popierius, 1795.
L: Viljamas Bleikas, *Europos pranašystė*, spalvota graviūra, 1794.
M: Phoenix Galactic Ammonite, © Weed 2012.
N: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
O: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
P: Dr. Alanos Edwards sukurtas spektro atvaizdas, Klimatologijos tyrimų projektas, NASA. Atkurta gavus leidimą.
Q: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
R: R. Gopakumaras, *Dievo sūnaus gimimas*, skaitmeninis paveikslas, nutapytas drobėje, 2011. Per *Wikimedia Commons*.
S: Viljamas Bleikas, *Rojaus ir pragaro jungtuvės*, antraštinis lapas, 1790.
T: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
U: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
V: Claude Monet, *Šieno stirta (Saulėlydis)*, aliejus, drobė, 1891. Julianos Cheney Edwards kolekcija, Vaizduojamųjų menų muziejus, Bostonas.
W: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
X: Jille Morton nuotraukos, skelbiamos autorei leidus.
Y: Michaelo Boko paveikslas.
Z: Vėžys maldininkas, Jacopo Wertherio nuotrauka, 2010.
AA: Michaelo Boko paveikslas.
BB: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
CC: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
DD: Wikimedia Commons.
EE: Išspausdinta leidus autoriui Istvánui Oroszui.

FF: Wikimedia Commons. Michaelio Ströcko paveikslas, 2006.
GG: Betsy Devine nuotrauka; efektus sukūrė šios knygos autorius.
HH: Žiemos maldų salė, Nasiro al Mulko mečetė, Širazas, Iranas.
II: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
JJ: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
KK: Amity Wilczek, Betsy Devine nuotrauka; efektai sukurti autoriaus.
LL: Mohammado Reza Domiri Ganji nuotrauka.
MM: Typoform, Švedijos karališkoji mokslų akademija.
NN: © CERN vaizdo įrašų biblioteka.
OO: © Derekas Leinweberis, naudojama autoriui leidus.
PP: © Derekas Leinweberis, naudojama autoriui leidus.
QQ: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
RR: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
SS: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
TT: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
UU: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
VV: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
WW: Iš autoriaus asmeninio archyvo.
XX: © Derekas Leinweberis, nudojama autoriui leidus.
YY: Karavadžo, *Tomas Netikintysis*, aliejus, drobė, 1601–1602.
ZZ: Leonardo da Vinči, *Vitruvijaus žmogus*, tušas, popierius, apie 1492.
AAA: Per NASA.

RODYKLĖ

abstrakcija 471
Achilas ir vėžlys (Zenono paradoksai) 77–78, 130–131, 401
Adamsas, Džonas Koučas 377, 427
aksionai 329, 397, 399–400, 409, 426–427
akustika. *Žr.* muzikinė harmonija; muzikos instrumentai; garsas
alchemija 105–106, 118
alfa dalelės 400
algebra 188, 343, 452–453, 467
  Visi daiktai yra skaičiai 34, 40, 41, 46, 75, 386, 389, 401
Ampero dėsnis 155, 159, 400, 442, iliustracija N 156
Ampero ir Maksvelo dėsnis 161–162, 400–401, 442–443, 459
amžinybės ir laikinumo papildomumas 389
anachromija 38, iliustracijos GG 266, HH 267
analizė 19–20, 401, 456
Analizė ir Sintezė 61, 62, 401, 457
analoginiai dydžiai 401, 432
anamorfija 166, 180–181, 269, 289–291
anamorfinė simetrija. *Žr.* lokalioji simetrija
Anderson, Carl 412
Anderson, Philip 396
anglis ir anglies junginiai 254–263
  anglies atomai 254–55
  Backminsterio fulerenai 262, 263, 351
  deimantai 255, 256–258
  grafenas ir grafitas 255–256, 261, 262, 420
  nanovamzdeliai 261–262, 445, iliustracija FF 260
antibarionai 422–423
antidalelės 319, 377, 402, 403–444
antielektronai. *Žr.* pozitronai
antikvarkai 305, 377, 422–23, iliustracija NN 302
antikvarkų ir kvarkų poros. *Žr.* mezonai
antimedžiaga 401–402
antiprotonai 402
antisimetrija 402
antropiniai argumentai, antropinis principas 403, 427, 469–470
apskritimai 55, 67, 167, 414–415
  planetų apskritiminio judėjimo teorijos 20–21, 67, 84–85
Aristotelis 46–47, 77, 85–86, 98
  Visi žmonės yra mirtingi, silogizmas 347–348
Arnold, Vladimir 132
aromatai (kvarkų) 297, 403
  Dar žr. konkretūs aromatai
Art Forms in Nature (Haeckel) 61
asimptotinė laisvė 309, 363–366, 397, 404, 434
jos pagrindai 307–308, 404
astrologija 83
astronomija ir kosmologija 26–27, 47, 68, 83–86
  Saulės sistemos savybių kilmė 233–235
  spektrinių linijų reikšmė 120–121, 243, 404–405
  Dar žr. dangaus mechanika; Kopernikas, Mikalojus; Galilėjus, Galilėjas; Kepleris, Johanesas
ašinės srovės 404
ašiniai vektoriai 428, 439, 440
Atėnų mokykla (Rafaelis), iliustracija B 36
Atiyah, Michael 483
atomai 218–19, 230–31
  kaip grožio objektai 209, 232, iliustracija CC 210
  kaip stabilūs dariniai 217–219, 220–222, 232–233, 296–237
  Platono teorijoje 63–67, 75, 232, 377, 446–447
  Dar žr. nuostoviosios būsenos
atominiai laikrodžiai 231

atominiai spektrai 221–222, 418–419, 404–405, 463–464
atominis skaičius 405
atomų branduoliai 272, 409
jų atradimai ir su jais susiję klausimai 217–219, 294–296, 394–395
jų elementai ir sandara 294–295, 422, 478
jų izotopai 295, 405, 424
jų spektrai 404–405
Dar žr. skilimas; neutronai; branduolinės sąveikos; protonai; kvantinė chromodinamika
atomų inžinerija 230–231
Autobiographical Notes (Einstein) 39

b (gelminiai) kvarkai 327, 328–329, 403–404
babiloniečių astronomija 84
Backminsterio fulerenai *(bakibolai)* 261–263, 351, 405
balta spalva, balta šviesa 111, 113–115, 116, 173, 463–464,
iliustracijos I 112, J 114, T 174
banginės funkcijos 212, 223–30, 405–46, 433–35, 444
amplitudės 224
dviejų elektronų atomai 237–238, 444–245
savaiminiai virpesiai 226–228
vandenilio atomų 223–226
Dar žr. Diraco lygtis; elektroninių bangų funkcijos; nuostoviosios būsenos; Šriodingerio lygtis
bangos 460
Dar žr. specifiniai bangų tipai
bangų ilgiai 131, 407, iliustracija P 164
Bardeen, John 396, 461
barionai 296, 297, 309, 407, iliustracija PP 310
Dar žr. hadronai
BCS superlaidumo teorija 396, 461–462
be galo nutolę taškai *Žr.* taškai begalybėje
begaliniai dešimtainiai skaičiai 452–453
bėgančiosios bangos 212–215, 460
Bekesy, Georg 49
bendrasis kovariantiškumas249, 288, 291, 408
bendroji reliatyvumo teorija 245–49, 395
bendrasis kovariantiškumas 249, 289, 291, 408
Einšteino apskaičiuotas Saulės šviesos išlinkis 103
juodoji medžiaga 426, 481
kaip lokaliosios simetrijos įsikūnijimas 246–249, 287, 289, 291, 427, 440
mantros 280–283, 286
suderinamumas su Pagrindų teorijomis 448
Dar žr. gravitacija; erdvėlaikis
Berklis, Džordžas 345
Biblijos tekstai 105–106
bjaurumo ir grožio papildomumas 390
Bleikas, Viljamas 113, 171–172, iliustracijos: K 136, L 137, S 172
Boras, Nilsas 52, 231
energijos tvermės pažaidos hipotezė 342, 478
papildomumo priėmimas 29, 285, 386–387, 449
Dar žr. nuostoviosios būsenos
Bose įterpimo principas 368, 408
Bose, Satyendra 368, 395, 408
Bosvelas, Džeimsas 345
bozonai (sąveikos dalelės) 368–369, 408, 443, 462
Dar žr. specifinės jų rūšys
Brahė, Tycho 100, 414–415
branduoliai. *Žr.* atomų branduoliai
branduolinės jėgos 294–296, 297, 299, 303
Dar žr. išlaikymas; kvantinė chromodinamika; stiprioji sąveika
briaunainiai 409
Dar žr. Platono kūnai; konkretūs tipai
Brout, Robert 321, 396
Bruneleski, Filipo 19, 89–91, 98, 393
Bunsen, Robert 120

c (žavieji) kvarkai 327, 332, 377, 397, 470
Cabibbo kampas 462
Cay, Charles 202
CERN. *Žr.* Didysis hadronų greitintuvas
Chadwick, James 295
chaoso teorija 93
chemija ir cheminiai elementai 63–64, 117–119, 263, 295, 450
spektro linijos ir 120–121, 418
Dar žr. specifiniai elementai
cirkuliacija 158–159, 400, 409, 418
Clarke, Arthur 216
Cleve, Per 121
Cooper, Leon 396, 461
Corti organas 49, 50
Cowan, Clyde 396
Creutz, Michael 398
Crick, Francis 479

čiurkšlės (dalelių) 304, 397, 424, 432, iliustracija NN 302

d (krintantieji) kvarkai 330–331, iliustracijos RR, SS 316, TT UU, 317
dalelės padėtis 225, 226
Dar žr. savybių erdvės
dalelių greitintuvai 422
Dalí, Salvador, *Paskutinė vakarienė*, 71, iliustracija E 248
daltonizmas 176–177, 192, 197–198, 476, iliustracijos U 178, X 190
dangaus mechanika 19–20, 207, 233–235, 384, 410
Dar žr. astronomija ir kosmologija; planetų judėjimas
dangaus sferos 67, 100
Sferų muzika 46, 68
daugiakampiai 55, 410
Dar žr. konkretūs daugiakampiai
daugybinių pasaulių problema, 226, 470
dažniai 410
savieji (rezonanso) 212–216, 444–445
spektro spalvų 458
Dar žr. muzikinė harmonija; grynieji tonai
De Revolutionibus Orbium Coelestium (Kopernikas) 97, 393
deimantai 257–258
Deivis, Hamfris 147
Dekartas, Renė 58, 123–124
demiurgas. *Žr.* Meistras
dešiniosios rankos taisyklė 438, 458
determinizmas 225, 435
Didysis elektronų ir pozitronų priešpriešinių srautų
greitintuvas 398, 402
Didysis hadronų priešpriešinių srautų greitintuvas 308, 376, 398
didžiaenergės dalelės 296
kosminė spinduliuotė 431
Dievo sūnaus gimimas (Gopakumaras), iliustracija R 170
Dimopoulos, Savas 370, 371–373, 398
Dynamical Theory of the Electromagnetic Field, A (Maxwell) 143, 150, 154–155, 161, 233, 394
dinamikos dėsniai ir dinamikos lygtys 19–20, 81, 211, 446, 232–233, 411, 451
Niutono dėsniai kaip 133–134, 140–141, 412
Dar žr. pradinės sąlygos
Dirac, Paul 377, 395–396, 401
Diraco lygtys 395–396, 395, 401–402, 412, 483
Dar žr. banginės funkcijos
diskretumas 211, 212–214, 235–236, 435
Dar žr. skaitmeniniai dydžiai; kvantavimas; nuostoviosios būsenos
Dyson, Freeman 321, 396
Diūreris, Albrechtas, *Melancholija I*, 53
dodekaedras 56, 63–65, 261, 261, 351–355, iliustracijos D 53, E 70
Dar žr. Platono kūnai
draudimo principas 169–172, 368, 395, 408–409
dvasinė kosmologija 16–17
Džaulis, Džeimsas Preskotas 340
Džonsonas, Samuelis 345

Einšteinas, Albertas 144, 435
apie Boro nuostoviųjų būsenų hipotezę 221–222
fotono hipotezė 218–219, 394
juodosios energijos numatymas 426, 481
Pitagoro teoremos įrodymas 39–40
Planko ir Einšteino sąryšis 418, 431, 451
Saulės šviesos išlinkio apskaičiavimas 103

Dar žr. bendroji reliatyvumo teorija; specialioji reliatyvumo teorija
ekonomiškumas (idėjų) 24–25, 28–29, 66, 423
elektra 412
Faradėjaus įžvalgos 149–150
fotoelektrinis efektas 217, 219–220
elektrinė jėga 412–414
elektrinė savybių erdvė 289–291, 274–275, 477–478
elektriniai laukai, skysčiai, 151–153, 286, 364, 412–413, 436–437
Gauso elektrinio lauko dėsnis 157–158, iliustracija N 156
Dar žr. Faradėjaus dėsnis; Maksvelo lygtys
elektrinis atsparumas 339
elektrochrominės medžiagos 198
elektrodinamika. *Žr.* elektromagnetizmas; Maksvelo lygtys; kvantinė elektrodinamika
elektromagnetinė savybių erdvė 282–284, iliustracija KK 279
elektromagnetinės bangos 183, 413–414, iliustracija W 184
jų greitis 153
kaip grynieji tonai 454–455
kaip skersinės bangos 455–456
šviesa kaip 119, 153, 181–185, 217–218, 409, iliustracijos P 164, W 184
elektromagnetiniai laukai ir skysčiai 286, 364, 413, 436–437
fotonų atsiradimas 228–230
Maksvelo modelis ir jo prasmės 151–153
Planko ir Einšteino sąryšis, Planko konstanta 418, 450–451, 461
elektromagnetinis spektras 404
Dar žr. spalva (šviesos); spektro spalvos
elektromagnetizmas 272, 286, 352, 361, 434
energijos tvermė ir 339
Faradėjus ir jo darbai 147–150, 152, 400–401, 413, 468,
hiperkrūvis, silpnoji sąveika ir 423, 482
Pagrindų teorijoje 282–283
Dar žr. Maksvelas, Džeimsas Klerkas; Maksvelo lygtys; kvantinė elektrodinamika
elektronai 413, 432
dviejų elektronų atomai 405–406
jų atradimas 217–218
jų elektriniai krūviai 414–415
jų fundamentaliosios savybės 252–253, 368, 408, 461–462
jų išsidėstymas anglies junginiuose 254–263
kaip elementariosios dalelės 408, 413–414, 415
kaip fermionai 394–495
kvantiniuose matmenyse 371–372
jų sukeičiamumas 348–349
Dar žr. nuostoviosios būsenos
elektronų banginės funkcijos 252, 455–456, 460–461
Diraco lygtis 395–396 , 455–456, 483
Dar žr. Šriodingerio lygtis; banginė funkcija
elektronų debesys 216, 405–406
elektronų ir pozitronų susidūrimai 204, iliustracija NN 302
elektronų skystis 304, 431, 464
elektros krūvis 414, 481
antimedžiaga ir antidalelės 401–402
Gauso elektrinio lauko dėsnis 157–158, iliustracija N 156
hiperkrūvis 331, 423, 481–482
kaip apibrėžia atominis skaičius 405
subatominis 294–295
Dar žr. antidalelės; spalvų krūviai; hiperkrūvis; specifinės dalelių rūšys
elektros srovė 400–401, 414, 460
Elementai (Euklidas) 42, 61, 63, 393
elementai. *Žr.* chemija ir cheminiai elementai; ypatingieji elementai
elementariosios dalelės 414, 441, 432, 446
Dar žr. specifinės jų rūšys
elipsės 414
planetų orbitos kaip 69–71, 100, 123, 415
energija 246, 285, 415–418
atomai, ištroškę energijos 237
elektronų, kaip diskretiškos formos 221
jos kvantavimas 432–433
jos tvermė 221, 246, 337–441, 342, 417, 466
kaip masės pradas 314–315

energija ir judesio kiekis 281–282, 286
energijos srovės 459
Englert, François 321, 396
entropija 479
erdvė
tuščia 363, 431–432, 423, iliustracija XX 362
kaip vakuumas (tuštuma) 143, 145–146, 161–162, 467–468
Dar žr. skysčiai; terpės
erdvėlaikis 130–131, 141, 281–283
jo geometrija 282, 285, 287, 443–444
medžiagos ir erdvėlaikio papildomumas 282–283, 285
Dar žr. bendroji reliatyvumo teorija
erdvinės transliacijos 336, 425, 451
erdvinės transliacijos simetrija 341, 349–350, 418
Euklidas 18, 243–274
Elementai 42, 61, 63, 393

familonai 329
Faradėjus, Maiklas 20–21, 147–150, 340–341, 413
Faradėjaus darbai, kuriais rėmėsi Maksvelas, 151–154, 340–341
Faradėjaus dėsnis, iliustracija N 302
Maksvelo modelyje ir lygtyse 152, 155–157, 158–59, 400–401, 413, 442, 448
pagrindai 158–159, 413, 418, 459
Feynman, Richard 240, 395
Fermi, Enrico 368, 395
fermionai (medžiagos dalelės) 276, 277–279, 326, iliustracijos RR, SS 316
jų elgesys ir savybės 287, 287, 402, 408–409
jų šeimos , 330–332, 354, 462, 480–481, iliustracijos TT, UU 317
supersimetrija ir 390, 462
Dar žr. konkrečios jų rūšys
fotoelektrinis efektas 217–219
fotonai 219, 376, 432
ir Higgso dalelė 325
jų emisija ir generavimas 227–228, 237, 461–462
jų savybių erdvė 280
kaip bozonai 368, 394
kaip elektriškai neutralūs 305, 401–402
kaip elementariosios dalelės 251, 413, 446
kaip kalibravimo dalelės 427
kaip lokaliosios sistemos atvaizdai 289–291
kaip masės neturinčios dalelės
spalvų suvokimas ir 115, 117–118, 188–189, 196
superlaidumas ir 396, 462
šviesos dalelių teorija ir 117, 119, 219–220, 395, 450
Dar žr. šviesa; Planko ir Einšteino sąryšis
fraktalai 135–140, 419
fraktaliniai matmenys 442
Franklin, Benjamin 473
Fraunhofer, Joseph von 120
Fredkin, Ed 41
Friedman, Jerome 306, 396
Fuller, Buckminster 218, 263
funkcijos 419
Furjė analizė 480

Galilėjaus simetrija (Galilėjaus invariantiškumas) 207, 240–245, 367, 419
lokalioji Galilėjaus simetrija 246–249, 354, 419, 433
Galilėjaus transformacijos 207, 243, 367, 419, 421–222, 458–249
Galilėjus, Galilėjas 17, 24, 97, 337
Sidereus Nuncius 125, 126, 394
gama spinduliuotė 163–64, 413, 431–432, iliustracija P, 163–164
garsas 47–48, 196, 212–213
girdimasis suvokimas 47–48, 49–51, 197, 460–461, 465
grynieji tonai 213, 407, 454–555, 463–464, 465
savasis (rezonanso) dažnis 211–216, 444–455
Dar žr. muzikinė harmonija; muzikos instrumentai

Gausas, Karlas 443
Gauso dėsniai 155, 158–159, 419–420, iliustracija N 156
Geiger, Hans 203, 394
Geim, Andre 259
gelminiai (b) kvarkai 327, 328–329, 403–404
Gell-Mann, Murray 297, 396, 436–437
geodezija 282–283, 420
geometrija 41–42, 275, 466–467
Euklido *Elementai* 42, 61, 63, 451
geometrijos mantros 282–286
kaip skystis 285–286
Pitagoro teorema 18, 34–35 , 450, iliustracija C 37
Dar žr. projekcinė geometrija
Georgi ir Glashow unifikacijos schema, SO(10) 355–358, 397,
iliustracijos VV, WW 356
Georgi, Howard 355, 397
gilios tiesos 71
Ginzburg, Vitaly 396
girdimasis suvokimas 47–48, 49, 195–196, 407, 465, 471–473
gitaros, jų rezonansiniai dažniai 215–216, 396
Glashow, Sheldon 320, 322, 355, 396, 397
Dar žr. Georgi ir Glashow unifikacijos schema
Glaukonas 74
Dar žr. Olos alegorija
gliubolai 422
gliuonai 66–67, 280, 366–365, 420, 422
Dar žr. spalvotieji gliuonai
gliuonų laukai, skysčiai 363–364, 420, 440–441, iliustracija XX 362
gliuonų susiliejimas 325–326, 327–329
globali simetrija. *Žr.* griežtoji simetrija
Goldstone, Jeffrey 396
grafenas 255–259, 260–262, 351, 420
grafitas 258–259
Grasmano skaičiai 368, 436, 442
gravitacija 272, 352, 374–376, 420–321
ir šviesos išlinkis 102–103
juodoji medžiaga arba juodoji energija 426–427, 420–421
klausimai ir sunkumai, susiję su Niutono gravitacijos teorija 144–145, 45–146, 377
Niutono kalnas 126–129, 131, 132
sąveikų unifikacija ir 374–375,
stipris, susijęs su kitomis jėgomis 251–253, 375–376, 420–421
Dar žr. bendroji reliatyvumo teorija; Niutono judėjimas ir mechanika
gravitacinės bangos 285–286, 420–421
gravitacinis skystis. *Žr.* metriniai laukai ir skysčiai
gravitonai 248, 249, 320–321, 368, 414, 421
kaip lokaliosios simetrijos atvaizdai (avatarai) 289–291, 292
greičio laukai 151, 158, 434–438
greitinimas 421, 424
Dar žr. Galilėjaus transformacijos
greitintuvai 422
greitis 20, 407–8, 422, 456
Dar žr. pagreitis; judėjimas
griežtoji simetrija 288–289, 394, 395, 411, 419, 460
Yango ir Millso plėtimosi teorijos 290, 320–321, 354–355, 396
griežtumas 422
grynieji tonai 141, 454, 463–465, 471, 480, 483
Dar žr. spektro spalvos
grynosios bangos 183
grožis 15–23, 91–92, 240, 376–385
jo atmainos 23–25, 82–85
jo griežtumo, įmantrumo papildomumas 230
jo ir bjaurumo papildomumas 390
jo suvokimas (Proto ir Medžiagos vienovė) 23–25
jo troškimas kaip kūrybos paskata 240
mūsų grožio pajautos išplėtimas 206
palyginti su tiesa 82–85, 376–377
Dar žr. papildomumas; Realaus ir Idealaus dualumas, papildomumas
Gross, David 309–310, 397
grupės (transformacijų). *Žr.* simetrijos grupės
Guralnik, Gerald 321, 396

hadronai 296, 304, 421–422
Didysis hadronų priešpriešinių srautų greitintuvas 376, 398, 411
Diraco lygties pritaikymas jiems 412
jų čiurkšlės 410, 424, iliustracija 302

jų elektros krūviai 414
jų masės 313–315, 398
jų masių apskaičiavimas 313–15, 48–49
jų spektrai 404–405
kvarko modelis ir jo trūkumas 252, 297–298, 396, 437
Dar žr. barionai; mezonai; kvantinė chromodinamika
Haeckel, Ernest 61
Hagen, Carl 321, 396
harmonija 45–46, 423
proto ir medžiagos 25–28, 64
Dar žr. muzikos harmonija
He Šuifa, iliustracija A 2, 284
Heisenberg, Werner 226, 395
Heisenbergo neapibrėžtumo principas 226, 365, 372, 434
helis 121, 237–238, 406
Hercas, Hainrichas 162–163, 318–319, 394, 410
Higgs, Peter 321, 396
Higgso dalelės (Higgso bozonai) 308–314, 366, 368, 377, 461
didelės energijos susidūrimai ir dalelės 295–296, 307–308, 361, 366–367, 375, 361, 422,
Didysis hadronų priešpriešinių srautų greitintuvas 305, 337, 376, 410
iš jų atsirandančios čiurkšlės 305, 398, iliustracija NN 410, 424
jų atradimas ir susidarymas 324–326, 327–338, 360, 397, 414
Dar žr. hadronai; kvantinė chromodinamika; stiprioji sąveika
Higgso laukai, skysčiai (Higgso mechanizmas) 396, 431–432,
iliustracijos TT, UU 317
kaip silpnosios sąveikos sprendinys 322–323, 354, 360, 455
pagrindai 321–323, 322–324, 423
higletai 329
Hilbert, David 343
Hipas 40
hiperkrūvis 330–331, 423, 455
Hjūmas, Deividas 345
Hooft, Gerard't 321, 397
Hunt, Leigh 111
Haksli, Oldousas, Gvido įrodymas 38, iliustracija C 37

Yang, C. N. (Frank) 205, 319–320, 394–395, 396
Yango ir Millso lygtys 289, 200, 320–321, 355–356, 396, 424–445
Ice-Cube eksperimentai 404
Idealaus ir Realaus dvilypumas. *Žr.* Realaus ir Idealaus dvilypumas, papildomumas
ikosaedras 56, 61, 63, iliustracija D 58
Dar žr. Platono kūnai
Iliopoulos, John 397
impresionistinė tapyba 180–181, iliustracija V 182
in ir *jang* papildomumas 283–285, iliustracija A 284
Dar žr. papildomumas
indukcija. *Žr.* Faradėjaus dėsnis
inercija 440–442
informacija
jos ir medžiagos unifikacija 479
skaitmeniniai dydžiai ir 385–386, 401, 457
infraraudonoji spinduliuotė 164–1 65, 192, 413, 463, iliustracijos P 164, Y 191
instantonai 328
intarpo principas 368, 408–409
invariantiškumas 94, 400, 424
Dar žr. simetrija (simetrijos), specifinės rūšys
Young Archimedes (Haxley) 38
įsitikinimai, juos pateisinančios aplinkybės 345–350
išbalinimo taisyklės 301, 309, 358, iliustracija QQ 312
išlaikymas 299, 305, 361, 363, 424, iliustracija MM 298
išvestinių metodas 130
izotopai 117, 295, 424

jėga 425
jos kiekio nustatymas 447–448
jėgos linijos 147–149, 157–158, 425
spalvotųjų gliuonų 305, iliustracija OO 306
Dar žr. Faradėjaus dėsnis; Gauso dėsniai
Jona-Lasinio, Giovanni 396
judėjimas
laikas kaip matmuo 128–129

Niutono atlikta jo analizė ir aprašymas 130–131, 245, 456
spektro spalvų poslinkiai ir 118, 242–243
Zenono paradoksai 77–78, 130–131, 401
Dar žr. kinetinė energija; Niutono judėjimas ir mechanika; planetų judėjimas
judėjimo energija. *Žr.* kinetinė energija
judesio kiekio momentas 341–342, 426, 428, 434
jo tvermė 342, 349, 418, 428, 466
Dar žr. kinetinis momentas
juoda spalva 113, 175–176
juodoji energija 23, 426–427, 431–432, 448
Einšteinio *kosmologinis narys* 426, 481
juodoji medžiaga 23, 397, 426–427, 431, 441, 446–448, 468

kairiosios rankos taisyklė 420–421
Dar žr. šališkumas
kalendoriai 83
kalibravimo dalelės 354–355, 427
kalibravimo ryšio laukas 477–478
kalibravimo simetrija (simetrijos) 477
Dar žr. lokalioji simetrija
kalibravimo teorijos 361, 477–478
Kamerlingas-Onesas 461
Karavadžo, Mikelandželo, Merisi da, *Tomas Netikintysis*, iliustracija YY 378
Kavli teorinės fizikos institutas 370
Keynes, John Maynard), *Newton, the Man* 105
keistieji (s) kvarkai 332, iliustracijos TT, UU 317
Kelvin, William Thomson, baronas 377
Kempbelas, Luisas 199, 202–203
Kendall, Henry 397
Kepleris, Johanesas 67–69, 98, 99–100, 234, 342
Keplerio Saulės sistemos modelis
Keplerio dėsniai
pirmasis dėsnis 69, 125
antrasis dėsnis 125, 342, 428
trečiasis dėsnis 125, 127
Kibble, Tom 321, 396
kiekybiškumas 428
kylantieji (u) kvarkai 314, 330–332, 442, 462
kinetinė energija 337–338, 415
Dar žr. judėjimas
kinetinis momentas 235, 418, 427–28, 431, 446
jo tvermė 341, 348–349, 447, 468
Kirchhoff, Gustav 120
Kitsas, Džonas 135, 139, 153
klausa. *Žr.* girdimasis suvokimas; muzikos harmonija; muzikiniai instrumentai; garsai
Klausimynas (Niutonas) 102–103
Koyré, Alexandre 100–101, 104–105
kokybiškumas 428
kompiuterių ekranai 180, 198, 201, 276, 469
kompleksiniai skaičiai 428–429, 434, 469
koordinatės 429–430, 455, 460, 469,
Kopernikas, Mikalojus 20–21, 67, 97, 125, 393
kosminė infliacija 385
kosminiai spinduliai 412, 431
kosmologija. *Žr.* astronomija ir kosmologija; visata
kosmologinis narys 426, 440, 481
krintantieji kvarkai 314, 330–332, 442, 462, iliustracijos RR, SS 316, TT, UU 317
Kristus įteikia raktus Šv. Petrui (Perudžino), iliustracija G 90
Kroto, Harold 263
kubai 63, 99
Dar žr. Platono kūnai
Kulono dėsnis 414
Kūrėjas ir kūrinys 16–17
Bleiko *Urizenas*, iliustracija L 137
Einšteinas apie Kūrėjo veiksnį 239–240
Maksvelas apie jį 162–163, 233
Niutonas apie jį 104–105, 141
Dar žr. Meistras
Kusch, Polykarp 395
kvadratai 55, 57
atvaizduoti pagal perspektyvos dėsnius 91–92, iliustracija H 92
Dar žr. Pitagoro teorema
kvantai 200, 432, 433, 406, 407
kvantinė chromodinamika (QCD) 289, 397, 432–433
išbalinimo taisyklė 301, 309, 358, iliustracija QQ 312
jos grožis 307–9, 311–313, 434
jos pagrindai 301, 315, 318
Dar žr. asimtotinė laisvė; spalvinis krūvis; spalvotieji gliuonai; hadronai; stiprioji sąveika
kvantinė elektrodinamika (QED) 308, 314–315, 321, 433

kvantinė inžinerija 45–46
kvantinė teorija (kvantinė mechanika) 222, 308–309, 432, 433
banginės funkcijos ir tikimybių debesys 182–183, 405–406
chronologija 393–396
kaip idėjų tinklas 223, 433–434
konfliktai su bendrąja reliatyvumo teorija 448
muzika, garsai kaip jos analogas 211, 226–229
nauji paribiai ir galimybės 230–231
pagrindiniai principai 94–96, 213, 22–223, 225–226, 408–409, 438
užuomazgos ir raida 211–212, 229, 393–396
Dar žr. kvantinė chromodinamika; kvantinė elektrodinamika; nuostoviosios būsenos
kvantinės fliuktuacijos 395, 431, 432, 436, iliustracija XX 362
ankstyvajame visatos raidos etape 385
pernormavimas 450
sąveikos intensyvumo nelygumai ir 364–366, 373–374
Dar žr. konkretūs laukų, skysčių tipai
kvantiniai laukai, skysčiai 325, 414, 433, 434, 450
Dar žr. konkretūs tipai
kvantiniai matmenys 320, 331–332, 442
kvantiniai šuoliai (kilpos) 221, 229–230, 436, 447
kvantiniai taškai 231, 436
kvantavimas 395, 432–433
Dar žr. diskretumas
kvarkai 60–67, 303, 396–397
jų aromatai 297, 309, 437–438
jų čiurkšlės kaip jų atvaizdai, iliustracija NN 302
jų savybės 297
jų triados 297, 311–314, iliustracija PP 310
kaip elementariosios dalelės 414, 446
kaip fermionai 368, 443
kaip hadronų komponentai 297–299, 422–423
kaip protonų komponentai 302–303
protonų ir neutronų virsmai ir 315–318
sąveikų ir esybių surašyme, iliustracijos RR, SS, 136,TT, UU 137
sunkieji kvarkai gliuonų susiliejimo procese 327–328
Dar žr. išlaikymas; fermionai; hadronai; būdingi kvarkų tipai
kvarkinis modelis 297, 303, 396, 437
kvarkų ir antkvarkų poros. *Žr.* mezonai
kvarkų mezonai. *Žr.* mezonai
kvarkų skystis 364

laikas
garsas kaip laikinė informacija 195–196
kaip matmuo 128–131
rega ir laikinė informacija 186–188, 195–196
Dar žr. pokytis; erdvėlaikis
laikinumo ir amžinybės papildomumas 389–390
laiko apgrąžos (T) simetrijos pažaida 399–400
laiko transliacijos simetrija 336–337, 345–450, 367, 418
mūsų tikėjimo ja pagrindimas 345–350
laisvės ir determinizmo papildomumas 389–390
laisvieji parametrai 411
laisvoji energija 466
Lamb, Willis 395
Landau, Lev 342, 396, 478
Langlet, Nils 121
laukai 20–21, 276, 437–438
jų banginės funkcijos 405–406
palyginti su skysčiais 149, 459
Dar žr. konkrečios laukų rūšys
laukai ir laukų teorija, vorai ir 154–155
lauko energija 339, 416–417
Lavoisier, Antoine 340
lazeriai 368, 408
Leverjė, Urbanas 377, 426
Leaves of Grass (Whitman) 386, 479–480
Lee, Tsung-Dao 319–320, 396, 439
Leibnicas, Gotfridas Vilgelmas fon 407–408
Leonardo da Vinči 97, 381, iliustracija ZZ 382
leptonai 367–369, 414, 438, 442, 445
sąveikų ir esybių surašyme 331–332, iliustracijos RR, SS, 316, TT, UU 317
Dar žr. fermionai
Li, Sofusas 355, 394, 465–466
Li grupės 355, 394, 466
Life of Samuel Johnson (Boswell) 345
lygčių simetrija 287–288, 367–368, 461–462
Maksvelo lygtys 143, 167–169
Dar žr. lokalioji simetrija; savaiminis simetrijos suardymas; supersimetrija

lyginumas ir lyginumo transformacijos 438–440
lyginumo pažaida 319–320, 396, 438–440
lygtys
atomai kaip jų įsikūnijimas 232
jose slypinti galia 163–165
Dar žr. lygčių simetrija
logika, kaip geometrija 42
lokalioji simetrija 274, 287–292, 440
anamorfinis menas kaip jos modelis 245–247, 286, 288 , iliustracija EE 248
bendrasis jos kovariantiškumas 249, 287–288, 289, 408
Galilėjaus, Yango ir Millso lygtys kaip jos įsikūnijimas 246–249, 352, 419
keturi jos potipiai ir atvaizdai 289–292
kvarkai ir 396
masyviosios dalelės ir 396
Pagrindų teorijos kaip jos įsikūnijimas 22, 330, 352–354, 433–434, 466
silpnoji sąveika kaip jos įsikūnijimas 320–321, 455
skysčiai kaip jos pagrindai 288–291, 466–477
Weylio kalibravimo simetrijos teorija 477–478
Lokjeras, Normanas 121
London, Fritz 396
London, Heinz 396
Lordas Reilis (Rayleigh, John William Strutt) 211
Lukrecijus 145

magnetiniai laukai ir skysčiai 151, 400, 440–442, 482
Ampero dėsnis 400–401
Faradėjaus dėsnis 152–153, 158–159, 400, 418
Gauso magnetinis dėsnis 158, 419–420, iliustracija N 156
Maksvelo modelis ir jo prasmė 151–153
Dar žr. Maksvelo lygtys
magnetizmas 440–441, 481–482
Faradėjaus jėgos linijos 147–150, 155–158
Maiani, Luciano 397
Maksvelas, Džeimsas Klerkas 17, 21, 199–204, 394
apie Kūrėją ir medžiagos stabilumą 233–234
apie spalvinę regą 21, 173–180, 394, iliustracija U, 178
ir Faradėjaus darbai 147, 150–153, 401
jo mirtis 162, 203–24
Maksvelo dėsnis 152–154, 162, 412, 413, 443, iliustracija N, 156
Maksvelo lygtys 21, 155–161, 245, 400–401, 442, 443, 459
Diraco kvantizuota jų versija 395
Herco patvirtinimas 161–165, 218, 394
jų grožis 143–144,
jų įtaka ir reikšmė 143–144, 161–166
jų pagrindimas Faradėjaus darbuose 150–153, 401
jų prognozės 377
jų simetrija 144, 165–167
jų vaizdinis pateikimas 144, 157–158, iliustracija N 156
kaip šviesos banginė teorija 119, 153, 121–23, 217–218, 413, 463–464, iliustracija W 184
kaip unifikacija 466–467
tolesnis jų tyrinėjimas 476–477
Weylio kalibravimo teorija ir 477–478
Dar žr. Faradėjaus dėsnis; Gauso dėsniai
Maksvelo modelis ir jo prognozės 151–154
Dar žr. Maksvelo lygtys
Maksvelo prieštaravimas 159–161, iliustracija O 160
Maksvelo narys 400–401, 443
Dar žr. Maksvelo dėsnis
Malley, Jim 217
mandalos 169, 238, iliustracija R 170
Marsden, Ernest 293, 295, 394–395
masė 246, 425, 440–442, 447–448
hadronų 314–315, 398
jos kilmė 315–317, 426–427, 440–442
jos tvermė 340–441, 415–418, 444–445
masė be masės 283, 315, 442
masės energija 415–418 , 441
masės neturinčios dalelės 191, 315, 442
masės srovės 426
masyviosios dalelės 322, 326, 396
sunkieji kvarkai ir kvarkų mezonai 327, 325, 397
Dar žr. Higgso dalelės; vikonai
mašinos 340–441
matematika 24, 135–39
Visi daiktai yra skaičiai 34, 40, 41, 46, 75, 386, 389, 401

Dar žr. būdingas matematikos sritis, terminus ir matematines priemones
matematiniai mazgai 377
matmenys (erdvėje) 276, 430–431, 442, 460
Dar žr. savybių erdvės; kvantiniai matmenys
matmenys (kaip matavimo priemonė) 442,
Mato efektas 59–61
medžiaga 23, 251, 282–285, 401–402, 446
medžiagos ir informacijos unifikacija 479
normali palyginti su juodąja 426–427, 440–442
šešios fundamentaliosios jos esybės 330, 354–355, 357, iliustracijos RR, SS 316, TT, UU 317
Dar žr. juodoji medžiaga; fermionai
medžiagos dalelės. *Žr.* fermionai; tam tikri jų tipai
medžiagos ir erdvėlaikio papildomumas 282–283, 285
medžiagos vienalytiškumas 240, 348–350
Meistras
apribojimai 239–240
jo atvaizdai 292, iliustracijos K 136, L 137
Platono demiurgas 19, 65–66, 83
Dar žr. Kūrėjas
Melancholija I (Diūreris) 53
mėlynasis poslinkis 118, 242, 243
menamasis vienetas 428–429
Mėnulis 235
Galilėjaus atlikti jo stebėjimai ir piešiniai 125–126
Dar žr. kinetinė energija; Niutono judėjimas ir mechanika; planetų judėjimas
Merton, Robert 59
metafizika 77, 79
metrika 286, 443–444
metriniai laukai ir skysčiai 249, 285–286, 288–289, 430–431, 443–444, 481
mezonai (kvarkų ir antikvarkų poros) 296, 297, 303, 422, iliustracija OO 306
jų masės 311–314
Dar žr. hadronai
mikrobanginė foninė spinduliuotė 444–445
mikrobangos, mikrobanginė spinduliuotė 384–485, 444–445, iliustracijos P 164, AAA 383
mikrokosmosas ir makrokosmosas, iliustracija AAA, 383
Mills, Robert 396
Yango ir Millso lygtys 289, 300, 322, 359, 424–425
Mysterium Cosmographicum (Kepler) 67–68, 100, 394
miuonai 332, 445
mokymasis 27–28, 51–53, 80–81
Mokytojo knyga 336
mokslinis metodas ir atradimai
grožis kaip atradimų paskata 17, 23
Nėter teorema kaip atradimų įrankis 341–343, 466
Dar žr. Analizė ir sintezė
Moljeras 275–276
Monet, Claude, *Šieno stirta (Saulėlydis)* 181, iliustracija V 182
multivisata 388, 427
musulmonų menas ir architektūra, iliustracijos HH 267, LL 290
mutatronai 360, 375, 445, 469–470
muzikinė harmonija 43–51, 423
jos fizika 47–48
jos suvokimas 48–51, 471–475
Pitagoro darbai 18, 43–46, 99
muzikos instrumentai
atomai kaip 209
garso atsiradimo fizika 212–215
harmonija ir 44–46
kvantiniai taškai kaip 231

Nambu, Yoichiro 396
nanovamzdeliai 261, 445, iliustracija FF 260
natūralieji skaičiai 428, 445
Neptūnas 377, 426
Nėter lankai 428
Nėter teorema 478–479
kaip atradimų įrankis 427–428, 429
pagrindai 341–343, 335–337, 395
Nėter, Emi 335, 343–344, 427–428
neutrinai 331–332, 396, 401–402, 438, 445, 483
neutronai 294–295, 296, 445, 461–462, 478
kaip sudėtiniai dariniai 315–318, 414, 422, 445
protonų ir neutronų virsmai 318–19
Dar žr. atomų branduoliai
Niutonas, Izaokas 17, 18–19, 98–110

analizė ir sintezė kaip Niutono strategija 17, 18–20, 98–80, 401
apie Saulės sistemos stabilumą 68–70, 99, 100, 134–135, 233
apie šviesą ir spalvas 111, 145–146
biografijos faktai, išsilavinimas ir ankstyvieji darbai 106–110
Bleiko paveikslas, iliustracija K, 136
darbai matematikos srityje 19, 78, 130–131, 452–453
darbas, įvertintas kaip redukcionistinis 135
hipotezių diapazonas ir Klausimynas 101–102, 105–106
mokslinio tikslumo pabrėžimas 98, 100–102
ryšiai su teologija ir etika 104–106
suprastėjusi sveikata ir vėlesnis gyvenimas 90–91
Dar žr. skaičiuotė; Niutono judėjimas ir. mechanika; Niutono optikos ir spalvų teorija
Newton, the Man (Keynes) 105
Niutono judėjimas ir mechanika 107, 126–135, 150, 376–377, 384, 393–394, 421, 467
analizuotas ir apibūdintas judėjimas 130–131, 245, 456
jo dinaminiai dėsniai 134–135, 140–141, 411, 415–418
jo energijos tvermės teorema 338
iškeltos abejonės ir klausimai 144–145, 245–246, 377, 456
Keplerio dėsniai ir 414–415
Niutono anagrama 132
Niutono kalnas 126–129, 130, 131
pagrindai 447, 440–441,
pagrįsti jo spėjimai 132–134, 146–147
Dar žr. tvermė, gravitacija, judėjimas,
Niutono optikos ir spalvų teorija 103–105, 107, 111–113, 243, 376–377, 394
nykstamieji dydžiai 20, 407, 453
judesio analizė juose 109–110
normali medžiaga 400–402, 446
Dar žr. medžiaga
Novoselov, Konstantin 259
nukleonai 446
nukleonų masių kilmė 314–315, 404
Dar žr. atomų branduoliai; neutronai; protonai
nulinės masės dalelės 320–321, 322–323, 327, 328, 329
nuliniai virpesiai 363–364, 425, 436
Dar žr. vikonai
nuoseklumas 446
nuostoviosios būsenos, 418, 418, 454, iliustracija CC 210
pagrindai 220–221, 227–230, 446–447
perėjimai tarp 221, 228–230, 237, 434, 446–447, 447, 454
Dar žr. orbitalės

objektyvas „žuvies akis“ 291, iliustracija LL 290
objekto ir asmens papildomumas 389–390
oktaedras 56, 64
Dar žr. Platono kūnai
Olos alegorija 19, 21, 74–75, 80–83, 171 (Platono *Respublika*), iliustracija F 76
On Faraday's Lines of Force (Maxwell) 150–151, 394
On Physical Lines of Force (Maxwell) 151, 155, 394
Opticks (Newton) 102, 117, 394
Dar žr. Niutono optika ir spalvų teorija
orbitalės 253, 446–447, 447
anglies junginiuose 254–263
Dar žr. nuostoviosios būsenos
orbitos 125–129, 447
Dar žr. planetų judėjimas
orfizmas 79
osciliacijos 447

pagreitis 407, 447–448, 456
pagrindinė būsena 236
Pagrindų teorijos
in ir *jang* papildomumas 283–287
jų grožis 22–23, 332–333, 352–353
jų trūkumai 23, 333–334, 352, 381, 399–400, 411, 426–427, 448
jų vaizdinė santrauka, iliustracijos RR, SS, 316, TT, UU, 317
kaip simetrijos įsikūnijimai 22–23, 330
mantros joms 285–87
sąveikų ir esybių surašymas 230–331, iliustracijos RR, SS 316
Dar žr. unifikacija; ypatingos sąveikos

paneigiamumas 366, 448–449
papildomumas 29, 119, 135–140, 226
in ir *jang* papildomumas 283–287, iliustracija A 284
kaip išmintis 386–387
kaip kvantinės teorijos esmė 94, 225–226, 433–435
pagrindai 94–96, 449
Dar žr. Realaus ir Idealaus dualumas, papildomumas
Parmenidas 77, 79, 141, 390
Paskutinė vakarienė (Dalí) 71, iliustracija E 248
paslėpta, nematoma, aukščiausia realybė kaip regimybės priešprieša 73, 80–83, 173
Dar žr. Olos alegorija
Pati, Jogesh 397
paukščiai 27–28
Pauli draudimo principas 169–172, 253–256, 368, 395, 408–409
Peccei ir Quinn simetrija 329, 397, 400
Peccei, Roberto 397
penkiakampiai 55, 56, 61, 71, iliustracija E 248
Penzias, Arno 444
periodai, periodiniai procesai 407, 450
Dar žr. dažniai
periodinė lentelė
cheminių elementų 117–119, 450
šviesos 117–119
pernormavimas ir pernormavimo grupės 450
perspektyva 450
meninė perspektyva 86–96, iliustracijos G 90, H 92
simetrija ir 93–95, 246–247, 287–288
Perudžino, *Kristus įteikia raktus Šv. Petrui*, iliustracija G 90
Pitagoras 18, 20, 31–34, 372, iliustracija B 36
muzikinės harmonijos tyrimai 18, 43–46, 99
pasaulėžiūra *Viskas yra skaičius* 34, 35, 42, 46, 75, 387
Pitagoro teorema 18 34–41, 450, iliustracija C 37
Plankas, Maksas 219, 394, 418
Planko ir Einšteino sąryšis 418, 432, 450–451, 458–459
Planko konstata 418, 450–451, 458–459
planetų judėjimas
Keplerio modelis 67–69, 99–100, 134, 377, 393
Koperniko teorija 125
orbitos kaip elipsės 69, 100, 125, 414–415
problemos, susijusios su juodąja medžiaga ir energija 426–427
senovinės teorijos 20–21, 84–85
Dar žr. dangaus mechanika; Keplerio dėsniai; Niutono judėjimas ir mechanika
Platonas 18–19, 20, 74–75, 171–173
Olos alegorija 19, 21, 74–75, 80–83, 171–173, iliustracija F 76
Timajas 63, 65–66, 99, 393
Platono idealai 78–79, 82–83, 84–85
Platono kūnai 18, 21, 53–71, 393, 474
Euklido *Elementai* 62
kaip Keplerio Saulės sistemos modelio pagrindas 67–71, 99–100, 134, 393
penki kūnai 56
prognozės ir biologiniai įsikūnijimai 59–61, iliustracija D
vertinami kaip visatos konstrukciniai elementai 63–67
Dar žr. būdingi kūnai
Platono paviršiai (Platono sūnūs palaidūnai) 56–57, 451
pokytis 77–78, 389–390
Dar žr. dinaminiai dėsniai ir lygtys; judėjimas
Pokytis be pokyčio, simetrija kaip 93–94, 167–168, 207, 389–390, 453
Polyakov, Alexander 398
poliarizacija
šviesos 116–117, 187–189, 451–452, 474
vakuumo 436–437
Politzer, David 309, 397
Popper, Karl 366, 449
poslinkis (transliacija) 451
Dar žr. erdviniai poslinkiai (transliacijos); laiko poslinkio (transliacijos) simetrija
potencinė energija 338, 415–418
pozitronai 401–2, 412, 414, 431–432, 451
elektronų ir pozitronų susidūrimai 304, iliustracija NN 302
pradinės sąlygos 140–142, 451, 479
ir Saulės sistemos savybės 234–235
prieštaringumas 451
Principia (Newton) 62, 133–134, 140–141, 145–146, 393–394, 449

judėjimo analizė 130–131
Niutono kalnas 123–129, 130–132
projekcijos 430–431, 451–452
projekcinė geometrija 19, 86–93, 288–289, 393, 407, 451–452
meninė perspektyva 86–96, iliustracijos G 90, H 92
reliatyvumas ir 93–94
žmonių vaizdinis suvokimas ir 26–27
Protas ir Medžiaga 25–29, 64–65, 479
protonai 295–296, 311–313, 397, 405, 452
atominis skaičius ir 405
ir Higgso dalelė 325
protono ir neutrono virsmai 315–319
jų savybės 303–303, 422, 440–442, 452, 461–462, iliustracijos PP 310, QQ 312
jų sudėtinės dalys ir sandara 303–303, 315–319, 414, 422
Dar žr. atomo branduoliai
Ptolemėjas 20, 67
pusiau kiekybinis modelis 428–429

QCD. Žr. kvantinė chromodinamika
QED. Žr. kvantinė elektrodinamika
Quinn, Helen 397
Peccei ir Quinn simetrija 329, 397, 400

Raby, Stuart 372–373, 397
radijo bangos ir technologija 162, 163–165, 377, 413, 463–464, iliustracija P 164
radioaktyvumas. *Žr.* skilimas
Rafaelis, *Atėnų mokykla*, iliustracija B 36
raizgytumas 406–407
Ramsay, William 121
Raselas, Bertranas 33, 77, 230, 346, 348
Raskinas, Džonas 113
raudonasis poslinkis 119, 242–243
Realaus ir Idealaus dvilypumas, papildomumas 82–83, 99–101, 251–252, 450, 469
Aristotelio dėmesys Realumui 85–86, 98, grynieji tonai kaip to išraiška 465
Keplerio darbai ir 99–100, 414–415
lygčių simetrija kaip 168–169
matematikai ir 135–140
Nėter teorema kaip to išraiška 335, 341
Niutono darbai ir 133–134
Platono Idealai 78–79, 82–83, 84–85
Dar žr. unifikacijos; paslėpta; nematoma, aukščiausia realybė kaip regimybių priešprieša
realieji matmenys 429
realieji skaičiai 401, 430, 452–453, 463
redukcionizmas 134, 401
redukuotoji Planko konstanta 418
rega ir regimasis suvokimas 25–28, 176, 185–186, 189, 419
nematoma arba ignoruojama regimoji informacija 186–188, 196
Niutono eksperimentai su savo akimi 107–109
rega kaip erdvės pojūtis 186–187, 195–196
Dar žr. spalvų suvokimas; šviesa; perspektyva
regimoji visata 469–470
Reines, Frederick 396
reliatyvizmas ir reliatyvistinė mechanika 93, 94–96, 403, 425, 448, 453
Dar žr. bendroji reliatyvumo teorija; specialioji reliatyvumo teorija
rentgeno spinduliuotė 165, 413, 463, iliustracija P 163
Republic (Platonas), Olos alegorija, 19, 21, 74–75, 80–83, 171, iliustracija F 76
Rezerfordas, Ernestas 293–294, 394, 400
rezonanso (savasis) dažnis 211–216, 444–455
Riemann, Bernhard 443
Rigid Body (Maxwell) 202–203
Rubbia, Carlo 397

s (keistieji) kvarkai 332, iliustracijos TT, UU 317
Salam, Abdus 320, 322, 396, 397
sąmojis apie sferinę karvę vakuume 213
sąmonė 479
Dar žr. Protas ir Medžiaga
sąskambiai (akordai) 49, 195, 215–16
Dar žr. muzikinė harmonija
saulių sistemos
jų įvairovė 233–235, 236
mūsų Saulės sistemos Keplerio modelis 67–68, 99–100, 134, 377, 393
Dar žr. planetų judėjimas
savaiminė simetrijos pažaida 321 ,370–372, 396, 397, 447, 461
pritaikymas supersimetrijai 371–376
sąveikos dalelės. *Žr.* bozonai; specifinės jėgos rūšys
sąveikos
intensyvumo skirtumai tarp jų 327, 361–365, 372–373, 396–397
Dar žr. elektromagnetizmas; gravitacija; stiprioji sąveika; silpnoji sąveika; jėgos; specifinės jų rūšys
sąveikos dalelės 455
Dar žr. bozonai, specifinės jėgų rūšys
savybių erdvės 275, 330, 352, 367–68
dalelių elgesys kaip vietos jose funkcijos
jų geometrija282–283, 287, 330–331, iliustracijos RR, SS 316, TT, UU 317
kvarkų padėtys, užkoduotos kaip spalva 303
pagrindai 275–280, 293–294, 319–320, 455
simetrijos ir simetrijų grupės 330, 355, 373, 465–466
Dar žr. konkretūs tipai
savieji (rezonanso) dažniai 212–216, 444–445
Schrieffer, J. R. 396, 461
Schwinger, Julian 395
selektronai 371
sensorinis suvokimas 25–29
regos ir klausos palyginimas 195–196
žinduolių ir vabzdžių 26–28, 154–155, 189, 193–195, iliustracijos X 190, Y 191, Z 194
Dar žr. girdimasis suvokimas; spalvų suvokimas; rega ir regimasis suvokimas
Sferų muzika 46, 67
silpnasis skystis 287
silpnieji spalvų krūviai 282–283, 286, 361–363, 458, 461–462
Dar žr. vikonai
silpnieji spalvų virsmai 462
silpnoji sąveika 272, 274–275, 318–330, 361–363
hiperkrūvis ir 423, 480–482
kaip lokaliosios simetrijos įsikūnijimas 319–320, 354, 424–425
kaip savaiminės simetrijos pažaidos įsikūnijimas 322
pagrindai 282–283, 315–319, 394, 455
protonų ir neutronų virsmai 318–319
šališkumo ir lyginumo pažaida 319–320, 331
Dar žr. Higgso laukai, skysčiai; Higgso dalelės
silpnoji savybių erdvė 282–283, 291, 319–220, 330–331, 454, iliustracija KK 279
silpnojo išbalinimo taisyklė 358
silpnosios elektrinės sąveikos teorija 396
simetrija (simetrijos) 24–25, 29, 66–67, 205–206
antisimetrija 402
jos padiktuota struktūra 65–66
kaip pamatinis principas 205–206, 242, 408
kaip pokytis be pokyčio 94–95, 167, 206–207, 390
kalibravimo dalelės kaip jos įsikūnijimas 354–355
pagrindai 94–95, 402, 456
perspektyva ir 94–95, 246–247, 288
reliatyvumas kaip 408
tvermės dėsniai kaip jos produktai 335, 337, 341–342
Dar žr. tam tikros simetrijos formos
simetrijos pažaida 321, 327, 328, 370
Dar žr. savaiminė simetrijos pažaida
simetrijos transformacijos 421, 456
simetrijų grupės 321, 421, 456
Li grupės 355, 456
sintezė 19, 132–133, 220,
Dar žr. Analizė ir sintezė
sinusiniai bangų spektrai 465, 480
System of the World, The (Newton) 133
skaičiai. *Žr.* matematika; būdingi skaičių tipai
skaičiuotė 130, 456
skatmeniniai dydžiai 385–386, 401, 432, 457
skersinės bangos 456–457
skilimas 293–4, 296, 318–19
silpnieji skilimai 395
šakojimosi santykis 326
skysčiai
jų fliuktuacijų įvertinimas 363–366, 289, 475–478
kaip ypač svarbūs lokaliajai simetrijai 288–289, 477
palyginti su laukais 149
Dar žr. terpės; konkrečios skysčių rūšys
slėgis 457–8
SO(10) (Georgi ir Glashow) unifikacijos schema 355–366, 397, iliustracijos VV, WW 356

Sokratas 74
Dar žr. Olos alegorija
spalva (pigmentų) 175, 180
spalva (šviesos) 463–464, 418
anachromija 268
kaip begaliniai matmenys 187, 199
poliarizacija ir 188–189, 451, 457–458
Dar žr. spalvos suvokimas; regimoji spalva; spektro spalvos
spalvos (kvantinėje chromodinamikoje) 280
spalvoti sukučiai 176–177, iliustracija U 178
spalvotieji gliuonai 360, 377, 397–398, 420
čiurkšlės kaip jų atvaizdai 290–291, 304, iliustracija NN 302
jų elgesys 292–293, 301, 307–308, 368, 289, 291–292, iliustracija OO 306
kaip bemasės dalelės 321, 327
kaip sąveikos dalelės 368
kaip kalibravimo dalelės 427
kaip lokaliosios simetrijos atvaizdai 290–291
spalvotoji fotografija 176, 180–181
spalvotosios dėžutės 180
spalvų krūviai 282–283, 287, 307, 361–363, 455, 456, 476
pagrindai 300–303, 463–464
spalvų savybių erdvės 276–280, 293–294, 331–332, 464, 476, iliustracijos II, JJ 278, KK 279, RR, SS, 316, TT, UU 317
spalvų srovės 460
spalvų suvokimas 50, 115, 173–203, 463
bangų ilgiai, matomi žmonėms 185–186, 407
gyvūnų 189, 192–195, iliustracijos X 190, Y 191
ignoruojama arba nevienareikšmiška spalvinė informacija 186–187
judėjimas ir spektriniai spalvų poslinkiai 118, 242–243
Maksvelo susiję darbai 21, 173, 175–180, iliustracija U 178
mūsų spalvinio suvokimo išplėtimas 180–181, 197–198, 243, 230–231, 243–244, iliustracijos, AA 200, BB 201
pigmentinės spalvos 175, 180–181
rega 176–177, 188–195, 197, 476
reliatyvumas ir 118–119, 242–243, iliustracija D 244
spalva kaip laikinė informacija 186–187, 243
spalva kaip medžiagos atvaizdas 195–196
spalvų receptoriai ir spalvinės regos atmainos, iliustracijos U 178, X 190, Y 191
spektro ir ne spektro spalvos, suvokiamos kaip tapačios 173–175
stebėtojų judėjimas ir 242–243
vaizdai palyginti su spalvomis 185
Dar žr. regimosios spalvos; spektro spalvos
specialioji reliatyvumo teorija 246–247, 290–291, 308, 395, 413, 415–418, 427
kaip unifikacija 467
pagrindai 240–242, 394, 404–408, 436, 458–459
simetrijos ir 223, 241–242, 290–291, 394, 408
spalvinis suvokimas 242–243
spektrai 221–222, 404–405 , 415–418, 454–455, 458
spektro linijos 120–121, 222, 243, 348–349, 458–459
spektro spalvos 113–117, 463–464, 465, 457, iliustracija J 114
ir fotoelektrinis efektas 218
jų bangų ilgiai, iliustracija P 164, 405
jų deriniai 173–177, iliustracija T 174
judėjimas ir spektro spalvų poslinkiai 118–119, 242–223
Niutonas apie jas 111
Planko ir Einšteino sąryšis 418, 450–451, 458
poliarizacija ir 116–117, 187–189, 405–406, 451–452, 465
spektro linijos 120–121, 222, 242–243, 418
Dar žr. spalvų suvokimas; spektrai
spinduliuotės 61
spinoriai 355, 459
Spinoza, Benediktas de 344
srautas 158, 161, 400, 459
srautų vamzdeliai ir paskirstymas 306, iliustracijos OO 306, PP 310, QQ 312
srovė 460
Dar žr. ašinės srovės, elektros srovė
stabilumas
atomai kaip stabilūs dariniai 219–223, 232–233, 236–237, 446–447, 460
kaip dinaminių dėsnių ir lygčių rezultatas 211, 232–233, 234–236
Dar žr. pokytis
Standartinis modelis 21–22, 273

Dar žr. Pagrindų teorijos
Stanford Encyclopedia of Philosophy, The 32, 33
Stanfordo tiesinis greitintuvas 304
stebėjimas kaip aktyvus ir interaktyvus procesas 94–96
stygų teorija 375–376
stiprieji spalvų krūviai 282–283, 286–287, 458
Dar žr. spalvotieji gliuonai;
stiprioji išbalinimo taisyklė 358
stiprioji sąveika 272, 274, 294–315, 352, 361
atomų branduolių atradimas ir su juo susiję klausimai 294–297, 477
kvantinė chromodinamika kaip teorija 302–303, 310–313
pagrindai 280–1, 282–283, 447
Dar žr. asimptotinė laisvė; branduolinės jėgos; kvantinė chromodinamika
stiprioji savybių erdvė 282–285, 291–292, 331–332, iliustracija KK 279
stiprios lygtys 163–167
stiprios teorijos 448–449
stipris (šviesos) 424
stiprusis skystis 286–287
stovinčiosios bangos 211–216, 460
SU(2) kalibravimo simetrija 292–293
SU(3) kalibravimo simetrija 292–293
subatominės dalelės
Platono teorijoje 66–67
Dar žr. atomų branduoliai; tam tikrų tipų dalelės
sudėtiniai matmenys 429, 430
sugertis 461
sukimo simetrija 94–96, 167–168, 341–342, 454
sukinys 401–402, 451, 461–462
superlaidumas ir superlaidininkai 322–323, 396, 461
supersimetrija (SUSY) 377, 436, 467
numatytosios dalelės 370, 371–372, 375–376, 426–427, 446
pagrindai 365–367, 367–368, 369, 396, 397, 462
potencialas ir iššūkiai 370–376, 462, 467
suprastinimas ir gausa 387
suvokiamas judėjimas 340
suvokiamos spalvos 443–444, 463
kaip trijų pagrindinių spalvų sintezė 177–180, 187, 199, 446, 455, iliustracija T 174
reliatyvumas ir 118–119, 242–243, iliustracija DD 244
Dar žr. spalvų suvokimas
suvokimas
regimybės palyginti su paslėpta, nematoma, aukščiausia realybe 73, 79–81, 171–173
Dar žr. girdimasis suvokimas; Olos alegorija; spalvų suvokimas; rega ir regimasis suvokimas
sveikieji skaičiai 40–2
svirties veikimas 308–9

šakojimosi koeficientas 326, 462
šališkumas 319, 331–332, 439–440
Dar žr. lyginumas ir lyginumo transformacijos
šeimos savybių erdvė 480–481, iliustracijos RR, SS 136, TT, UU 137
šeimų virsmai 462
Šekspyras, Viljamas 336
šešėliai 165, iliustracija Q 166
Platono Olos alegorijoje 19, 21, 74–75, 80–83, 171, iliustracija F 76
šešiakampiai 55, 57, 152, 167, 261
Šieno stirta (saulėlydis) (Monet) 181, iliustracija V 182
šiluma kaip energijos praradimo produktas 340
Šriodingeris, Ervinas 443–444
Šriodingerio lygtys 228–229, 230, 404–405, 412, 450
kaip muziką apibūdinančių lygčių analogas 185, 186, 225–226
pagrindai 225–226, 395, 455–456
Dar žr. banginės funkcijos
šunys 27, iliustracija X 190
šviesa 27, 384–385
fotoelektrinis efektas 217, 219–220
jos chemija 117–119
jos dalelių teorijos 117–118, 119, 145, 218, 418
jos emisija, generavimas 228–230, 231, 236–237, 446–447
jos greitis 103, 153, 241, 424
jos išlinkis 102–103
jos poliarizacija 116–117, 187–189, 405–406, 451–452, 465
jos stipris (intensyvumas) 464
kaip elektromagnetinės bangos 119, 153,

181–185, 217, 413, 463–464, 466, iliustracijos P 164, W 184
kaip erdvinės informacijos koderis 196
Maksvelo lygtys ir 119, 153–154, 182–184, 217, 241, iliustracija W 184
Niutono darbai 113–117, 119, 145–146, 243, 393–394
Dar žr. spalva; spalvos suvokimas; fotonai; rega ir regimasis suvokimas; ypatingos šviesos rūšys
šviesos spalva 415–418, 463–464
anachromija 268
begalinis matmenų kiekis 186–187, 199
poliarizacija ir 94, 116–117, 187–188
Dar žr. spalvos suvokimas; regimoji spalva; spektro spalvos
šviesos kvantai. Žr. fotonai
šviesos stipris (intensyvumas) 424

T (laiko apgrąžos) simetrijos pažaida 399–400
t (viršūniniai) kvarkai 325–326, 327–328, 329, 332, 434
Taidzi, iliustracija A 284
Taylor, Richard 303, 397
taisyklingieji daugiakampiai 55, 451
Dar žr. tam tikrų tipų daugiakampiai
Tait, Peter 377
taškai begalybėje 87–89, 408
tau dalelės 320, 332, 455
Taussky, Olga 344
Teatetas (Platonas) 60, 393
Dar žr. Platono kūnai
teleskopai 119–20
televizija 180
terpės 147–148, 464
Faradėjaus jėgos linijos kaip jų įrodymas
Dar žr. skysčiai; tuštuma; būdingi skysčių tipai
tetrachromatija 189–195, 476
tetraedrai 56
tetraedrinė deimanto sandara 40, 56
Dar žr. Platono kūnai
The Chronology of Ancient Kingdoms Amended (Newton) 105
The Marriage of Heaven and Hell (Blake) 171–173, iliustracija S 172
The Theory of Sound, (Rayleigh) 211
θ parameteras kaip problema 329, 397, 411
Thomson J. J. 218, 413
tikimybės 225, 226
tikimybių debesys 211, 224, 413
elektronų debesys 216, 405–406
bangų funkciniai virpesiai ir 226–227
Timajas (Platonas) 63, 65–66, 393
tolydžioji simetrija 465
tolydžiosios transformacijų grupės 465–466
Tomas Netikintysis 379, iliustracija YY 378
Dar žr. Platono kūnai
Tomonaga, Sin-Itiro 395
tonai 215–216, 463–464,
grynieji tonai 212, 407, 445, 463–464, 480, 484
Dar žr. muzikinė harmonija
trajektorijos 128–130
tranformacijų grupės. *Žr.* simetrijų grupės
transformacijos 456, 465–466
Dar žr. simetrija (simetrijos); tam tikri simetrijos tipai
trikampiai 55, 56, 57, 66, 167
trintis 27–28, 231, 234–235, 338, 339–340
trochoidės 474
tuščia erdvė 363–364, 431–432, 423, iliustracija XX 362
Dar žr. skysčiai; terpė; tuštuma
tuštuma 143, 145–146, 161–163, 467, 469
tvarūs dydžiai 335, 428, 458, 466
energija 221, 245–246, 337–341, 342, 348,
judesio kiekio momentas 341, 348–349, 425, 466,
kinetinis momentas 123, 241, 401, 404–5, 415–418, 418, 440, 466
masė 340, 341, 415–418, 428, tvermės dėsniai 411, 427, 466,
kaip simetrijų rezultatas 335, 337, 341–342, 348–349, 425, 428, 466

u (kylantieji) kvarkai 330–332, 442, 461, iliustracijos RR, SS 316, TT, UU 317
U(1) kalibravimo simetrija 290–291
ultravioletinė spinduliuotė 163–165, 192–195, 218–219, 413, 464, iliustracijos P 164, Y 191
unifikacijos 272, 308, 467, 477–478
jėgų 297–300, 308–309, 355–365, 372–373, 436, 477–478
jėgos su medžiaga 373–375, 467, 477–478
Maksvelo darbas kaip 21, 153
SO(10) Georgi ir Glashow unifikacijos schema, iliustracijos VV, WW, 356–357, 397, 483
Uranas 377,427

vabzdžių rega 192
vaizdai 185–186, 197
vakuumas 470
Dar žr. tuštuma
vakuumo poliarizacija 435–436, 469
vandenilio atomai 221, 223, 295, 451, iliustracija CC 210
banginės funkcijos 225–229
Boro nuostoviosios būsenos modelyje 220–221, 455–456
tikimybių debesys 331
veikimas 486–487
veikimas per atstumą 144–146, 150, 162, 417–418, 468
vėjai 148–149
vektoriai ir vektoriniai dydžiai 425, 438–440, 469,
vektoriniai laukai 409, 459, 469
vektorių kvantavimas 195
Veltman, Martinus 321, 397
vėjai 148–149
vėžiai maldininkai (burnakojai) 192–193, iliustracijos Y 191, Z 194
vienas pasaulis ir daugio pasaulių papildomumas 387–389
vienodumas per kosmosą. *Žr.* erdvinės transliacijos simetrija
vienodumas per laiką. *Žr.* laiko transliacijos simetrija
vietinio mastelio simetrija 477
vikonai 397, 455, 458, 469
jų savybės 321, 360–361, 423
kaip elementariosios dalelės 414
kaip kalibravimo dalelės 427
kaip sąveikų dalelės 408–409
kaip simetrijos atvaizdai 290–292, 321, 455
Dar žr. W dalelės; Z dalelės
viršūniniai (t) kvarkai 325–326, 327–328, 329, 332, 403
virtualiosios dalelės 363, 435–436, 447
Dar žr. kvantinės fliuktuacijos
virusai 61, 66–67, iliustracija D 58
visata 469–470
jos kilmė ir ankstyvoji raida 308, 431–432, 444–445, 481
Platono ir Aristotelio teorijoje 18–19, 63–65, 351
jos platumas 387–389
jos plėtimasis 237, 242, 385, 420–421, 440–442, 469
vieno pasaulio ir daugio pasaulių papildomumas 387–389
Visi daiktai yra skaičiai 34, 40, 41, 46, 75, 386, 389, 401
visuotinė gravitacija. *Žr.* Niutono judėjimas ir mechanika
Vitgeinšteinas, Liudvikas 71
Vitmanas, Voltas 386, 479–480
Vitruvijaus žmogus (Leonardo) 321, iliustracija ZZ 382
vorai ir voratinkliai 154

W dalelės 321, 323, 324–325, 377, 397, 470
Dar žr. vikonai
Wayl, Hermann 205, 289, 343, 395, 475
kalibravimo teorija 477
Ward, John 320, 322, 396
Weinberg, Stiven 205, 321, 329, 396, 397
Wess, Julius 367, 397
Wheeler, John 280–2, 408
Whitehead, Alfred North 73–74
Wigner, Eugene 395
Wilczek, Frank 326–331, 397
Wilson, Kenneth 398
Wilson, Robert 444
Wolfram, Stephen 41

Z dalelės 321, 323, 324–325, 377, 397, 470
Zee, Anthony 481
Zenono paradoksai 77–78, 130–131, 401
Zumino, Bruno 367, 397
Zweig, George 367, 434
žavieji (c) kvarkai 327, 332, 377, 397, 403–404, 470
žmogaus kūnas kaip kosmoso atspindys 381, 384

Frank Wilczek

VISATOS GROŽIS

MĖGINIMAS SUVOKTI PASAULIO PRIGIMTĮ

Projekto vadovė *Vaiva Švagždienė*
Redagavo ir korektūrą atliko *Regina Dobelienė*
Maketavo *Laimis Kosevičius*
Viršelį adaptavo *Laimis Kosevičius*

Išleido
Leidykla „Eugrimas“, Žalgirio g. 88, LT-09303 Vilnius
Tel./faks. (8 5) 273 3955. el. p. info@eugrimas.lt, www.eugrimas.lt

Spausdino
AB „SPAUDA“, Laisvės pr. 60, LT-05120, Vilnius