



**MOKSLAS
VISIEMS**

ŠIUOLAIKINĖ
FIZIKA
SMALSIEMS

ROMUALDAS KARAZIJA

VILNIUS | 2021

Knygų serija „Mokslas visiems“ yra leidžiama įgyvendinant Lietuvos mokslų akademijos kartu su partneriais vykdomą projektą „Nacionalinės mokslo populiarinimo priemonių sistemos sukūrimas ir įgyvendinimas“, kuris yra finansuojamas Europos socialinio fondo lėšomis.

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 kūrinių, esančių 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.

Leidinio bibliografinė informacija pateikiama Lietuvos nacionalinės Martyno Mažvydo bibliotekos Nacionalinės bibliografijos duomenų banke (NBDB).

ISSN 2351-5368

ISBN 978-609-462-169-7

© Lietuvos mokslų akademija, 2021

Turinys

KUO ĮDOMI ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA 11

I. ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS PRADŽIA

Fizika XIX a. pabaigoje 13 | Keistoji medžiaga eteris 14 | Kūnų spinduliuotės mįslės 15 | Katodinių spindulių tyrimai ir pirmieji šiuolaikinės fizikos atradimai 15 | Kvantų atradimas 17

Röntgeno spindulių atradimas 18

Radioaktyvumas 22

Röntgeno spindulių prigimtis ir kristalų struktūra 24

Nobelio premija 26

Ekspementatoriai ir teoretikai 29

II. SPECIALIOSIOS RELIATYVUMO TEORIJOS PARADOKSAI

Specialiosios reliatyvumo teorijos principai 31 | Laiko reliatyvumas 33 | Ilgio reliatyvumas 34 | Ryšys tarp erdvės ir laiko. Keturmatė erdvė 34 | Masės reliatyvumas 36 | Masės ir energijos ryšys 36 | Specialiosios reliatyvumo teorijos eksperimentinis patikrinimas 37

Albertas Einšteinas – asmenybė ir mokslininkas 38

Einšteino pirmtakai 40

Dvynių paradoksas 41

Ar gali kas nors judėti greičiau už šviesą? 43
Pažintinė reliatyvumo teorijos reikšmė 43
Fizikos atradimai ir sveikas protas 45

III. KEISTOS MIKRODALELIŲ ELGSENOS TAISYKLĖS

Atomo modeliai 47 | Dalelės banga ir jos fizikinė prasmė 51 | Neapibrėžtumo principas ir neapibrėžtumų sąryšis 52 | Elektronų tapatumas ir Paulio principas 55
Nielsas Bohras ir „fizikų darželis“ 55
Bangos-dalelės dvejojumas 58
Tunelinis reiškinys 60
Papildomumo principas 61
Ar mikropasaulyje galioja priežastingumas? 62
Atomo fizika 63
A. Jucys ir jo mokslinė mokykla 65
Kvantinis kompiuteris 67
Kvantinė teleportacija 68

IV. ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

Atomo branduolio sandara ir branduolinės reakcijos 70 | Radioaktyviojo skilimo dėsnis 72 | Stiprioji ir silpnoji sąveikos 75 | Masės defektas 76 | Branduolių stabilumas. Dalijimosi ir sintezės reakcijos 77
Atominės ir vandenilinės bombų istorija 80
Ar buvo galima išvengti „atominio grybo“? 83
Nuo urano katilo iki Ignalinos atominės elektrinės 85
Černobylio avarija ir jos pėdsakai Lietuvoje 88
Jonizuojančioji spinduliuotė ir gyvybė 92
Valdomoji termobranduolinė sintezė 95
Radinių amžiaus nustatymas radioaktyviosios anglies metodu 99
Moterys ir fizika 100

V. ELEMENTARIOSIOS DALELĖS IR FUNDAMENTINĖS SĄVEIKOS

Elektronas, protonas, neutronas ir... neutrinas 104 | Pozitrono
atradimas. Dalelės ir antidalelės 104 | Elementariųjų
dalelių virsmas 107 | Elementariųjų dalelių zoologijos
sodas 107 | Fundamentaliosios dalelės ir jų kartos 110
Didžiausi fizikos prietaisai 113
Neutrinių mįslės 116
Dalelėse įkalinti kvarkai 119
Keturi fundamentinės sąveikos ir jų suvienijimas 120

VI. VAISINGIAUSIA FIZIKOS SRITIS

Kietasis kūnas – daugelio sąveikaujančių atomų sistema 124 |
Stebinanti anglies įvairovė 124 | Defektai kristaluose 125 | Laidumas
ir superlaidumas 127 | Puslaidininkų ypatumai 128 |
pn (skylinė elektroninė) sandūra 129 | Integrinis grandynas ir
mikroelektronika 131 | Puslaidininkiniai detektoriai 132
Superlaidumas 133
Aukštatemperatūrio superlaidumo atradimas 136
Tranzistorius – svarbiausias svarbiausias
mikroelektronikos prietaisų elementas 138
Saulės elementai 140
Šviesą skleidžiantys diodai 142
Integrinis grandynas – XX a. stebuklas 143
Šiuolaikinės eksperimentinės fizikos Lietuvoje pradininkas 145

VII. ŠIUOLAIKINĖ OPTIKA

Kvantinė ir netiesinė optika 148 | Kaip veikia
lazeris? 149 | Lazerių tipai 153 | Lazerių profesijos 154
Röntgeno spindulių lazeris 155
Kosminis mazeris 156

Holografija 159

Šviesos ir spalvų šou 160

Lazerinių tyrimų centras Vilniaus universitete 162

VIII. BENDROJI RELIATYVUMO TEORIJA IR KOSMOLOGIJA

Reliatyvumo teorijos sukūrimas 164 | Bendrosios reliatyvumo teorijos idėjos 165 | Visatos modeliai 167 | Didysis sproginimas ir Visatos raida 168

Kreiva erdvė 171

Pirmosios dvidešimt minučių 173

Ryšys tarp mikropasaulio ir megapasaulio 175

Tamsioji medžiaga ir tamsioji energija 177

Antropinis principas 178

Etnokosmologija 179

IX. VISATOS MAKROSTRUKTŪRA IR JOS SUSIDARYMAS

Galaktikų grupės, spiečiai ir superspiečiai 183 | Visatos makrostruktūros formavimasis 185 | Galaktikų įvairovė 187 | Galaktikų susidarymas 196

Įvairių bangų astronomija 199

Kvazarų atradimas ir tyrimai 203

Kas yra mūsų Galaktikos centre? 204

Galaktikos tyrimai Lietuvoje 205

X. ŽVAIGŽDŽIŲ RAIDA

Žvaigždžių susidarymas ir jose vykstančios branduolinės reakcijos 207 | Saulės masės žvaigždės raida 210 | Audringa ir keista masyvių žvaigždžių raida 212 | Planetų susidarymas 216

Pulsarai – greitai besisukančios neutroninės žvaigždės 218

Juodųjų skylių paslaptys 221

Saulės planetos ir planetėlės 224

Kitų žvaigždžių planetos 226

XI. ŽEMĖS IR KOSMOSO RYŠIAI

- Saulės aktyvumas ir Žemės ritmai 229 | Kometų, asteroidų
ir meteoritų pavojai 234 | Kosminiai spinduliai 237
Saulės aktyvumo ciklai, ligų epidemijos ir Azijos klajoklių antpuoliai 238
Dangaus akmenys 240
Asteroidų grėsmė ir apsauga nuo jų 243
Ozono sluoksnis ir skylės jame 247
Astrologija – tamsusis astronomijos šešėlis 248

XII. MOKSLAS IR NEŽINOMYBĖ

- Fizikos atradimai, tyrimai ir jų taikymas 252 | Mokslas, *dar ne mokslas* ir
pseudomokslas 253 | Ar baigsis fizikoje didžiųjų atradimų laikotarpis 255
Fizika, filosofija ir religija 256
Šaltoji branduolių sintezė – neįvykęs atradimas 257
Kamuolinis žaibas 259
Kosminės civilizacijos 262
Neatpažinti skraidantys objektai 267
Telepatija ir telekinezė fiziko akimis 270

XIII. ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS RAIDA IR REIKŠMĖ

- Šiuolaikinės fizikos raida 274
Šiuolaikinė fizika ir civilizacijos pažanga 277
PASITIKRINKITE SAVO ŽINIAS 284
ASMENVARDŽIŲ RODYKLĖ 293
DALYKINĖ RODYKLĖ 298
PAVEIKSLĖLIŲ ŠALTINIAI 306
PADĖKOS 313
SVARBIAUSIOS ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS DATOS 314

KUO ĮDOMI ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA

Šiuolaikinė fizika įdomi tuo, kad ji atskleidžia naujus, mūsų pojūčiams neprieinamus pasaulius – labai mažų ir labai didelių atstumų, didelių greičių, labai žemų ir aukštų temperatūrų; jie stebina netikėtais reiškiniais ir keistomis savybėmis, gamtos įvairove, pranokstančia net fantastų išmones. Mikrodalelės, pasižyminčios ir banginėmis, ir dalelinėmis savybėmis, galinčios sukurti daug masyvesnes už save daleles, įvykiai, kurių seka priklauso nuo stebėtojo greičio, kosmose vykstantys stulbinamo masto ir galios reiškiniai, – šie ir kiti šiuolaikinės fizikos atradimai ne tik papildo, bet iš esmės keičia mus supančio pasaulio sampratą.

Fizikai, naudodamiesi sudėtingais (netgi kilometrų dydžio) įrenginiais ir galingais matematiniais metodais, prasiskverbė prie pačių bendriausių gamtos paslapčių – laiko, erdvės, pirminių dalelių, Visatos atsiradimo bei jos raidos ir kitų klausimų, kurie anksčiau buvo priskiriami filosofijos ar net religijos sričiai. Tiesa, neretai dar tik ieškoma griežtų ir išsamių atsakymų, bet tie ieškojimai ne mažiau įdomūs negu atradimai. Knygoje pateikiamas mokslo požiūris netgi į kai kurias diskusines problemas ar pseudoproblemas, kaip antai neatpažinti skraidantys objektai, telekinezė, kosmoso įtaka procesams Žemėje ir kt.

Remiantis šiuolaikinės fizikos dėsniais, kad ir kokie jie atrodo keisti, buvo sukurta įvairių labai naudingų prietaisų bei įrenginių. Branduolinis reaktorius ir kompiuteris, kompaktinis diskas ir mobilusis telefonas, nauji medicinos prietaisai ir robotai – viso to nebūtų be fizikos atradimų. Deja, kai kurie jos atradimai, kaip antai branduolinė energija, galingi lazeriai, naujos ryšio priemonės, jeigu naudojami neatsakingai, gali kelti ir pavojų; tai irgi vertėtų žinoti.

I skyrius

Fizikos raida nerodo tendencijos lėtėti ir šiame amžiuje. Antai per 25 metus, praėjusius po autoriaus vadovėlio „Fizika humanitarams. Šiuolaikinė fizika“ išleidimo, padaryta daug esminių atradimų įvairiose šiuolaikinės fizikos srityse. Kvantinėje fizikoje eksperimentiškai atlikta kvantinė teleportacija, nagrinėjamos kvantinių kompiuterių sukūrimo galimybės. Elementariųjų dalelių fizikoje atrasti šeštasis kvarkas ir ilgai ieškotas Higgso bozonas, kuris suteikia kitoms elementariosioms dalelėms masę, išspręsta Saulės neutrinių mįslė; antra vertus, atsirado įrodymų, kad dabartinė elementariųjų dalelių teorija – Standartinis modelis nėra galutinė teorija. Kietojo kūno fizikoje sukurtos naujos unikalios medžiagos, tokios kaip grafenas ir nanovamzdeliai. Ypač daug atradimų padaryta kosmologijoje ir astrofizikoje: įrodyta, kad Visata plečiasi greitėdama, atrastos gravitacinės bangos, paaiškėjo, kad net 95 proc. Visatos medžiagos sudaro nežinomos prigimties tamsioji medžiaga ir tamsioji energija, prie daugelio žvaigždžių atrastos planetos, o Saulės sistemoje – tolimos nykštukinės planetos... Tie ir kiti pokyčiai fizikoje bei autoriaus įgyta patirtis leido naujai apžvelgti šiuolaikinę fiziką.

Šioje knygoje stengtasi pateikti gana plačią šiuolaikinės fizikos panoramą, nes nefizikui pačiam prasiskverbti iki naujų fizikos idėjų per matematinius brūzgynus beveik neįmanoma. Tiesa, tas žinias teko išdėstyti tik labai populiariai, beveik be formulių, netgi supaprastintai.

Knygos tikslas – supažindinti su svarbiausiais šiuolaikinės fizikos atradimais bei idėjomis, atskleisti pažintinę jų reikšmę ir įtaką mūsų civilizacijos raidai, iliustruoti tai įvairiais pavyzdžiais bei atradimų istorijomis. Kiekvienas skyrius susideda iš pagrindinės ir papildomos dalių. Pagrindinėje dalyje, kuria pradedamas skyrius, pateikiama bendresnės ir svarbesnės žinios, dėsniai ir apibrėžimai, o toliau atskirais straipsneliais – įvairi papildoma medžiaga: atradimų istorijos, dėsnių taikymai, platesni pasakojimai apie svarbesnius ir įdomesnius reiškinius, taip pat apie Lietuvos fizikų darbus.

I

ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS PRADŽIA

Fizika XIX a. pabaigoje. Baigiantis XIX amžiui, fizikai buvo ištyrę ir aprašę mechaninius, optinius, elektrinius, magnetinius ir šiluminius reiškinius. Tiesa, mokslininkai dažniausiai galėjo tik atsakyti į klausimus, kaip vyksta reiškiniai, kokiems dėsniams jie paklūsta (pavyzdžiui, kaip juda svyruoklė arba kaip atsiranda vaivorykštė), bet negalėjo nurodyti pirminių priežasčių (kodėl egzistuoja visuotinė trauka, kaip atsirado Visata, ar fizikos dėsniai turi savo galiojimo ribas). Tačiau dėl to fizikai nekvaršino sau galvos, laikydami, kad reiškinį prigimties, pirminės priežasties klausimus turi spręsti metafizika (gr. *meta* – po, už), t. y. filosofija, o ne fizika. Metafizikos taip pat buvo laikomas klausimas „Kokie yra atomai?“, nes fizikai nežinojo jokių tiesioginių būdų atomams tirti.

Taigi daugelis to meto fizikų manė, kad pagrindinės fizikos dalys jau sukurtos ir žinomi kiekvienos iš jų svarbiausi dėsniai, kurie paaiškina beveik visus stebimus reiškinius; ateities fizikams teksią tikslinti modelius, atlikti vis sudėtingesnius skaičiavimus.

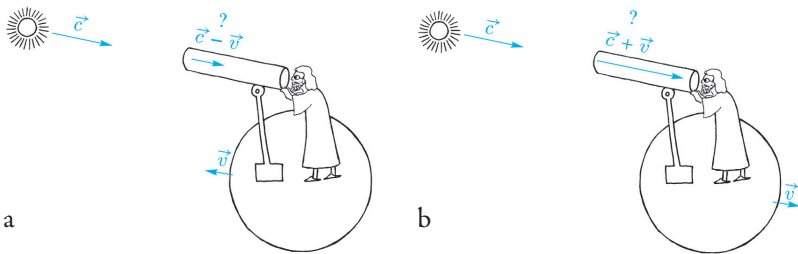
Kai žinomam fizikui Philippui von Jolly (Filipas fon Žoli) jo studentas, būsimasis kvanto atradėjas Maxas Planckas (Maksas Plankas), pasakė, kad norėtų gilintis į teorinę fiziką, profesorius jam nepatarė to daryti: „Šioje srityje jau beveik viskas atrasta ir visa, kas beliko padaryti, – tik užpildyti keletą nedidelių spragų...“ O žymus to meto fizikas Williamas Thomsonas (Viljamas Tomsonas) rašė: „Teorinės fizikos pastatas grakštus ir užbaigtas. Giedrame fizikos danguje matyti tik du nedideli debesėliai.“

Kokios gi problemos tuo metu dar niaukstė fizikos horizontą?

Keistoji medžiaga eteris. Garso bangos sklinda ore, bangas vandens paviršiuje perduoda vandens dalelės. Kokiu būdu šviesa ir kitokios elektromagnetinės bangos sklinda beorėje kosminėje erdvėje? Fizikai spėjo, kad jas perduoda eteris – ypatinga medžiaga, užpildanti visą erdvę. Tai turėjo būti labai keista medžiaga: eteris nestabdė dangaus kūnų judėjimo – vadinasi, jis labai retas, bet jame galėjo sklستي skersinės šviesos bangos, tad eteris turėtų būti tampri medžiaga.

Galbūt tą keistą medžiagą galima aptikti matuojant šviesos greitį? Eteryje sklinda ne tik šviesa, bet jame juda ir Žemė, skriedama aplink Saulę (tiesa, daug mažesniu greičiu negu šviesa – tik 30 km/s). Vadinasi, šviesos greitis Žemės judėjimo orbita kryptimi ir priešinga kryptimi turėtų būti skirtingas. (Įsivaizduokime, kad mes važiuojame automobiliu palei geležinkelį: jeigu automobilis juda ta pačia kryptimi kaip traukinys, tai traukinio greitis mums atrodo mažesnis negu jam pralekiant pro automobilį priešinga kryptimi. O dabar tarkime, kad traukinys – tai šviesos spindulys, automobilis – skriejanti planeta, o nejudančioji atskaitos sistema – eteris (1.1 pav.).)

Pasinaudodamas ta idėja, Albertas Michelsonas (Albertas Maiklsonas) sugalvojo būdą, kaip palyginti šviesos greitį Žemės judėjimo orbita kryptimi ir jai statmena kryptimi. Tačiau jo ir Edwardo Morley'o (Edvardas Morlis) atliktas kruopštus eksperimentas parodė, kad šviesos greitis nepriklauso nuo atskaitos sistemos greičio! Kiti eksperimentai, kuriais siekta aptikti eterį, irgi nebuvo sėkmingi.

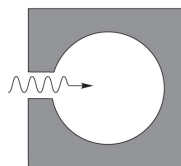


1.1 pav. Ar judantis link Saulės stebėtojas (a) ir tolstantis nuo jos stebėtojas (b) nustatys tokį pat Saulės šviesos greitį?

Kūnų spinduliuotės mįslės. Įkišus į liepsną natrio gabaliuką, liepsna nusi-dažo geltonai. Mat įkaitęs natrias skleidžia savitą geltoną šviesą (natrio spektre matyti ryški geltona linija). Kiti cheminiai elementai irgi spinduliuoja tam tikrų jiems būdingų dažnių šviesą. Fizikai negalėjo paaiškinti šios būdingosios spinduliuotės.

Mokslininkams nepavykdavo išspręsti netgi gana paprasto uždavi-nio – aprašyti juodojo kūno šiluminės spinduliuotės.

Juoduoju kūnu fizikai vadina kūną, kuris sugeria visą į jį krįstančią šviesą. Iš tikrųjų netgi juodas aksomas atspindi 0,3 proc. spindulių. Juodąjį kūną galima praktiš-kai sukurti tokiu būdu: vientisame kūne padarius sferos formos tuščiavidurę ertmę ir palikus mažytę angelę į išorę (1.2 pav.). Šviesa, pakliuvusi pro tą angelę į ertmės vidų, negali iš ten ištrūkti, nes daug kartų atsispindi nuo ertmės sienelių ir yra sugerama. Taigi tokia ertmė, sugerianti beveik visą į ją pakliūvančią šviesą, yra absoliučiai juodo kūno modelis.



1.2 pav. Juodojo kūno modelis: tuščiavidurė ertmė su mažyte anga, pro kurią vidun pakliuvusią visą šviesą sugeria ertmės sienelės.

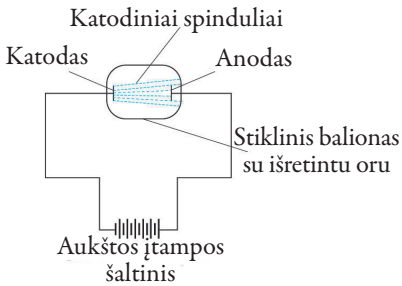
Spinduliuotė ertmėje sąveikauja su vidinėmis siene-lėmis ir taip susidaro šiluminė pusiausvyrą. Ją galima tirti registruojant pro angelę iš ertmės sklindančią šilu-minę spinduliuotę. Deja, fizikams niekaip nepavykdavo teoriškai nustatyti dėsnio, aprašančio tą juodojo kūno spinduliuotę.

Katodinių spindulių tyrimai ir pirmieji šiuolaikinės fizikos atradimai. Ką tik aptartos eterio bei kūnų spinduliuotės problemos netrukus sukėlė audrą fizikoje, tačiau pirmieji atradimai, atvėrę naujas fizikos sritis, buvo padaryti tiriant katodinius spindulius.

XIX a. viduryje, išmokus sukurti aukštą elektros įtampą, pradėta tirti elektros išlydį išretintose dujose. Tai tapo vienas iš madingiausių to meto fizikinių tyrimų.

Elektromagnetinės indukcijos atradėjas Michaelis Faraday (Maiklas Faradėjus) sukonstravo pirmąjį elektros išlydžio vamzdelį, vėliau pavadintą katodiniu vamzdeliu (1.3 pav.). Jį sudarė uždaras stiklinis balionas su jo galuose

I skyrius



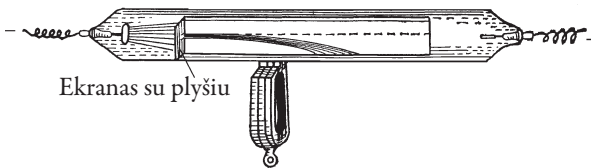
1.3 pav. Katodinis vamzdelis, kurį sudaro stiklinis balionas su išretintu oru ir jame įtaisytas dviem elektrodais. Prijungus prie elektrodų aukštos įtampos šaltinį, iš katodo ima sklستي spinduliai (jie buvo pavadinti katodiniais spinduliais) ir vamzdelio viduje atsiranda švytėjimas.

įtaisytas dviem elektrodais – katodu ir anodu. Išsiurbus iš baliono didžiąją dalį oro ir sujungus elektrodus su aukštos įtampos šaltiniu, tarp elektrodų imdavo tekėti elektros srovė ir katodinio vamzdelio viduje atsirasdavo švytėjimas (šis reiškinys vėliau panaudotas šviečiančiuose reklaminiuose užrašuose).

Pradėjus tirti tą švytėjimą, buvo nustatyta, kad katodas skleidžia kažkokius nematomus spindulius, kurie buvo pavadinti katodiniais spinduliais (iš čia kilo ir vamzdelio pavadinimas). Jie buvo aptikti pastebėjus vamzdelio stiklo švytėjimą už anodo – toje vietoje, kur į stiklą pataiko nematomieji spinduliai. Vamzdelį veikiant magnetiniam (ar elektriniam) laukui, katodiniai spinduliai nukrypsta nuo tiesios trajektorijos (1.4 pav.). Tai liudijo, kad juos sudaro elektringosios dalelės.

Tiriant katodinius spindulius, buvo padaryti net keli svarbūs atradimai.

1895 m. Vilhelmas Röntgenas (Vilhelmas Rentgenas), tyrinėdamas katodinius spindulius, atrado dar skvarbesnius spindulius, kurie dabar vadinami Röntgeno spinduliais (žr. straipsnelį „Röntgeno spindulių atradimas“). Naudojantis Röntgeno spinduliais, buvo atskleistos svarbios atomų savybės.



1.4 pav. Katodinį vamzdelį veikiant magnetiniam laukui, katodinių spindulių pluoštelis išlinksta; tai liudija, jog jį sudaro elektringųjų dalelių srautas.

ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS PRADŽIA

1896 m., ieškant naujų Röntgeno spindulių šaltinių, buvo aptiktas urano ir kitų sunkiųjų cheminių elementų savaiminis spinduliavimas. Jis liudijo, kad atomuose vyksta kažkokie nežinomi galingi procesai (žr. straipsnelį „Radioaktyvumas“).

1897 m. Josephas Johnas Thomsonas (Džozefas Džonas Tomsonas), veikdamas elektriniu ir magnetiniu laukais katodinius spindulius, nustatė, kad tai yra daug lengvesnės už atomus dalelės, turinčios mažytį neigiamąjį elektros krūvį. Taip buvo atrastas elektronas – pirmoji elementarioji dalelė. Taigi paaiškėjo, kad atomas nėra nedalomas – jis turi vidinę sandarą.

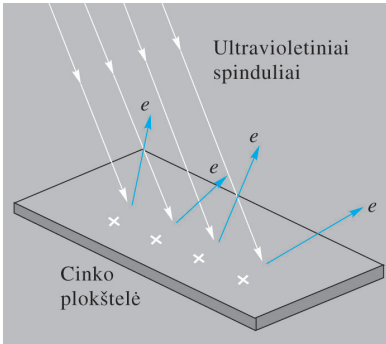
Būtent tie trys atradimai yra laikomi šiuolaikinės fizikos pradžia, nes jie atvėrė fizikams mikropasaulį – labai mažų atstumų pasaulį, kurio tyrimai tapo viena iš svarbiausių XX a. fizikos plėtros kryptių.

Kvanto atradimas. Raktą į mikropasaulio dėsnius 1900 m. atrado Maxas Planckas, iškėlęs kvanto egzistavimo idėją.

M. Planckas keletą metų atkakliai ieškojo dėsnių, aprašančių minėtą juodojo kūno spinduliuotę. Jis išmėgino įvairias galimybes ir galų gale, kaip jis vėliau rašė – iš nevilties, padarė keistą prielaidą, kad šviesa yra sugerama ir išspinduliuojama tam tikromis porcijomis – kvantais (lot. *quantum* – kiek). Kūnas gali sugerti arba išspinduliuoti tik sveikąjį kvantų skaičių. Šviesos kvanto energija priklauso nuo šviesos dažnio ν ir yra lygi $h\nu$; čia h – universalioji konstanta, apytiksliai lygi $6,6 \cdot 10^{-34}$ J·s (vėliau ji buvo pavadinta Plancko konstanta). Taigi kvanto energija nepaprastai maža. Vis dėlto to mažyčio kvanto egzistavimo hipotezė leido M. Planckui iš karto suformuluoti ieškomą dėsnių.

Fizikai neskubėjo pripažinti naujos kvanto sąvokos – juk iki tol buvo manoma, kad visi fizikiniai dydžiai gali keistis tolydžiai. Be to, energijos kvanto egzistavimas nesiderino su visuotinai priimta bangine šviesos teorija. Net pats M. Planckas iš pradžių nesuvokė savo atradimo svarbos ir visaip stengėsi „įsprausti“ kvantą į įprastinę klasikinę fiziką.

Kvantą fizikoje įteisino jaunesnės kartos fizikas Albertas Einšteinas (Albertas Einšteinas). Jis 1905 m. žengė antrą žingsnį – priėjo išvadą, kad šviesa ne tik sugerama ir išspinduliuojama kvantais, bet ji iš tikrųjų sudaryta iš dalelių (tokia šviesos dalelė vėliau buvo pavadinta fononu). Fonono,



1.5 pav. Fotoefektas: apšvietus cinko plokštelę ultravioletiniais spinduliais, ji įgyja teigiamąjį elektros krūvį, nes iš jos išlekia neigiamojo krūvio elektronai.

kaip ir pačios šviesos, negalima nei sulėtinti, nei pagreitinti, jo energija visada lygi $h\nu$. Tokią energiją įgyja išspinduliuojamas fotonas ir visą ją atiduoda sugerties metu. Remdamasis fotono egzistavimu, A. Einšteinas paašškino fotoefektą.

Šį reiškinį 1887 m. atrado Heinrichas Hertzas (Heinrichas Hercas). Apšvietus ultravioletiniais spinduliais metalo (pavyzdžiui, cinko) plokštelę, ji įsielektrina teigiamai (1.5 pav.), nes iš plokštelės išmušami neigiamąjį elektros krūvį turintys elektronai. Tačiau banginė šviesos teorija negalėjo paašškinti fotoefekto dėsningumų: pavyzdžiui, kodėl kiekvienam metalui egzistuoja tam tikras minimalus šviesos dažnis ir, tik jį viršijus, stebimas fotoefektas. Atsakymą pavyko rasti šviesą laikant dalelių srautu: fotono energija turi būti pakankama, kad, jam smogus į atomą, būtų išmuštas elektronas.

Kas gi iš tikrųjų yra šviesa, jeigu ji, sklisdama pro plyšelius, elgiasi kaip bangos, o sąveikaudama su medžiaga – kaip dalelių srautas? A. Einšteinas į šitą sudėtingą klausimą neatsakė, jį vėliau išsprendė kvantinės mechanikos kūrėjai.

RÖNTGENO SPINDULIŲ ATRADIMAS

Viurcburgo universiteto profesorius Vilhelmas Röntgenas garsėjo išmoningais ir labai kruopščiais eksperimentais, gautų rezultatų patikimumu ir pedantišku sąžiningumu. Tuo metu jis jau buvo atšventęs penkiasdešimtmetį,

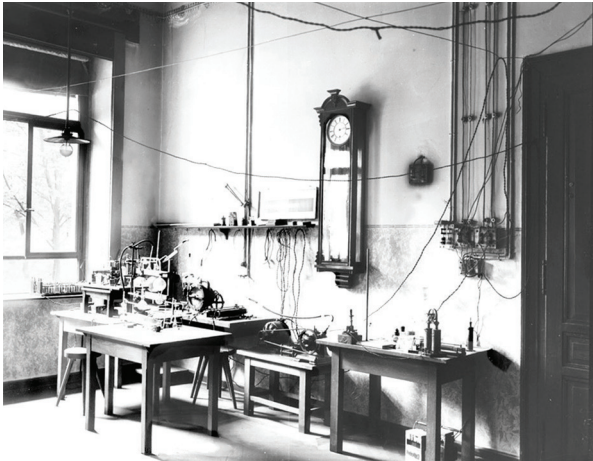
ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS PRADŽIA

bet svarbesnio atradimo jam dar nebuvo pavykę padaryti. Juk kuo vėlesnis laikmetis, tuo sunkiau aptikti naują fizikinį reiškinį.

Vėlyvą 1895 m. lapkričio 8 d. vakarą W. Röntgenas tyrinėjo katodinius spindulius. Katodinis vamzdelis buvo uždengtas tamsiu gaubtu, o laboratorijoje šviesa nedegė. Mokslininkas pastebėjo atokiai nuo vamzdelio stovinčio ekrano, padengto bario druska, švytėjimą. Ši medžiaga imdavo švytėti, arba, anot fizikų, fluorescuoti, ją veikiant didesnės energijos negu šviesa ultravioletiniais spinduliais. Tačiau tuo metu ekrano neveikė nei šie, nei katodiniai spinduliai (juk pastarieji negalėjo prasiskverbti pro stiklą, be to, juos sugeria ir storesnis oro sluoksniu). W. Röntgenas suprato atradęs naujus, gerokai skvarbesnius spindulius, kuriuos skleidė katodinis vamzdelis.

Nėra žinoma, ar tą atradimą lėmė laimingas atsitiktinumas, ar kruopštūs tyrimai, nes W. Röntgenas nemėgo pasakoti apie atradimo aplinkybes; jis manė, kad moksle svarbu gauti rezultatai, o ne mokslininko kelias į juos. Vykdamas Röntgeno valią, po atradėjo mirties asmeninis jo archyvas buvo sunaikintas.

Anot vienos versijos, W. Röntgenas, baigęs darbą, uždengė katodinį vamzdelį gaubtu, bet užmiršo jį išjungti, ir tada tamsoje pastebėjo ekrano švytėjimą. Žinant, koks pedantiškai kruopštus buvo šis mokslininkas, tuo patikėti sunku. Anot kitos versijos, jis pastebėjo, kad katodinio vamzdelio



1.6 pav.
W. Röntgeno
laboratorija,
kurioje buvo
atrasti Röntgeno
spinduliai.

aplinkoje genda fotografinės plokštelės, ir ieškojo priežasties. Į tą neįprastą dalyką gerokai anksčiau jau buvo atkreipęs dėmesį anglų fizikas ir chemikas Williamas Crookesas (Viljamas Kruksas), bet jis tik nusiuntė skundą fotografinių plokštelių firmai dėl broko. Beje, tokie vamzdeliai jau keletą dešimtmečių buvo naudojami daugelyje fizikos laboratorijų, tad ne vienas fizikas vėliau apgailestavo pražiopsojęs atradimą.

Įsitikinęs, kad iš katodinio vamzdelio sklinda nežinomi spinduliai, W. Röntgenas suprato aptikęs kažką svarbaus. Jam teko didžioji lemtis, ir mokslininkas norėjo būti vertas jos. Tad neskubėjo pranešti apie padarytą atradimą, nepasigyrė netgi savo kolegoms ar žmonai. Jis užsidarė laboratorijoje, pasistatė ten lovą, o maistą žmona palikdavo prie durų. W. Röntgenas ėmėsi visapusiškai tirti atrastųjų spindulių savybes.

Mokslininkas nustatė, kad nežinomus spindulius, jo pavadintus X spinduliais, skleidžia katodinio vamzdelio stiklas toje vietoje, kur į jį pataiko katodiniai spinduliai. Atradėjas kruopščiai ištyrė jį nustebinusią X spindulių skvarbą: jie lengvai pereidavo ne tik per popieriaus lapą, bet ir per knygą, netgi per 2–3 cm storio eglinę lentą. Tiesa, juos stipriai sugerdavo metaliniai, ypač švininiai daiktai. Naudodamasis tuo, kad X spinduliai veikia fotografinę plokštelę, W. Röntgenas fotografavo svarsčius, sudėtus į kartoninę dėžutę, metalo gabalą, kurio sandarą išryškino X spinduliai, ir kt. Mokslininkas mėgino atskleisti ir šių spindulių prigimtį – jeigu tai bangos, turėtų būti stebimi jų lūžis ir difrakcija, bet šių reiškinių jam nepavyko aptikti.

Naudodamasis paprasčiausiais prietaisais, W. Röntgenas per septynias įtempto darbo savaites atliko didžiulį darbą. Gruodžio pabaigoje atradėjas pasikvietė į laboratoriją žmoną, paprašė jos padėti ranką ant fotografinės plokštelės, įvyniotos į tamsų popierių; išryškintoje plokštelėje buvo matyti jos plaštakos kaulų atvaizdas (1.7 pav.). Jis aprašė savo gautus rezultatus moksliniame straipsnyje, pridėjo minėtą nuotrauką ir atidavė straipsnį į žurnalą *Berichte der Würzburger Physikalisch-medizinischen Gesellschaft* („Vürzburgo fizikų ir medikų draugijos žinios“). Redaktorius, supratęs, koks svarbus yra W. Röntgeno darbas, nedelsdamas išleido jį atskira knygele. Ji 1896 m. pradžioje buvo išsiuntinėta žymiems mokslininkams ir fizikos laboratorijoms į įvairias šalis. Apie atradimą greitai sužinojo žurnalistai.



1.7 pav. W. Röntgeno žmonos plaštakos nuotrauka, kurią jis gavo savo atrastais spinduliais (tamsus sustorėjimas – vestuvinis žiedas).

Kilo tikra mokslo sensacija, kokios, matyt, nebuvo nuo tada, kai Galileo Galilei (Galileo Galilėjus) savo paties sukonstruotu žiūronu-teleskopu atrado Jupiterio palydovus, Saulės dėmes, Mėnulio kalnus.

Galimybė pamatyti gyvo žmogaus kaulus bei vidaus organus ar nustatyti uždarus dėžės turinį kelė vienių susižavėjimą, o kitų – pasipiktinimą. Laikraščiai bei žurnalai spausdino karikatūras šia tema (1.8 pav.). Žmonės veržėsi į viešas paskaitas, o spauda skelbė pranešimus apie tikras ir išgalvotas tų spindulių savybes. Žinia apie atradimą netrukus pasiekė ir Vilnių. 1896 m. balandžio 6 d. Maksas Resneris, iš Peterburgo atvykęs „dvaro artistas“, viešai demonstravo X spindulius. Kilus dideliame susidomėjimui, seansai buvo kartojami dar tris dienas.

Praejus vos dviem savaitėms po X spindulių atradimo, jie jau buvo pritaikyti medicinoje kaulų lūžiams nustatyti. Tačiau W. Röntgenas atsisakė patentuoti savo atradimą ir nepasinaudojo galimybe iš to praturtėti. Staigi šlovė ir visuomenės dėmesys trukdė jo moksliniam darbui, tad atradėjas vengė įvairių pagerbimų ir apdovanojimų. Vis dėlto 1901 m. jis nuvyko į Stokholmą atsiimti jam paskirtos pirmosios Nobelio fizikos premijos.

I skyrius



1.8 pav. Karikatūros Röntgeno spindulių tema iš XIX a. pabaigos spaudos. Prancūzų dailininko A. Robida piešinys, vaizduojantis būsimas madas (a); karikatūra iš žurnalo *Life*: žmonių kompanijos įprastinė nuotrauka (b) ir vaizdas, gautas Röntgeno spinduliais (c).

Daugelyje šalių W. Röntgeno atrastieji spinduliai vadinami Röntgeno spinduliais. Tačiau britai, negalėdami susitaikyti su tuo, kad jų tėvynainis W. Crookesas pražioopsojo šį atradimą, vartoja pavadinimą *X spinduliai*.

RADIOAKTYVUMAS

Prancūzų mokslininkas Henri Becquerelis (Anri Bekerelis) buvo net trečios kartos fizikas: jis, kaip ir jo tėvas bei senelis, tyrinėjo fosforescenciją – kai kurių medžiagų švytėjimą, jas paveikus katodiniais, ultravioletiniais spinduliais ar saulės šviesa (tai giminingas fluorescencijai reiškinys, bet jis stebimas dar kurį laiką spinduliams jau nebeveikiant medžiagos). Sužinojęs, kad Röntgeno spinduliai sklinda iš katodinio vamzdelio švytinčios stiklo vietos (ten pataikius katodiniais spinduliais), H. Becquerelis įtarė, kad ir fosforescencinės medžiagos gali skleisti Röntgeno spindulius.

Šiai hipotezei patikrinti jis naudojo vieną iš urano druskų, kuri švyti, paveikta saulės šviesos. 1896 m. pradžioje H. Becquerelis atliko tokį bandymą: įvyniojo fotografinę plokštelę į juodą popierių, pabėrė ant jo urano druskos ir padėjo saulės atokaitoje. Išryškintoje plokštelėje buvo matomi druskos kruopelių atvaizdai. Norėdamas įsitikinti, ar urano druska skleidžia būtent Röntgeno spindulius, mokslininkas sumanė kitą bandymą: uždėjo ant fotografinės plokštelės aliuminio plokštelę, ant jos varinį kryžių ir ant viršaus vėl pabarstė urano druskos. Deja, diena buvo debesuota, saulė nepasirodė, tad jis „sumuštinį“ įkišo į stalčių. Po kelių dienų mokslininkas dėl visa ko išryškino fotografinę plokštelę ir nustebęs pamatęs joje ryškų kryžiaus atvaizdą. Taigi urano druska, netgi neapšviesta saulės, skleidė nežinomus spindulius. H. Becquerelis nustatė, kad tuo pasižymi ir urano druskos, neturinčios fosforescencinių savybių.

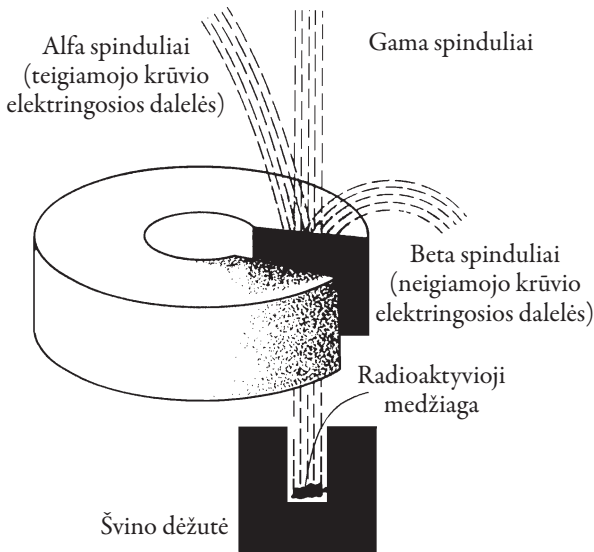
Marie Sklodowska-Curie (Marija Sklodovska-Kiuri) atrado, kad panašius spindulius skleidžia dar vienas sunkusis cheminis elementas – toris. Būtent jį pavadino aptiktą naują reiškinį – savaiminį kai kurių medžiagų spinduliavimą – radioaktyvumu. O kartu su savo vyru Pierre'u Curie (Pjeras Kiuri) ji iš urano rūdos atliekų išskyrė du naujus radioaktyviuosius elementus – polonį ir radį, kurie skleidė nevienodo skvarbumo spinduliuotę.

Magnetiniame lauke radioaktyviųjų medžiagų spinduliuotės dalis atlenkiama į vieną pusę, o kita dalis – į priešingą pusę (1.9 pav.). Vadinasi, ją sudaro dalelės, turinčios teigiamąjį ir neigiamąjį elektros krūvius. Išlekiančios teigiamojo krūvio dalelės buvo pavadintos *alfa spinduliais*; vėliau paaiškėjo, kad tai – helio branduoliai. Išlekiančios neigiamojo krūvio dalelės buvo pavadintos *beta spinduliais*, tai pasirodė esą neseniai atrasti elektronai. Dar po kelerių metų buvo aptikti trečios rūšies – *gamma spinduliai*, kurių neveikė elektrinis ir magnetinis laukai, taigi jie buvo panašūs į Röntgeno spindulius, tik dar skvarbesni už juos.

Neišspręsta liko pagrindinė mįslė – koks yra tokio savaiminio spinduliavimo energijos šaltinis? Juk radioaktyvioji medžiaga nuolat skleidžia didelės energijos daleles ir išskiria nemažą kiekį šilumos; pavyzdžiui, 1 g radžio – beveik šešis šimtus džaulių per valandą. Buvo iškeltos dvi hipotezės:

1. Radioaktyvioji medžiaga sugeria energiją iš aplinkos.

I skyrius



1.9 pav.

Radioaktyviosios medžiagos skleidžia alfa, beta ir gama spindulius, kuriuos magnetinis laukas veikia skirtingai.

2. Pačioje radioaktyviojoje medžiagoje vyksta lėtas kitimas. Jis nėra panašus į cheminę reakciją, nes tokios reakcijos metu didelės energijos dalelių neatsiranda.

Izoliavus ar atšaldžius radioaktyviąją medžiagą, jos spinduliuotė nesikeitė, tad pirmąją hipotezę teko atmesti. Vadinasi, radioaktyviojoje medžiagoje vyksta dar fundamentalesnis kitimas negu cheminė reakcija. Tai liudijo, kad atomas turi vidinę sandarą, kuri gali keistis.

RÖNTGENO SPINDULIŲ PRIGIMTIS IR KRISTALŲ STRUKTŪRA

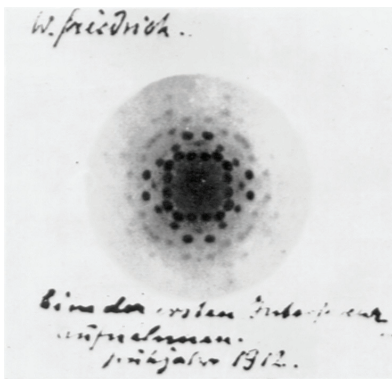
Netrukus po W. Röntgeno padaryto atradimo net keli mokslininkai nepriklausomai iškėlė hipotezę, kad Röntgeno spinduliai yra dar trumpesnės elektromagnetinės bangos negu ultravioletiniai spinduliai. Tokiu atveju jie turėtų difraguoti sklisdami pro labai siaurus plyšelius. Tačiau nežinota, kaip pagaminti tokius plyšelius. Tad ši hipotezė tuo metu patikrinta nebuvo ir liko viena iš daugelio pasiūlytų hipotezių, aiškinančių Röntgeno spindulių prigimtį.

ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS PRADŽIA

Tik 1912 m. M. Plancko mokiniui Maxui von Laue (Maksas fon Laujė) kilo išganinga mintis, kad atstumai tarp molekulių ar atomų kristale gali būti maždaug tokio pat dydžio kaip Röntgeno spindulių bangos ilgis. Tuomet tarpai tarp atomų kristale sudarytų natūralius plyšelius šių spindulių difrakcijai stebėti. M. Laue apskaičiavo, kad Röntgeno spindulių pluoštui perėjus per ploną kristalo plokštelę, už jos pastatytoje fotografinėje plokštelėje turi atsirasti tamsių taškų, išdėstytų koncentriniais apskritimais.

M. Laue buvo grynas teoretikas, eksperimentų jis nedarė, todėl paprašė patikrinti šią hipotezę savo draugo eksperimentatoriaus Walterio Friedricho (Valteris Frydrichas). Tačiau šio mokslinis vadovas nenorėjo, kad W. Friedrichas užsiimtų pašaliniais darbais, ir jam teko atlikti eksperimentą slapčiomis. W. Friedrichui į pagalbą atėjo kitas jaunas eksperimentatorius Paulis Knippingas (Paulis Knippingas). Tam, kad ką nors pavyktų užregistruoti, jie įvairiose vietose aplink kristalo plokštelę pristatė fotografinių plokštelių. Ir iš tikrųjų, toje plokštelėje, kuri buvo padėta statmenai Röntgeno spindulių pluošteliui, atsirado lauktasis difraccinis vaizdas (1.10 pav.).

Už šį atradimą M. Laue, kaip idėjiniam darbo vadovui, buvo paskirta Nobelio premija (komitetas, matyt, atsižvelgė į tai, kad be M. Laue idėjos W. Friedrichas ir P. Knippingas atradimo nebūtų padarę, o tą ne itin sudėtingą eksperimentą galėjo atlikti ir kiti eksperimentatoriai). Vis dėlto trečdalį premijos sumos laureatas pats perdavė atradimo bendraautoriams.



1.10 pav. Viena iš pirmųjų Röntgeno spindulių difrakcijos kristale nuotraukų.

Šis atradimas ne tik įrodė, kad Röntgeno spinduliai yra maždaug 1 nm ilgio elektromagnetinės bangos, bet ir patvirtino hipotezę, kad kristalai yra sudaryti iš taisyklingų gardelių, bei suteikė labai patogų metodą atomų išsidėstymui kristaluose tirti. Netrukus buvo nustatytas natrio ir chloro atomų išsidėstymas valgomosios druskos kristale ir kitų sudėtingesnių kristalų struktūra. Rentgenostruktūrinė analizė (taip buvo pavadintas šis metodas) pasirodė pritaikoma ir sudėtingų organinių molekulių sandarai tirti. Tiesa, iš panašaus difrakcinio vaizdo iššifruoti įvairių atomų padėtis molekulėje yra gana sunkus, detektyvo gebėjimų reikalaujantis darbas, tačiau mokslininkai tokiu būdu nustatė daugelio organinių molekulių, sudarytų net iš šimtų ir tūkstančių atomų, sandarą. Rentgenostruktūrinės analizės metodu 1953 m. buvo iššifruotas genetinis kodas – nustatyta DNR (deoksiribonukleorūgšties) molekulės sandara.

NOBELIO PREMIJA

Daugelis šiuolaikinės fizikos žymiausių kūrėjų yra Nobelio premijos laureatai. Tai pati garbingiausia, labiausiai vertinama mokslo premija. Kaip ji atsirado, kokių būdu ir už ką ši premija yra skiriama?

Premiją įsteigė Alfredas Nobelis – žymus XIX a. švedų chemikas ir pramoninkas. Jis buvo vienas iš nedaugelio išradėjų, susikrovusių iš savo išradimų didžiulius turtus. Žinomiausias bei pelningiausias A. Nobelio išradimas – galinga sprogstamoji medžiaga dinamitas; jį gamino savo fabrikuose ir taip pat pardavinėjo licenciją jo gamybai. Be to, A. Nobelis išrado bedūmį paraką, detonatorių, taip pat dujų degiklį, šaldymo aparatą, efektyvų geležies valymo metodą ir kt.

A. Nobelis buvo gana savitas ir paslaptingas žmogus, neturėjęs šeimos, bastęsis po įvairias šalis (kiekvienoje stambioje jo gamykloje buvo asmeninė išradėjo laboratorija, kur atvykęs jis galėjo tęsti savo tyrimus). Jis mėgo šaipytis iš tradicijų ir autoritetų, paminklų ir apdovanojimų, aukštų pareigūnų ir pats iš savęs. Amžininkai negalėjo atskirti, kur baigiasi išradėjo juodasis humoras ir prasideda keistenybės. Antai A. Nobelis tvirtino, kad kariniai jo išradimai greičiau padarys galą karams negu taikos šalininkų kongresai, nes tik baimė, o ne įtikinėjimai gali paveikti agresyvius žmogaus polinkius.

ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS PRADŽIA

A. Nobelis dažnai sušelpdavo menininkus, atradėjus ir šiaip pagalbos prašytojus. Vis dėlto jo testamentas, paskelbtas po mirties, nustebino ne tik giminaičius, kuriems buvo paskirta tik keli procentai turto, bet ir visuomenę. Visas kitas įspūdingas A. Nobelio turtas turėjo atitekti kuriamam mokslo premijų fondui: investavus tas lėšas, iš gaunamo pelno nurodyta kasmet skirti penkias premijas už reikšmingiausius praėjusių metų fizikos, chemijos ir medicinos pasiekimus, taip pat literatūros ir taikos premijas (pastaroji – juodasis humoras ar atgaila už karinius išradimus?). Giminaičiai mėgino teisme užginčyti testamentą, jie ilgai bylinėjosi, bet vis dėlto testatoriaus valia liko galioti.

A. Nobelis numatė premijų skyrimo taisykles ir tvarką, tačiau vienos esminės nuostatos pasirodė beveik neįmanoma laikytis: išrinkti praėjusių metų svarbiausius atradimus. Juk mokslo atradimo vertė neretai išryškėja tik po kelerių, keliolikos ar net keliasdešimties metų. Pretendentus premijoms atrenka Nobelio komitetai ir specialūs institutai, įkurti prie Švedijos karališkosios mokslų akademijos bei kitų įstaigų. Įvairių šalių žinomiems mokslininkams, įstaigoms ir organizacijoms iš anksto išsiuntinėjama keli tūkstančiai prašymų siūlyti kandidatus Nobelio premijoms, vėliau atliekama griežta ir kruopšti rekomenduotų kandidatų atranka, jų darbų analizė ir vertinimas. Fizikos ir chemijos premijų laureatus galutinai tvirtina Švedijos karališkoji mokslų akademija. Oficialus pranešimas apie naujus Nobelio premijos laureatus paprastai skelbiamas spalio mėnesį – prieš A. Nobelio gimimo dieną. Visa informacija apie vykusią atranką, svarstytus, bet negavusius premijos kandidatus lieka įslaptinta penkiasdešimčiai metų.

Nobelio premijos teikiamos gruodžio 10 dieną Stokholmo filharmonijos salėje (1.11 pav.), dalyvaujant Švedijos visuomenės ir žiniasklaidos atstovams bei užsienio svečiams (kad viskas vyktų sklandžiai, tos dienos rytą laureatams rengiama ceremonijos repeticija). Kiekvieną laureatą pristato švedų mokslininkas, tada Švedijos karalius įteikia jam diplomą ir aukso medalį (1.12 pav.). O kitą dieną laureatai Nobelio fonde atsiima ir pačią premiją, kuri dabar yra maždaug vienas milijonas eurų (jei premija skiriama keliems mokslininkams, jie dalijasi tą sumą). Be to, laureatas privalo perskaityti pranešimą apie savo atradimą. Nobelio premijų renginiai Švedijoje tęsiasi visą savaitę.

I skyrius



1.11 pav. Nobelio premijų įteikimo ceremonija.

Nobelio fizikos premiją yra gavę: 1901 m. W. Röntgenas už Röntgeno spindulių atradimą, 1903 m. H. Becquerelis, P. Curie ir M. Curie už radioaktyvumo atradimą ir jo tyrimus, 1906 m. J.J. Thomsonas už elektrono



1.12 pav. Nobelio fizikos premijos laureato medalis.

ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS PRADŽIA

atradimą, 1914 m. M. Laue už Röntgeno spindulių difrakcijos atradimą, 1918 m. M. Planckas už energijos kvanto atradimą, 1921 m. A. Einsteinas už fotoefekto paaiškinimą, 1922 m. N. Bohras (N. Boras) už nuopelnus tiriant atomų sandarą ir kiti. Tiesa, už kai kuriuos žymius atradimus ji buvo suteikta tik po keliasdešimties metų: P. Kapicai už skystojo helio supertakumo atradimą maždaug po 40 metų, o F. Reinesui (F. Reinsas) už neutrino atradimą net po 45 metų (per tą laiką to atradimo bendraautoris C. Cowanas (K. Kouenas) mirė nesulaukęs premijos, nes ji suteikiama tik gyviems mokslininkams). Premija dažnai dalijasi du trys mokslininkai (pagal nuostatus, ji skiriama ne daugiau kaip trims asmenims) net už skirtingus atradimus, nes svarbių atradimų fizikoje būna daugiau negu kasmet skiriamų apdovanojimų.

XX a. pradžioje daugiausia kartų premiją yra pelnę vokiečiai ir anglai, o to amžiaus antrojoje pusėje aiškiais lyderiais tapo amerikiečiai – tai atspindi išsiskiriantį šių šalių indėlį į šiuolaikinę fiziką. Premijos skyrimas gana objektyviai parodo ir svarbiausias bei perspektyviausias fizikos plėtros kryptis. Daugiausia apdovanojimų buvo skirta už mikrofizikos (molekulių, atomų, branduolių, elementariųjų dalelių fizikos, nanotechnologijos) atradimus, atskleidžiančius bendriausius gamtos dėsningumus, taip pat už tyrimus kietojo kūno fizikos srityje, kuri labai svarbi įvairiais taikymais. XXI a. pradžioje šio pripažinimo sulaukė svarbūs astrofizikos atradimai.

Deja, Lietuvos fizikai nei kitų sričių mokslininkai kol kas nėra pelnę šio garbingo apdovanojimo. Tačiau lietuviams sekasi Antinobelio premijos (*Ig Nobel* premija) konkurse; ji nuo 1992 m. organizuoja mokslinės satyros žurnalas *Annals of Improbable Research* („Neįtikėtinų tyrimų metraš-tis“). Šią premiją 2001 m. pelnė Viliumas Malinauskas, įkūręs Grūto parką (taikos premija), o 2011 m. ja buvo pagerbtas Vilniaus meras Artūras Zuokas, šarvuočiu sutraiškęs neleistinoje vietoje pastatytą automobilį *Mercedes* („už nelegaliai pastatytų prabangių automobilių problemos sprendimą“).

EKSPERIMENTATORIAI IR TEORETIKAI

Daugelis XVII–XIX a. fizikų buvo universalūs mokslininkai – jie atlikinėjo eksperimentus ir kūrė teorijas. Galileo Galilei vykdė bandymus su krintančiais kūnais, konstravo prietaisus, vykdė astronominius stebėjimus, nustatė kūnų

I skyrius

laisvojo kritimo bei judėjimo dėsnius. Isaakas Newtonas (Izaokas Niutonas) sukūrė teorinius mechanikos pagrindus, taip pat buvo puikus eksperimentatorius, ištyręs ir paaiškinęs šviesos dispersijos reiškinį, sukonstravęs naujo tipo teleskopą. Netgi XIX a. fizikai dažnai aprėpdavo ir teoriją, ir eksperimentą; antai Jamesas Clerkas Maxwellas (Džeimsas Klarkas Maksvelas) garsėjo teoriniais darbais, bet jis taip pat konstravo prietaisus, o radijo bangų ir fotoefekto atradėjas Heinrichas Hertzas buvo ir talentingas teoretikas. Tiesa, kai kurie fizikai, nusivylę nepagrįstomis teorijomis, išgalvotomis substancijomis, savo tikslu laikė vien tik gauti patikimus eksperimento rezultatus, o teorinio jų apibendrinimo vengė. Tokie grynai eksperimentatoriai buvo Robertas Boyle'is (Robertas Boilis), Otto von Guericke (Otas fon Gėrikė), Florencijos mokslų akademijos *Accademia del Cimento* („Bandymų akademija“) nariai. Kita vertus, kai kurie mokslininkai, kaip antai Leonhardas Euleris (Leonardas Oileris), Jeanas d'Alembertas (Žanas d'Alamberas), Josephas de Lagrange'as (Žozefas de Lagranžas), tobulino matematinius fizikos metodus ir neužsiėmė eksperimentais.

Eksperimentiniam ir teoriniam darbui yra reikalingos ne tik skirtingos žinios, bet ir skirtingi gebėjimai. Eksperimentatorius turi būti linkęs į vaizdinį mąstymą, gebėti konstruoti prietaisus, numatyti geriausias eksperimento sąlygas, atlikti kruopščius matavimus. Teoretikas turi būti gerai įvaldęs įvairius teorinius metodus, linkęs į abstraktų mąstymą, turėti platesnį akiratį, suvokti ryšius tarp įvairių reiškinų.

Fizikams vis giliau skverbiantis į gamtos paslaptis, eksperimentiniai ir teoriniai metodai tobulėjo, tapo labai sudėtingi. Tad net ir universalių gebėjimų fizikui pasidarė nebeįmanoma aprėpti ir eksperimento, ir teorijos. XX a. fizikai galutinai išsiskyrė į eksperimentatorius ir teoretikus. Vieni iš jų užsiima tik matavimais, eksperimentiniu hipotezių patikrinimu, kiti – tokių rezultatų interpretavimu ir matematiniu apibendrinimu, teorinių metodų plėtojimu. Gana dažnai tarp mokslo darbo autorių būna ir eksperimentatorių, ir teoretikų, jie dirba kartu nuolatinėse ar laikinose grupėse, papildydami vieni kitus. Juk, kaip sakoma, eksperimentas be teorijos yra aklas, o teorija be eksperimento – tuščia.

II

SPECIALIOSIOS RELIATYVUMO TEORIJOS PARADOKSAI

Specialiosios reliatyvumo teorijos principai. Albertas Einšteinas 1905 m. žurnale *Annalen der Physik* paskelbė trisdešimties puslapių mokslinį straipsnį, kuriame buvo suformuluota specialioji reliatyvumo teorija (vėliau jis sukūrė ir kitą – bendrąją reliatyvumo teoriją, su kuria trumpai supažindinama VIII skyriuje). Tai viena iš svarbiausių ir gražiausių XX a. fizikos teorijų, ji pakeitė požiūrį į erdvę ir laiką, masę ir energiją, išsprendė eterio problemą, aprašė kūnų judėjimą greičiu, artimu šviesos greičiui.

Kaip klasikinė mechanika remiasi trimis Newtono dėsniais, taip specialioji reliatyvumo teorija remiasi dviem principais, kurie nėra įrodomi teoriškai, bet apibendrina gamtos reiškinių stebėjimus:

1. Jokiais fizikiniais bandymais neįmanoma atskirti rimties būsenos ir tolygiojo tiesiame judėjimo.

2. Šviesos greitis vakuume nepriklauso nei nuo šviesos šaltinio, nei nuo stebėtojo greičio.

Dar XVII a. Galileo Galilei padarė išvadą, kad jokiais mechaniniais bandymais, atliekamais laivo denyje, negalima atskirti, ar laivas stovi, ar jis plaukia tiesiame ir tolygiai. Henri Poincaré (Anri Puankarė) ir Albertas Einšteinas tai apibendrino bet kokiems fizikiniams reiškiniams. Pirmasis principas – bendrasis reliatyvumo principas – tvirtina, kad rimtis yra reliatyvus dalykas: astronautas nejuda savo erdvėlaivio atžvilgiu, kartu su juo juda vienokiu greičiu Saulės atžvilgiu, kitokiu greičiu – Galaktikos centro atžvilgiu, ir jokiais išmoningais fizikiniais eksperimentais, atliekamais erdvėlaivio viduje, negalima nustatyti, kokiu pastoviu greičiu jis juda iš tikrųjų ir apskritai, ar jis juda. (Prisiminkime, kad žodis *reliatyvus* reiškia – santykinis, neabsoliutus.)

Reliatyvumo teorijoje vartojama sąvoka *atskaitos sistema*, reiškianti koordinacinių sistemą, kuri dažniausiai susiejama su erdvėlaiviu ar Žemėje esančiu

II skyrius

stebėtoju. Taigi pirmasis principas griežčiau formuluojamas taip: „Fizikos dėsniai yra vienodi visose atskaitos sistemose, judančiose viena kitos atžvilgiu tiesiaiegiai ir tolygiai.“ Be to, atskaitos sistemoje reikalingas laikrodis laiko intervalams matuoti.

Reikia pabrėžti, kad specialioji reliatyvumo teorija nagrinėja tik atskaitos sistemas, judančias viena kitos atžvilgiu tiesiaiegiai ir tolygiai (inercines atskaitos sistemas), o judančios su pagreičiu atskaitos sistemos yra nagrinėjamos bendrojoje reliatyvumo teorijoje.

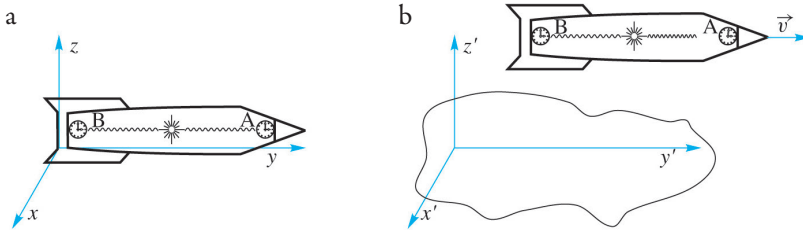
Jeigu nėra vienos išskirtinės atskaitos sistemos, tai nėra ir eterio. Padaręs tokią logišką išvadą, A. Einsteinas atsisakė eterio, kaip nereikalingos hipotezės.

Antrasis principas apibendrina eksperimentų rezultatus, kurie parodė, kad šviesos greitis nepriklauso nuo atskaitos sistemos judėjimo greičio. Tiesa, A. Einsteinas teigė, kad, kurdamas teoriją, jis rėmėsis mintiniais bandymais, pavyzdžiui: ką matytų stebėtojas, „jodamas raitas“ ant šviesos spindulio, t. y. pats judėdamas šviesos greičiu. Tokiu būdu gavęs neįtikimą rezultatą, mokslininkas priėjo išvadą, kad šviesos greitis neturi priklausyti nuo stebėtojo greičio.

Tie du specialiosios reliatyvumo teorijos principai tikriausiai nepasirodė skaitytojui labai keisti ir neįprasti. Tačiau jais remiantis tenka keisti įprastinį mūsų požiūrį į erdvę, laiką, energiją bei kitas pagrindines fizikos sąvokas, o tai daugeliui kelia norą prieštarauti šiai teorijai ar net abejoti ja. Deja, čia nėra galimybės pateikti nuoseklių įrodymų, tad panagrinėsime tik paprastą pavyzdį, parodantį, kaip iš „normalių“ principų gaunamos netikėtos išvados.

Tarkime, tolygiai, iš inercijos skrendančio erdvėlaivio viduje įsižiebčia elektros lemputė, esanti vienodu atstumu nuo kabinos priekio A ir galo B (2.1 pav.). Astronautas stebi šį reiškinį savo atskaitos sistemoje, susietoje su erdvėlaiviu, ir padaro logišką išvadą, kad šviesa tiek kabinos priekį, tiek galą pasieks vienodu laiku. O kito stebėtojo, esančio ant asteroido, pro kurį skrieja erdvėlaivis, atskaitos sistema yra susieta su asteroidu. Pagal antrąjį principą, šviesa asteroido atžvilgiu sklinda irgi tokiu pat pastoviu greičiu, betgi ji vejasi tolstantį erdvėlaivio priekį, o jo galas juda priešpriešiais šviesai. Tad ant asteroido esančio stebėtojo požiūriu, šviesa pasieks kabinos galą B anksčiau negu kabinos priekį A.

SPECIALIOSIOS RELIATYVUMO TEORIJOS PARADOKSAI



2.1 pav. Erdvėlaivio keleivis uždega elektros lemputę, kabančią kabinos viduryje. Jo požiūriu, šviesa abu kabinos galus pasiekia vienu metu (a), o stebėtojo, esančio ant asteroido, požiūriu, lemputės šviesa anksčiau pasiekia B galą negu A galą (b).

Šiame pavyzdyje nėra jokios klaidos. Išvada, kad du skirtingose vietose vykstantys įvykiai gali būti viena laikiai vieno stebėtojo požiūriu ir neviena laikiai kito stebėtojo, judančio pirmojo stebėtojo atžvilgiu tam tikru greičiu, požiūriu, nuosekliai išplaukia iš pirminių principų. O išvados prieštaravimas sveiko proto požiūriui negali būti rimtas argumentas, juk kadaise ne mažiau keistos atrodė mokslo išvados, kad žmonės kitoje Žemės rutulio pusėje vaikšto aukštyn kojomis arba kad Žemė sukasi aplink Saulę, o ne Saulė aplink Žemę.

Laiko reliatyvumas. Kaip rodo nagrinėtas pavyzdys, reliatyvumo teorija atsisako absoliučiojo, vienodo visiems stebėtojams laiko. Kiekvienam stebėtojui (tiksliau – atskaitos sistemai) reikia įvesti savąjį laiką. Fizikai ilgai to neįžvelgė, nes šis laiko reliatyvumas pasidaro svarbus tik tuomet, kai greitis artėja prie šviesos greičio (o jis yra milžiniškas, palyginti su mums įprastais greičiais).

Jeigu kinta laiko tėkmė, tai, aišku, reliatyvūs pasidaro ir laiko tarpai tarp įvykių. Tarkime, laiko tarpas tarp dviejų įvykių Žemėje yra τ_0 . Tuomet astronautui, kurio erdvėlaivis skrieja greičiu v Žemės atžvilgiu, laiko tarpas tarp tų pačių įvykių yra lygus:

$$\tau = \tau_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} .$$

II skyrius

Šioje išraiškoje pošaknis reiškiny yra mažesnis už vienetą, taigi $\tau < \tau_0$. Vadinasi, laiko tarpas, išmatuotas astronauto, bus mažesnis negu išmatuotas stebėtojo, esančio Žemėje; kitaip tariant, laikas erdvėlaivyje eina lėčiau negu Žemėje. Tačiau tas efektas tampa pastebimas, kai greitis v priartėja prie šviesos greičio c . Pateiktoji išraiška, kaip ir kitos reliatyvumo teorijos formulės, netektų fizikinės prasmės, jeigu greitis būtų didesnis už šviesos greitį arba jam lygus (pošaknis reiškiny būtų neigiamą ar nulinę vertę). Tai reiškia, kad šviesos greitis yra ribinis bet kokio kūno greitis.

Jeigu įvykiai vyksta skirtinguose erdvės taškuose, tai nevienodu greičiu judantys stebėtojai juos gali matyti net kitokia seka. Tiesa, laike gali susikeisti tik tarpusavyje nesusiję įvykiai, tarp kurių neįmanoma perduoti informacijos net šviesos signalu, t. y. kurie nėra priežastis ir pasekmė. Reliatyvumo teorija, deja, nesuteikia galimybės perduoti informacijos į savo praeitį.

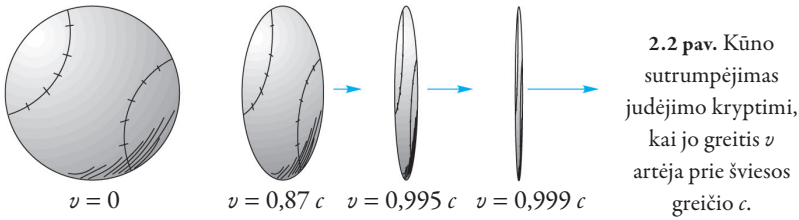
Ilgio reliatyvumas. Pasirodo, kad kūno ilgis irgi nėra pastovus dydis, jis, kaip ir laiko trukmė, priklauso nuo kūno greičio stebėtojo (šiuo atveju – matuotojo) atžvilgiu. Tarkime, kūno ilgis su juo susietoje atskaitos sistemoje yra lygus l_0 . Jeigu tas kūnas yra erdvėlaivis, tai jo ilgi gali išmatuoti ir pro šalį pralekiančio kito erdvėlaivio astronautas (juk matuoti galima ne tik liniuote, bet ir šviesos ar radijo signalais). Šio astronauto požiūriu, pirmasis erdvėlaivis juda greičiu v , tad jo ilgis yra apskaičiuojamas pagal formulę:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} .$$

Taigi antrojo stebėtojo požiūriu (jo atskaitos sistemoje), kūnas sutrumpėja judėjimo kryptimi (2.2 pav.). Gali kilti paprastas klausimas – kaipgi yra iš tikrųjų? Deja, vienintelio teisingo ilgio matavimo, kaip ir vienintelio teisingo laiko trukmės matavimo, rezultato nėra – kiekvienas stebėtojas turi savo tiesą, kuri galioja jo atskaitos sistemoje.

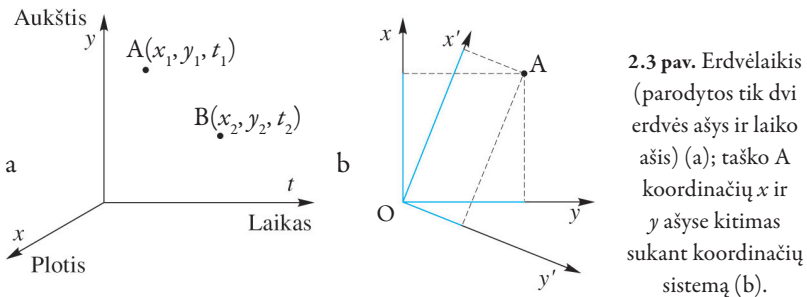
Ryšys tarp erdvės ir laiko. Keturmatė erdvė. Reliatyvumo teorija ne tik atskleidė erdvės ir laiko reliatyvumą, bet ir nurodė šio reiškinio priežastį. Ji štai kokia: erdvė ir laikas nėra nepriklausomi vienas nuo kito – egzistuoja

SPECIALIOSIOS RELIATYVUMO TEORIJOS PARADOKSAI



glaudus ryšys tarp jų. Trys erdvės koordinatės ir laikas sudaro keturmatį erdvėlaikį (deja, pavaizduoti galime tik trimatį atvejį, tad 2.3 pav. parodytos tik dvi erdvės ašys ir laiko ašis). Egzistuojantį ryšį tarp laiko ir erdvės koordinatėlių gali paaikškinti paprastas pavyzdys – ryšio tarp dviejų erdvės koordinatėlių analogija (2.3 pav., b). Juk pereinant nuo xOy sistemos prie $x'Oy'$ sistemos, taško A koordinatės abiejose ašyse keičiasi. Tad keturmatio erdvėlaikio įvedimas vietoj nepriklausomų erdvės ir laiko sąvokų iš tikrųjų reiškia, kad, pereinant nuo vienos atskaitos sistemos prie kitos, įvykių vyksmas erdvėje ir laike yra susiję tarpusavyje. Taigi atstumas tarp dviejų taškų erdvėje ar laiko tarpas tarp dviejų įvykių jau priklauso nuo sistemos pasirinkimo. Antra vertus, visi stebėtojai atstumą tarp dviejų erdvėlaikio taškų (A su koordinatėmis x_1, y_1, z_1, t_1 ir B su koordinatėmis x_2, y_2, z_2, t_2) nustato vienodą.

Kiekvienas stebėtojas, tyrinėdamas reiškinius savo atskaitos sistemoje, gali ir toliau naudotis tradicinėmis trimatės erdvės ir vienmačio laiko sampratomis. Jų tarpusavio ryšys atsiskleidžia tik pereinant nuo vienos atskaitos sistemos prie kitos.



II skyrius

Bet koks kūnas keturmačiame pasaulyje juda tam tikra trajektorija (net jeigu kūnas nejuda erdvėje, jis juda laike), ta judėjimo linija vadinama pasauline linija (2.4 pav.).

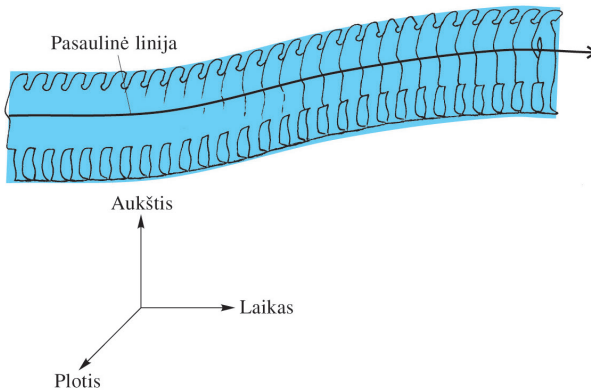
Masės reliatyvumas. Nenuostabu, kad kūno masė pasirodo esanti irgi kintamas dydis:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}};$$

čia m_0 – kūno rimties masė, o m – to paties kūno masė, jam judant greičiu v . Netgi raketai pasiekus antrąjį kosminį greitį (11,2 km/s), jos masė padidėja labai menkai – tik 0,002 proc., tačiau, raketos greičiui v artėjant prie šviesos greičio c , jos masė m ima sparčiai augti ir artėja prie begalybės (2.5 pav.). Kuo didesnė kūno masė, tuo jis tampa inertiškesnis, – reikia vis didesnės jėgos jam dar pagreikinti. Vadinasi, joks kūnas, turintis nelygią nuliui rimties masę, negali pasiekti šviesos greičio. Tokiu greičiu juda tik fotonai, kurių rimties masė yra lygi nuliui.

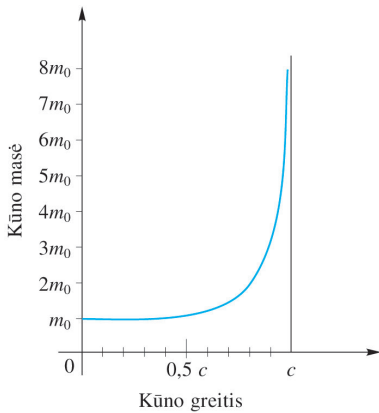
Masės ir energijos ryšys. Masės reliatyvumas aiškinamas taip: didėjant kūno greičiui, didėja ir jo energija, o su mase ją sieja garsusis A. Einsteino sąryšis:

$$E = mc^2.$$



2.4 pav. Žmogaus pasaulinė linija.

SPECIALIOSIOS RELIATYVUMO TEORIJOS PARADOKSAI



2.5 pav. Judančio kūno masės didėjimas, jo greičiui v artėjant prie šviesos greičio c (m_0 – kūno rimties masė).

Taigi masė ir energija nėra nepriklausomi dydžiai, kaip buvo ilgą laiką manyta. Dar daugiau – tie dydžiai yra ekvivalentiški, nes skiriasi tik konstanta (tiesa, ta konstanta c^2 turi dimensiją). Iš tikrųjų, vietoj masės ir energijos galima vartoti tik vieną dydį – energiją, kurios fizikinė prasmė bendresnė. Branduolio ar elementariųjų dalelių fizikoje masė dažnai ir nurodoma energijos vienetais.

Iš to sąryšio išplaukia viena labai svarbi ir įdomi išvada: netgi nejudantis kūnas turi didžiulę energiją $E_0 = m_0 c^2$; čia E_0 – rimties energija, m_0 – kūno rimties masė (nesunku paskaičiuoti, kad viename grame medžiagos slypi apie 10^{14} J energijos – daugiau, negu per dešimt valandų pagamina didžiausia Lietuvos šiluminė elektrinė Elektrėnuose). Tiesa, gamta paslėpė tą energiją už devynių užraktų, ir ja ne taip paprasta pasinaudoti.

Fizikai ir dabar energija dažnai vadina jos lengvai panaudojamą dalį be rimties energijos, o mase – nejudančio kūno masę. Dėl to kartais teigiama, kad masė virsta energija elementariųjų dalelių ar branduolinių reakcijų metu, nors iš tikrųjų tuomet rimties energija virsta įprastinėmis energijos rūšimis.

Specialiosios reliatyvumo teorijos eksperimentinis patikrinimas.

Paradoksaliausios reliatyvumo teorijos išvados yra patikrintos daugeliu eksperimentų ir aukštu tikslumu. Greitis, artimas šviesos greičiui, yra įprastas elementariųjų dalelių pasaulyje, todėl dauguma eksperimentų

II skyrius

yra atlikti tiriant tokias daleles, ir gauti rezultatai eksperimento paklaidų ribose sutampa su reliatyvumo teorijos išvadomis. Be šios teorijos nebūtų įmanoma konstruoti elementariųjų dalelių greitintuvų. Sąryšis tarp masės ir energijos atskleidė, kokie didžiuliai energijos resursai slypi atomo branduolyje; tai leido sukurti branduolinį reaktorių ir, deja, atominę bombą. Tad įvairių „atradėjų“ mėginimai paneigti ar „ištaisyti“ specialiąją reliatyvumo teoriją, pasitaikantys netgi šiais laikais, pasmerkti tokiam pat likimui, kaip ir mėginimai sukurti amžinąjį variklį.

Verta dar kartą pabrėžti, kad specialioji reliatyvumo teorija nepaneigė klasikinės mechanikos – tik nustatė jos taikymo ribas: klasikinė mechanika ir toliau puikiai galioja mums įprastoje srityje, kai kūno judėjimo greitis yra gerokai mažesnis už šviesos greitį.

ALBERTAS EINSTEINAS – ASMENYBĖ IR MOKSLININKAS

Albertas Einsteinas gimė 1879 m. Ulmo mieste, esančiame Pietų Vokietijoje prie Dunojaus upės. Jo protėviai, žydų amatininkai ir prekybininkai, apsigyveno tame krašte maždaug prieš tris šimtmečius, ten asimiliavosi ir laikė save vokiečiais. Vaikystėje A. Einsteinui didžiausią įspūdį padarė trys dalykai: kompasas, tėvo padovanotas 4–5 metų amžiaus vaikui, geometrijos vadovėlis, kurį dvylikametis Albertas išstudijavo savarankiškai, ir po metų vienu ypu perskaityta daugiatomė gamtos mokslų populiarių knygų serija, kuri jį supažindino su šviesa ir kitais fizikiniais reiškiniais.

Albertas nebuvo vunderkindas ir nedaug skyrėsi nuo savo bendraamžių. Jis priprato prie technikos tėvo elektros reikmenų parduotuvėje, tad 1896 m. įstojo į Federalinę politechnikos mokyklą Ciuriche. Ją baigęs, A. Einsteinas dvejus metus negavo nuolatinio darbo. Tik 1902 m. jam pasisekė tapti ekspertu patentų biure Berne. Čia tarnaudamas, Einsteinas 1905 m. paskelbė žurnale *Annalen der Physik* net keturis svarbius mokslo darbus. Pirmajame darbe jis pateikė fotoefekto teoriją, kurioje padarė prielaidą, kad egzistuoja dalelė – šviesos kvantas, vėliau pavadinta fotonu. Už šį darbą po šešiolikos metų mokslininkui buvo paskirta Nobelio fizikos premija. Antrajame darbe jis teoriškai aprašė Browno judėjimą (Brauno

SPECIALIOSIOS RELIATYVUMO TEORIJOS PARADOKSAI

judėjimas) – chaotišką mažų dalelių judėjimą skystyje; tai buvo pirmasis tiesioginis molekulių egzistavimo įrodymas. Be to, tais metais A. Einšteinas suformulavo specialiąją reliatyvumo teoriją ir įrodė garsųjį sąryšį $E = mc^2$.

Po to maždaug dešimtmetį mokslininkas atkakliai kūrė bendrąją reliatyvumo teoriją, kuri atskleidė ryšį tarp erdvės, laiko ir medžiagos, apibendrinė Newtono visuotinės traukos dėsnį. Tuo metu A. Einšteinas jau buvo universiteto profesorius. Jis vis labiau garsėjo ne tik mokslo pasaulyje, bet ir visuomenėje. Nuo XX a. trečiojo dešimtmečio A. Einšteinas tapo gyva įžymybe, apie jį ir keistas jo teorijas nuolat rašė daugelio šalių spauda, jam buvo skiriami įvairūs apdovanojimai bei premijos. Tai nepakeitė mokslininko elgsenos ir gyvenimo būdo – jis liko paprastas, nuoširdus, vaikiškai smalsus, ignoravo visokius formalumus ir akademinėse sferose priimtas normas. A. Einšteino penkiasdešimtmečio proga Berlyno magistratas padovanojo jam miško sklypą ant ežero kranto, netoli Potsdamo; ten mokslininkas pasistatė erdvią vilą ir dažnai plaukiodavo savo jachta. Iširus pirmajai santuokai su studijų drauge, jis vedė savo pusseserę.

A. Einšteinas buvo ištikimas demokratijos, humanizmo ir taikos idealams. Tai nepatiko vokiečių šoviniams, kurie pradėjo jį įvairiais būdais



2.6 pav. Albert Einšteinas (nuotrauka iš tų laikų, kai jis kūrė specialiąją reliatyvumo teoriją).

II skyrius

šmeižti ir persekioti. O naciams atėjus į valdžią, mokslininkas buvo priverstas emigruoti į JAV. Ten dirbo *Institute for Advanced Study* (Fundamentinių tyrimų institutas) Princetone, kur jam buvo suteikta visiška laisvė užsiimti tuo, kuo nori.

A. Einsteino mokslinis metodas buvo toks: išsami mokslinė ir net filosofinė problemos analizė, mintiniai eksperimentai, problemos visumos suvokimas, tarsi jos regimojo vaizdo susidarymas.

Ilgus metus iki pat mirties (1955 m.) A. Einsteinas kūrė suvienytąją lauko teoriją, siekiančią bendrai aprašyti dvi fundamentines jėgas – elektromagnetinę ir gravitacijos, tačiau šios superproblemos neįveikė netgi genialus jo protas; ji nėra išspręsta iki šiol.

Pagal savo darbų reikšmę ne tik fizikai, bet ir filosofijai, bendrai pasaulio sampratai, A. Einsteinas yra laikomas žymiausiu XX a. mokslininku.

EINSTEINO PIRMTAKAI

A. Einsteino darbas, kuriame pateikta specialioji reliatyvumo teorija, buvo parašytas jo vieno, jis netgi nepridėjo literatūros sąrašo. Kaip būdinga genijams, A. Einsteinas stengėsi pats viską išsiaiškinti, savarankiškai nueiti visą sprendimo kelią.

Tos teorijos kūrėjas yra ne kartą pabrėžęs, kad mintį apie būtinumą reformuoti klasikinę fiziką jam sukėlė filosofo ir fiziko Ernsto Macho (Ernstas Machas) darbai. E. Machas, remdamasis daugiausia filosofiniais argumentais, aštriai kritikavo I. Newtono pateiktus absoliučiojo laiko, absoliučiosios erdvės, masės apibrėžimus. Tiesa, jo siūloma nauja tų dydžių samprata buvo labiau filosofinė negu fizikinė, stokojo faktų pagrindo. Anot A. Einsteino, būtent E. Macho paskelbta klasikinės fizikos kritika, o ne nesėkmingi eksperimentai aptikti eterį, suteikė jam postūmį specialiajai reliatyvumo teorijai sukurti.

Paaiškėjus, kad šviesos greitis yra vienodas tiek Žemės judėjimo orbita kryptimi, tiek jai statmena, žinomas XIX a. pabaigos fizikas Hendrikas Lorentzas (Hendrikas Lorencas) rado formalų šio paradokso sprendimą: eksperimentiniai duomenys neprieštarauja klasikinei fizikai, padarius prielaidą, jog judančio kūno ilgis sumažėja. H. Lorentzas netgi suprato, kad,

SPECIALIOSIOS RELIATYVUMO TEORIJOS PARADOKSAI

pereinant nuo nejudančiosios prie judančiosios atskaitos sistemos, erdvė ir laikas turėtų keistis, bet neišvengė čia slypinčių fizikinių priežasčių ir tebebuvo įsitikinęs, kad egzistuoja vienas tikrasis laikas, o jo gautose lygtyse atsirandantis savasis laikas yra matematinė išmonė. Netgi A. Einsteinui paskelbus reliatyvumo teoriją, H. Lorentzas ne iš karto ją pripažino.

Daug arčiau reliatyvumo teorijos atradimo buvo priėjęs kitas žymus to meto fizikas H. Poincaré. Jis pirmasis suformulavo bendrąją reliatyvumo principą. Vis dėlto Poincaré tebetikėjo eterio egzistavimu ir dar neišvengė teorijos visumos.

A. Einsteino dėstytojas Federalinėje politechnikos mokykloje Hermannas Minkowski (Hermanas Minkovskis) (beje, gimęs Kauno priemiestyje Aleksote, tik vėliau su tėvais emigravęs į Vokietiją) suteikė reliatyvumo teorijai grakščią formą, aprašęs erdvę ir laiką kaip keturmatį erdvėlaikį.

Vis dėlto pagrindiniu specialiosios reliatyvumo teorijos kūrėju yra laikomas A. Einsteinas, kuris suformulavo ją kaip nuoseklią žinių sistemą ir pirmasis padarė svarbias fizikines išvadas.

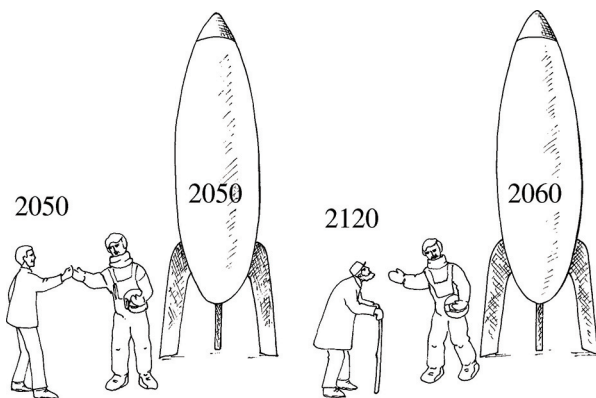
DVYNIŲ PARADOKSAS

Bene didžiausio visuomenės susidomėjimo sulaukė reliatyvumo teorijos išvada, kad judančiojoje atskaitos sistemoje laikas sulėtėja. Kadangi turi sulėtėti ne tik laikrodžių eiga, bet ir cheminės reakcijos bei biologiniai procesai, tai fizika nurodė žmogui įdomią galimybę prailginti savo gyvenimą.

Įsivaizduokime, kad vienas brolis dvynys išvyksta erdvėlaiviu į kosminę kelionę, o antrasis lieka Žemėje. Grįžęs astronautas randa savo brolių, labiau pasenusių (ar netgi savo vaikus, vyresnius už tėvą keliauninką). Kiekvienam sveikai protaujantiems žmogui kyla noras pasakyti: to negali būti.

Dažnai teigiama, kad tai esanti grynai teorinė, gyvenimo nepatikrinta išvada. Juk joks astronautas dar nepatyrė šio laiko sulėtėjimo efekto praktiškai. Vis dėlto 1971 m. buvo skriejama aplink Žemę reaktyviais lėktuvais, paėmus į kelionę labai tikslius laikrodžius. Po skrydžio tų laikrodžių rodmenys buvo palyginti su likusių laboratorijoje tokių pat laikrodžių

II skyrius



2.7 pav. Dvynių paradoksas.

rodmenimis – jie skyrėsi maždaug viena dešimtmilijonaja sekundės dalimi. Vis dėlto tas skirtumas gerokai viršijo paklaidas ir jų ribose sutapo su skaičiavimais, remiantis reliatyvumo teorija.

Daug tikslesni ir įtikinamesni yra eksperimentai su elementariosiomis dalelėmis. Antai viena iš elementariųjų dalelių – miuonas gyvuoja tik apie 10^{-6} s. Tačiau judantys dideliu greičiu miuonai nulekia nuo jų atsiradimo iki suirimo ilgesnį atstumą, negu šviesos spindulys per tą patį laiką (o juk šviesos greitis yra ribinis). Pastarasis įrodymas yra toks akivaizdus, kad jis privertė pripažinti reliatyvumo teoriją netgi nacistinės Vokietijos universitetuose, kur ji buvo uždrausta kaip grynai teorinė, žydo sukurta spekuliacija.

Kartais mėginama paneigti laiko sulėtėjimą pačios reliatyvumo teorijos argumentais. Juk astronautas gali pasirinkti atskaitos sistemą, susietą su jo erdvėlaiviu, ir tuo remdamasis teigti, kad erdvėlaidis nejuda, o juda jo brolis kartu su Žeme, ir būtent brolio laikrodis eina lėčiau. Iš tikrųjų, neįmanoma atskirti rimties nuo tiesiaieigio tolygiojo judėjimo. Tačiau erdvėlaidis, bent jau pakildamas nuo Žemės ir grįždamas į ją, juda su pagreičiu, o tokiu atveju visada galima nustatyti, kas juda, o kas yra rimties būsenos.

Vis dėlto astronautui, norinčiam laimėti bent dešimtį gyvenimo metų, reikėtų judėti greičiu, lygiu $0,99 c$, maždaug pusantrų metų. Tad dvynių paradokso pritaikymas praktikoje – labai tolimos ateities perspektyva.

AR GALI KAS NORS JUDĖTI GREIČIAU UŽ ŠVIESĄ?

Neskubėkite sakyti – tai draudžia specialioji reliatyvumo teorija, ir todėl toks judėjimas neįmanomas.

Tarkime, jūs naktį nukreipėte galingo lazerio spinduliu pluoštelį į Mėnulį ir staiga pasukote prietaisą. Pluoštelis perbėgo Mėnulio paviršiumi per mažą sekundės dalį, netgi greičiau už šviesą – juk judėjo ne fizinis kūnas, o tik šviesos zuikutis. Iš tikrųjų, pagal reliatyvumo teoriją, judėti greičiau už šviesą ar netgi jos greičiu negali tik kūnas, turintis rimties masę.

Fotono rimties masė lygi nuliui, jis visada juda šviesos greičiu. O galbūt egzistuoja dalelė, kuri visada juda greičiau už šviesą? Tokia hipotetinė dalelė, kurios egzistavimas neprieštarauja reliatyvumo teorijai, buvo pavadinta tachionu (gr. *tachys* – greitas).

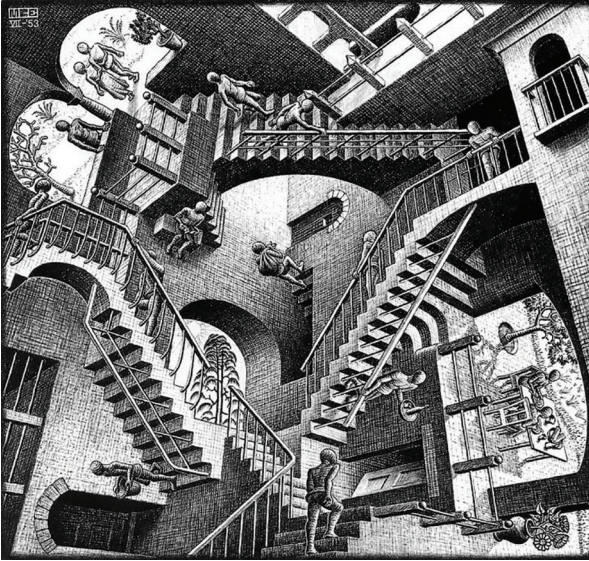
Tachionas turėtų labai neįprastas savybes: netekdamas energijos, jis greitėtų, o įgydamas energijos – lėtėtų. Jam taip pat būtų sunku sulėtėti iki greičio, artimo šviesos greičiui, kaip įprastam kūnui – pagreitėti iki tokio greičio. Šviesos greitis tachionui būtų irgi neįveikiama riba, bet mažiausio greičio riba.

Deja, judant greičiu, didesniu už šviesos greitį, priežastis gali susikeisti su pasekme. Taigi tachionai galėtų perduoti informaciją iš dabarties į praeitį. Dėl to tachionų egzistavimas kelia rimtą abejonę, nors jų hipotezė kategoriškai ir neatmetama. Buvo sumanyta bei atlikta nemažai eksperimentų tachionams aptikti, betgi tik vienas iš jų buvo sėkmingas ir tą patį teko paneigti.

PAŽINTINĖ RELIATYVUMO TEORIJOS REIKŠMĖ

Kartą Albertas Einšteinas parašė Charlie'ui Chaplinui (Čarlis Čaplinas): „Jūs visiems žinomas todėl, kad visi jus supranta.“ Chaplinas atsakė: „Jūs visiems žinomas todėl, kad niekas jūsų nesupranta.“ Iš tikrųjų, Einšteinas ir reliatyvumo teorija yra tapę šiuolaikinės civilizacijos simboliais, išreiškiančiais eilinį žmogų stebinančią ir bauginančią mokslo galią, jo sudėtingumą bei paradoksalumą.

Specialioji reliatyvumo teorija, skirtingai nuo bendrosios reliatyvumo teorijos, nėra labai sudėtinga, bet nespecialistui – tai intelektualinis Everestas.



2.8 pav. Mauritso Eschero paveikslas „Reliatyvumas“.

Kitų sričių mokslininkus, menininkus bei visuomenę veikia ne tiek tikrieji šios teorijos atradimai, kurie dažnai suvokiami labai supaprastintai ar net naiviai iš populiarių perpasakojimų, kiek bendros pažintinės idėjos, išplaukiančios iš reliatyvumo teorijos. Jos pasiekia visuomenę daugiausia per filosofiją. Tarp filosofijos, kuri formuoja bendrą požiūrį į pasaulį ir žmogų sistemą, ir fizikos, atskleidžiančios bendriausius gamtos dėsnius, nuo seno yra glaudus ryšys. Daugelis filosofų pripažįsta, kad būtent šiuolaikinė fizika, ypač reliatyvumo teorija, suteikia filosofijai daug naujų paskatų, bendrų pažintinių idėjų.

I. Newtono mechanika įtvirtino požiūrį, kad gamtoje viskas yra griežtai apibrėžta ir vienareikšmiškai dėsninga, o A. Einsteino teorija išskėlė reliatyvumo ir paradoksalumo idėjas. Reliatyvumo teorija atskleidė, kad netgi tokios fundamentalios sąvokos, kaip erdvė ir laikas, nėra absoliučios, kad kūnų ilgis, laiko tėkmė priklauso nuo atskaitos sistemos parinkimo, taigi susiję su stebėtoju. Kiekvienas stebėtojas turi savo tiesą, ir nėra vienos absoliučios tiesos. Vis dėlto iš šios teorijos išplaukiantis reliatyvizmas neveda į skepticizmą: kiekvieno stebėtojo tiesa yra griežtai apibrėžta ir egzistuoja vienareikšmiai ryšiai tarp jų. Be to, ir reliatyvumo teorijoje yra absoliučių,

SPECIALIOSIOS RELIATYVUMO TEORIJOS PARADOKSAI

nekintamų dydžių, vienodų visiems stebėtojams, kaip antai šviesos greitis ar atstumas tarp dviejų taškų keturmatėje erdvėje. O fizikos dėsniai yra vienodi visose atskaitos sistemose, judančiose viena kitos atžvilgiu pastoviu greičiu.

Reliatyvumo teorija labai akivaizdžiai parodė, kad netgi bendrieji gamtos dėsniai galioja iki tam tikrų ribų. Dėsniai, aprašantys mums jau pažįstamą pasaulio dalį, gali visiškai netikti kitose, neištirtose srityse. Pasaulis yra daug sudėtingesnis, negu atrodo remiantis ribota kasdiene patirtimi, ypač vadina-muoju sveiku protu. Gamtos dėsniai įgyja kitokį pobūdį kintant greičiams, energijoms ir kitiems dydžiams bei reiškinių mastui.

Šios išvados turi svarbią pažintinę reikšmę. Aišku, ir jų negalima absoliu-tinti. Antai iš fizikos sąvokų reliatyvumo tikrai neišplaukia moralinis reliaty-vizmas – pagrindinių moralinių vertybių sąlygiškumas, kaip kartais naiviai mėginama įrodinėti.

Taigi reliatyvumo teorija, kaip viena iš bendriausių ir keisčiausių fizikos teorijų, turėjo nemažos įtakos XX a. filosofijai ir kultūrai, kėlė neįprastas pažintines idėjas, formavo šiuolaikinę pasaulio sampratą.

FIZIKOS ATRADIMAI IR SVEIKAS PROTAS

Sveiku protu vadinamas požiūris, paremtas kasdiene patirtimi, intuicija ir tradiciniu pasaulio suvokimu. Toks požiūris dažnai laikomas patikimu ir neklaidingu. Iš tikrųjų, tyrinėdami mūsų pojūčiams prieinamus reiškinius, galime pasikliauti sveiku protu. Fizika savo raidos pradžioje taip pat rėmėsi įprastine patirtimi ir stebėjimų tiesioginiu apibendrinimu. Tad pasaulis buvo suskirstytas į kintamą Žemės ir nekintamą dangaus pasaulius; priimta, kad Saulė ir žvaigždės sukasi aplink Žemę, o ne atvirkščiai; padaryta išvada, kad kūno laisvojo kritimo greitis yra proporcingas jo svoriui ir pan. Dėl savo akivaizdumo tie teiginiai ilgai vyravo moksle, bet, atlikus nuodugnius tyri-mus, teko jų atsisakyti.

Fizikai tapus tiksliuoju mokslu, mokslininkai ėmė remtis tiktai ekspe-rimentų rezultatais, matematinio jų apibendrinimu, lygčių sprendiniais. Aišku, mokslininkas irgi yra žmogus, tad jis neretai pasikliauja sveiku protu, ypač formuluodamas problemą ar kurdamas hipotezę, kai mokslo faktai nėra gausūs ar tikslūs. Kartais tai padeda išvengti klystkelių, atmesti nepagrįstas

II skyrius

hipotezes. Deja, fizikos istorija liudija, kad mokslininkai, kurie pernelyg pasikliudavo sveiku protu, neretai atmesdavo teisingas idėjas kaip neįtikimas, pražiopsodavo atradimus. Keletą tokių pavyzdžių minėjome šiame ir praeitame skyriuose: W. Crookesas, pastebėjęs, kad katodinio vamzdelio aplinkoje pajuodoja fotografinės plokštelės, nusprendė, kad jos yra nekokybiškos, užuot įtaręs nežinomų spindulių poveikį; H. Lorentzas, matematiškai nustatęs, kad kiekvienai atskaitos sistemai reikia įvesti savąjį laiką, pamane tai esant matematinio paradoksu ir pan.

Kuo labiau fizika tolo nuo žmogaus pojūčiams prieinamos srities, tuo labiau gaunami rezultatai prieštaravo sveiko proto požiūriui. Juk jis yra susiformavęs gana ribotos mūsų patirties pagrindu, remiasi sąvokomis ir dėsningumais, kurie visiškai nepritaikomi žmogaus pojūčiais nepasiekiamose srityse. Gamta nekartoja pati savęs – ji kiekvienoje srityje kitokia.

Šiuolaikinė fizika neretai vadinama keista, paradoksalia ar net beprotiška būtent remiantis sveiko proto požiūriui. Tiesa, palaipsniui su neįprastais mokslo teiginiais apsiprantama, ir naujoms kartoms jie jau nebekelia nuostabos, netgi patys tampa sveiko proto požiūriui. Beveik nieko jau nebestebina nei Žemės sukimasis aplink Saulę, nei elektros srovės sukeliama reiškiniai, nei Röntgeno spinduliai gauta gyvo žmogaus kaulų nuotrauka. Apsiprasti su paradoksaliomis reliatyvumo teorijos išvadomis ar mikropasaulio dėsningumais yra daug sunkiau, bet ir jie po keleto dešimtmečių ar net anksčiau nebeatrodys sunkiai suvokiami.

Taigi neskubėkime neigti ar atmesti mokslo tiesų vien todėl, kad jos prieštarauja sveikam protui. Verčiau pamėginkime jas suprasti.

III

KEISTOS MIKRODALELIŲ ELGSENOS TAISYKLĖS

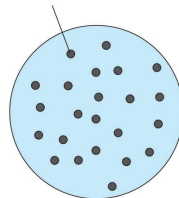
Atomo modeliai. Pirmos elementariosios dalelės – elektrono atradėjas Josephas Johnas Thomsonas XIX a. pabaigoje pasiūlė tokį atomo modelį: teigiamuoju elektros krūviu užpildytoje sferoje išsidėstę, kaip razinos kekse, neigiamoji elektroni (3.1 pav.).

J.J. Thomsonas spėjo, kad kiekvienas elektronas spinduliuoja tam tikro dažnio šviesą, taigi jų skaičius atome turėtų būti gana didelis, gal daugiau kaip tūkstantis (juk elektronai yra labai lengvi). Cheminių elementų savybių periodiškumą paaiškinant elektronų išsidėstymas tam tikrais sluoksniais.

J.J. Thomsono mokinio Ernesto Rutherfordo (Ernestas Rezerfordas) laboratorijoje 1911 m. atlikti eksperimentai paneigė šį modelį. Radžio sklaidžiamomis alfa dalelėmis buvo apšaudoma aukso folija (3.2 pav., a). Dauguma alfa dalelių pralėkdavo per ją, beveik nekeisdamos savo judėjimo krypties, ir tai parodėdavo žybtelėjimas dalelei pataikius į ekraną, padengtą fluorescuojančiąja medžiaga. Tačiau viena dalelė iš maždaug 10 000 atšokdavo atgal. Susidūrimas su elektronu, kurio masė per septynis tūkstančius kartų mažesnė už alfa dalelės masę, taip negalėjo pakeisti jos judėjimo.

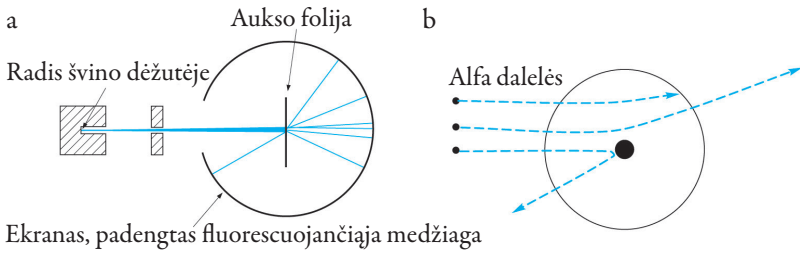
Remdamasis šiais eksperimentais, E. Rutherfordas iškėlė hipotezę, kad atomas yra sudarytas iš mažo masyvaus branduolio (į jį tiesiogiai pataikiusi alfa dalelė atbloškama atgal (3.2 pav., b)) ir elektronų debesėlio. Atomas yra neutralus, todėl branduolys turi turėti teigiamąjį

Elektronas



3.1 pav. Elektrono atradėjas

J.J. Thomsonas įsivaizdavo atomą kaip teigiamuoju elektros krūviu užpildytą sferą su joje išsibarsčiusiais elektronais. Modelis pasirodė esąs neteisingas.



3.2 pav. Istorinis E. Rutherfordo eksperimentas, kuriuo buvo įrodyta, kad atomas turi mažą masyvų branduolį (dalelių trajektorijos pažymėtos mėlynomis linijomis) (a); atomo modelis, paaiškinantis eksperimento rezultatus: masyvus branduolys apsuptas elektronų debesėlio (atskiri elektronai neparodyti) (b).

elektros krūvį. (Kaip vėliau paaiškėjo – šis krūvis, matuojamas elementariojo (protono) krūvio vienetais, yra lygus cheminio elemento eilės numeriui periodinėje lentelėje.) O idant elektronai nenukristų ant branduolio, jie turi sukis aplink jį, kaip planetos aplink Saulę.

Deja, šiam gražiam modeliui buvo galima prikišti vieną esminį trūkumą: elektronas, su pagreičiu skiedamas orbita, turi skleisti elektromagnetines



3.3 pav. Ernestas Rutherfordas – atomo bei atomo branduolio fizikos pradininkas.

KEISTOS MIKRODALELIŲ ELGSENOS TAISYKLĖS

bangas, tad jis greitai netektų energijos ir nukristų ant branduolio. O juk taip neatsitinka – atomai yra stabilūs.

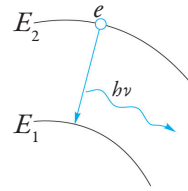
Netrukus pas Ernestą Rutherfordą stažuotis atvyko jaunas, ką tik apgynęs daktaro disertaciją, danų fizikas Nielsas Bohras. Jam kilo idėja, kad elektrono stabilumas orbitoje gali būti susijęs su draudimu šiai dalelei po truputį netekti energijos, t. y. su energijos kvanto egzistavimu. N. Bohras suformulavo dvi pagrindines elektrono elgsenos atome taisykles:

1. Elektronas atome gali judėti tik tam tikromis orbitomis, kuriose turi griežtai apibrėžtą energiją.
2. Peršokdamas iš orbitos, kur jo energija didesnė (E_2), į orbitą, kur energija mažesnė ($E_1 < E_2$), elektronas išspinduliuoja fotoną, kurio energija:

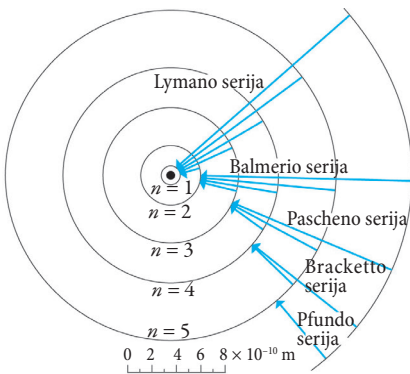
$$h\nu = E_2 - E_1;$$

čia h – Plancko konstanta, o ν – šviesos dažnis (3.4 pav.). Antra vertus, elektronas gali būti sužadintas ir peršokti iš orbitos, kur jo energija E_1 , į orbitą, kur jo energija $E_2 > E_1$, tik sugėręs tokį pat fotoną.

Remdamasis tais principais, N. Bohras sukūrė paprasčiausio atomo – vandenilio – teoriją ir gavo formulę leidžiamosioms elektrono energijos vėrtėms, atitinkančioms įvairias galimas jo orbitas (3.5 pav.). Energijos



3.4 pav. Elektronas, peršokdamas iš orbitos, kur jo energija E_2 didesnė, į orbitą, kur energija E_1 mažesnė, išspinduliuoja fotoną $h\nu$.

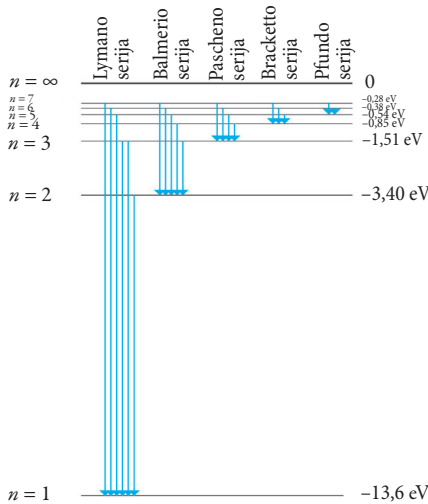


3.5 pav. N. Bohro pasiūlytas vandenilio atomo modelis. Pavaizduotos pirmosios penkios elektrono orbitos (n – orbitos numeris) ir galimi šuoliai tarp jų. Visi šuoliai į tą pačią orbitą sudaro seriją, kuri vadinama ją atradusio mokslininko vardu.

III skyrius

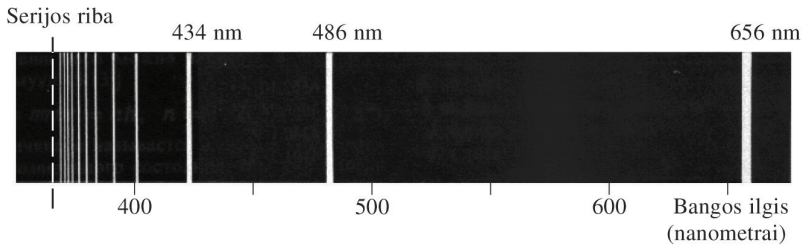
skalėje tas leidžiamąsias vertes patogų pavaizduoti kaip energijos lygmenis (3.6 pav.), tuomet rodyklės tarp lygmenų parodo elektrono šuolius, kuriems vykstant atomas spinduliuoja fotonus. Bohro nustatytu sąryšiu tarp šviesos dažnio ir elektrono energijos pradinėje ir galinėje būsenose galima paaiškinti, kodėl atomas spinduliuoja tik tam tikro dažnio šviesą (3.7 pav.). Apskaičiuotas vandenilio spinduliuotės spektras tiksliai sutapo su nustatytu eksperimentiškai.

Vis dėlto N. Bohro sukurta teorija nebuvo nuosekli: elektronas orbitoje turėjo judėti pagal klasikinės mechanikos dėsnius, o spinduliuoti pagal naujus – kvantinius dėsnius. Be to, teorija tiko tik vandenilio atomui ir neaprašė daugielektroninių atomų spektrų, kurie kur kas sudėtingesni, o svarbiausia – ji neatskleidė tokios keistos elektrono elgsenos priežasčių.



3.6 pav. Energijos lygmenys (leidžiamosios energijos vertės) vandenilio atome. Lygmuo n atitinka elektrono energiją orbitoje n (žr. 3.5 pav.), tad šuolius tarp orbitų patogų vaizduoti kaip šuolius tarp lygmenų. Iš viso yra begalinis skaičius lygmenų, kurie tankėdami artėja prie ribos, atitinkančios nulinę energiją (elektronas atome turi neigiamą energiją, nes iš atomo jis gali išstrūkti tik įgijęs energijos).

KEISTOS MIKRODALELIŲ ELGSENOS TAISYKLĖS

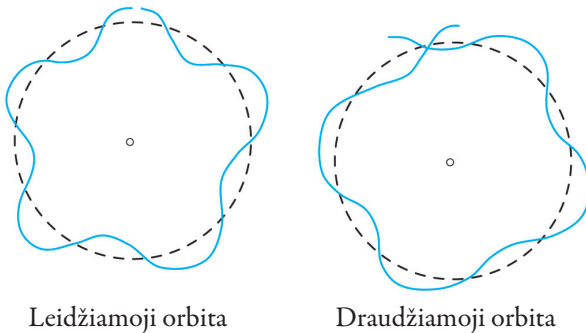


3.7 pav. Balmerio serija vandenilio spektre. Baltos linijos atitinka tam tikro dažnio šviesą, spinduliuojamą vykstant elektronų šuoliams į lygmenį $n = 2$ (žr. 3.6 pav.). Spektro linijos dažnis išreiškiamas pradinės ir galinės energijų skirtumu pagal N. Bohro formulę.

Dalelės banga ir jos fizikinė prasmė. N. Bohro ieškojimus 1923 m. pratęsė prancūzų didikas Louis de Broglie (Lui de Broilis) rengdamas daktaro disertaciją. Jis iškėlė tokią idėją: jeigu šviesos bangos kai kuriuose eksperimentuose elgiasi kaip elementariųjų dalelių fotonų srautas, tai gal ir kitos elementariosios dalelės, kaip antai elektronas ar protonas, turi banginių savybių. L. de Broglie užrašė tokią išraišką judančios dalelės bangos ilgiui nustatyti:

$$\lambda = \frac{h}{mv};$$

čia m – dalelės masė, o v – jos greitis. Atome leidžiamos yra tos elektrono orbitos, kuriose telpa sveikasis bangų skaičius, t. y. gali susidaryti stovinčiosios bangos (3.8 pav.).

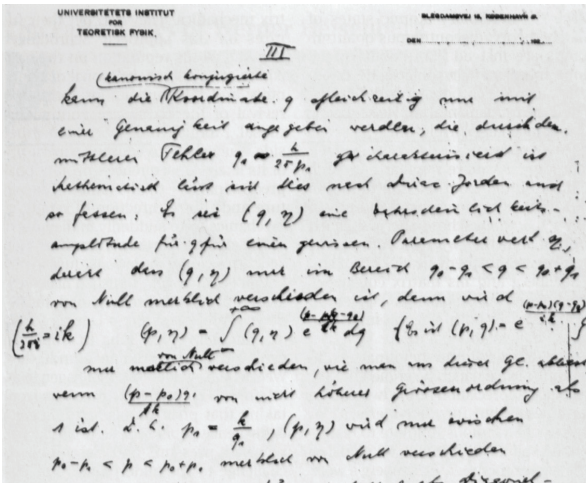


3.8 pav. Atome yra leidžiamos tos elektrono orbitos, kuriose telpa sveikasis elektrono bangų skaičius (susidaro stovinčiosios bangos).

1927 m. elektronų bangas pavyko aptikti eksperimentiškai: nukreipus elektronų pluoštėlį į kristalo plokštelę, buvo gautas difrakcinis vaizdas.

Austrų fizikas Ervinas Schrödingeris (Ervinas Šrėdingeris) pasiūlė funkciją, aprašančią elektrono bangą, – banginę funkciją, arba ψ (psi) funkciją, – ir užrašė jos lygtį. Tačiau nebuvo aišku, kokią fizikinę prasmę turi ši funkcija ir kaip elektrono banga yra susieta su pačia dalele. L. de Broglie spėjo, kad tai yra banga „pilotas“, vedanti dalelę. Nepasitvirtinus įvairioms hipotezėms, tikrąją banginės funkcijos prasmę išvėlgė Maxas Bornas (Maksas Bornas): elektrono banginės funkcijos kvadratas yra susijęs su tikimybe aptikti elektroną toje vietoje (funkcijos modulio kvadratas, padaugintas iš tūrio elemento, lygus tikimybei rasti elektroną toje erdvės dalyje).

Neapibrėžtumo principas ir neapibrėžtumų sąryšis. Taip palaipsniui, daugelio mokslininkų pastangomis, ėmė ryškėti kvantinė mechanika, aprašanti ne tik elektronų judėjimą atome, bet ir kitų mikrodalelių elgseną. Šios teorijos fizikinį pagrindą padėjo 1927 m. Werneris Heizenbergas (Verneris Heizenbergas), suformulavęs neapibrėžtumo principą (3.9 pav.) Tai pagrindinis kvantinės mechanikos principas, paaiškinantis, kaip tas pats objektas gali būti ir dalelė, ir banga, ir kodėl mikropasaulyje aprašo tikimybiniai dėsniai.



3.9 pav.
W. Heizenbergo
laiško W. Pauliui
fragmentas,
kuriame pirmą
kartą pateiktas
neapibrėžtumu
sąryšis (q žymi
koordinatę, p –
judėjimo kiekį).

KEISTOS MIKRODALELIŲ ELGSENOS TAISYKLĖS

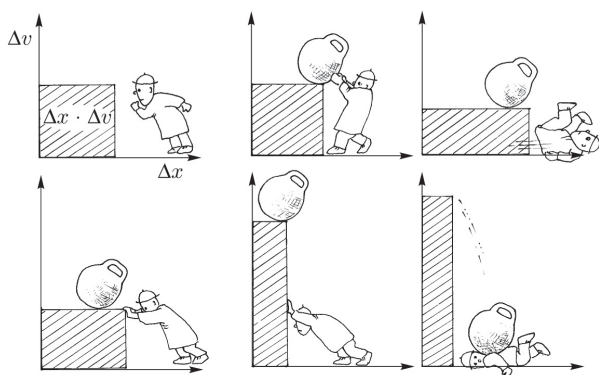
Neapibrėžtumo principas teigia, kad neįmanoma vienu metu kiek norima tiksliai nustatyti elektrono ar kitos mikrodalelės padėties ir jos greičio.

Jeigu tam tikru laiko momentu elektrono padėtis (koordinatė) nustatoma Δx tikslumu, o elektrono judėjimo kiekis – Δp tikslumu, tai tų paklaidų sandauga negali būti mažesnė už Plancko konstantą h , padalytą iš 4π :

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{1}{4\pi} h.$$

Ši nelygybė yra vadinama neapibrėžtumų sąryšiu. Anot jo, kuo mažesnis elektrono (ar kitos dalelės) padėtis neapibrėžtumas, tuo didesnis būna jos judėjimo kiekio arba greičio neapibrėžtumas (3.10 pav.). Vadinasi, jei elektrono greitis nustatomas labai tiksliai, tuomet jo padėtis pasidaro visiškai neapibrėžta ir elektronas elgiasi kaip banga. Ir atvirkščiai – jeigu elektrono padėtis nustatoma gana tiksliai, tuomet jis tampa panašus į dalelę. (Vis dėlto, kaip įprasta, elektronus bei kitas elementariąsias daleles ir toliau vadinsime dalelėmis, nors iš tikrųjų jos turi ir banginių, ir dalelinių savybių.)

Mūsų įprastinėje aplinkoje galima nekreipti dėmesio į stebėjimo poveikį stebimam objektui. Tačiau tai negalioja mikropasaulyje, nes šviesos kvanto – fotono – poveikis elektronui ar kitai elementariajai dalelei nėra labai mažas. Taigi stebėjimo ar matavimo metu visada daugiau ar mažiau pasikeičia tiriamos mikrodalelės būseną. Kuo tiksliau nustatoma dalelės padėtis, tuo stipriau ji yra paveikiama stebėjimo metu (nes reikia apšviesti trumpesnio

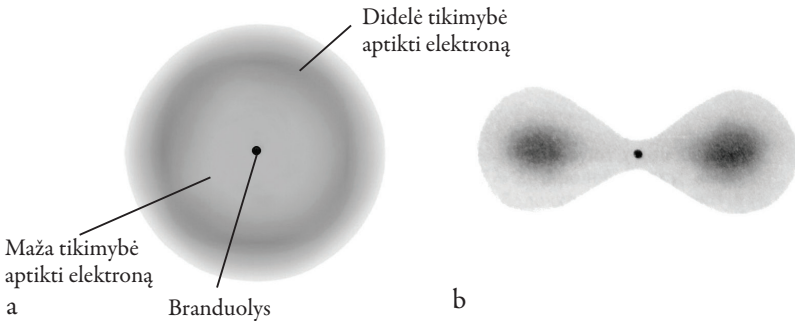


3.10 pav.
Nesėkmingi mėginimai pergudrauti neapibrėžtumų sąryšį. Sumažinus dalelės koordinatės matavimo paklaidą Δx , padidėja dalelės greičio matavimo paklaida Δv .

bangos ilgio šviesa, kurios fotonas turi didesnę energiją) ir tuo labiau neapibrėžtas pasidaro dalelės greitis, ir atvirkščiai. Mikropasaulyje bet koks matavimas – tai kišimasis į mikrodalelių būtį.

Taigi kvantinė mechanika, kaip ir reliatyvumo teorija, teigia, kad kiekvieno stebėtojo požiūris gali būti kitoks, tik reliatyvumo teorijoje jis priklauso nuo stebėtojo greičio, o kvantinėje mechanikoje – nuo eksperimento sąlygų. Abiem atvejais absoliučios tiesos nėra. Mikropasaulyje joks matavimas ar stebėjimas negali apeiti neapibrėžtumų sąryšio.

Klasikinė mechanika leidžia nustatyti dalelės padėtį bei greitį norimu tikslumu ir griežtai numatyti tolesnį jos judėjimą. O remiantis kvantine mechanika, net turint visą įmanomą informaciją apie elektroną, iš principo negalima tiksliai pasakyti, kur jis bus kitu laiko momentu. Išsprendus Schrödingerio lygtį ir suradus elektrono banginę funkciją, galima tik apskaičiuoti tikimybę elektronui būti vienoje ar kitoje atomo vietoje. (Taigi elektrono orbitą atome reikia suprasti ne kaip griežtą jo judėjimo trajektoriją, bet kaip tikimybės aptikti elektroną įvairiose vietose pasiskirstymą, atitinkantį tam tikrą leidžiamąją elektrono energijos vertę (3.11 pav.) Tikimybinis mikrodalelių aprašymo pobūdis tiesiogiai išplaukia iš neapibrėžtumų sąryšio.



3.11 pav. Atome elektroną vaizduoja neigiamojo krūvio debesėlis – tikimybės aptikti elektroną įvairiose vietose pasiskirstymas. Kur debesėlis tamsesnis – ten didesnė elektrono buvimo tikimybė. Skirtingas leidžiamasis energijos vertes turinčius elektronus atitinka skirtingos formos ar dydžio debesėliai. Toks debesėlis ir vadinamas elektrono orbita.

Elektronų tapatumas ir Paulio principas. Gyvūnijos ar augalijos pasaulyje kiekvienas egzempliorius kitoks. O elektronai, kaip ir kitos elementariosios dalelės, niekuo nesiskiria vienas nuo kito: kiekvienas iš jų turi tokį pat elektros krūvį, lygiai tokią pat rimties masę, ir dar vieną savotišką savybę, nepasitaikančią mūsų įprastinėje aplinkoje, – sukinių (jis iš pradžių buvo sietas su elektronu, tarsi vilkelio, sukimusi apie savo ašį; vėliau teko pripažinti, kad tai grynai kvantinė dalelės savybė, bet pavadinimas išliko). Tapačios yra ir kitos mikrodalelės, tarp jų ir vienos rūšies atomai.

Laisvasis elektronas gali įgyti bet kokią energiją. Tačiau atome elektronas yra labai suvaržytas – jo energija bei kai kurios kitos charakteristikos gali įgyti tik tam tikras griežtai apibrėžtas vertes, kurios išreiškiamos Plancko konstanta ir sveikaisiais skaičiais, vadinamais kvantiniais skaičiais.

Dar vieną svarbią draudimo taisyklę, galiojančią atome, 1925 m. suformulavo austrų fizikas Wolfgangas Paulis (Wolfgang Paulis). Paulio principas draudžia dviem elektronams atome turėti visus vienodus kvantinius skaičius ir būti tos pačios būsenos (užimti tą pačią orbitą). Elektronai, kaip ir visi fiziniai kūnai, stengiasi užimti būseną, kur jų energija yra mažiausia, t. y. arčiausiai juos traukiančio branduolio. Didėjant atominiam skaičiui, elektronai užima vis tolimesnes orbitas, nes mažesnės energijos būsenos jau esti užpildytos, ir daugiau elektronų ten negali pakliūti. Tam tikras skaičius panašių (bet ne vienodų) orbitų sudaro elektronų sluoksnį. Taigi didėjant cheminio elemento eilės numeriui periodinėje lentelėje, keičiasi atomo sandara, ir tai nulemia fizikinės bei cheminės atomo savybes. Tai irgi paaiškino N. Bohras.

Pagrindiniai kvantinės mechanikos principai buvo suformuluoti 1923–1927 m. Keistos mikrodalelių elgsenos taisyklės buvo patvirtintos įvairiais eksperimentais ir panaudotos daugelyje svarbių ir labai naudingų išradimų, apie kuriuos pasakojama šiame, taip pat VI ir VII skyriuose.

NIELAS BOHRAS IR „FIZIKŲ DARŽELIS“

Kvantinei mechanikai sukurti prireikė didžiulių intelektinių pastangų, nes jos principai negalėjo būti nustatyti palapsniui tolstant nuo klasikinės

III skyrius

fizikos, – buvo būtinas kokybinis pažinimo šuolis. Vienam mokslininkui, netgi genijui, toks proveržis, matyt, nebūtų įmanomas. Kvantinė mecha- nika buvo suformuluota kolektyvinio „smegenų šturmo“ metu – šią teoriją per ketvertą metų sukūrė grupė jaunų, talentingų fizikų – L. de Broglie, E. Schrödingeris, W. Heisenbergas, W. Paulis, M. Bornas ir kiti, remda- miesi pradinėmis N. Bohro idėjomis ir jo sutelkti tam šturmui.

1920 m. N. Bohras Kopenhagos universitete įkūrė Teorinės fizikos institutą, į kurį netrukus ėmė keliauti, kaip musulmonai į Meką, viso pasau- lio fizikai, kuriems rūpėjo atomo teorijos problemos.

N. Bohras pasižymėjo ne tik skvarbiu protu, intuicija, bet ir retu gebė- jimu ieškoti problemos sprendimo diskusijų metodu, dalytis idėjomis ir jas žadinti. Aplinkinius žavėjo jo geranoriškumas, principingumas, humoro jausmas. Mokslininkas elgėsi kaip ieškantis tiesos, o ne ją žinantis. Jis nebijodavo prisipažinti klydęs ir sutikti su pašnekovo argumentais. Kitaip sakant, N. Bohras mokėjo kurti intelektualinio pakilimo, kūrybinių ieškojimų atmosferą. Įvairių šalių fizikai atvykdavo pas jį pasikeisti idėjomis, aptarti gautų rezultatų ir kilusių problemų. Aplink N. Bohrą, lyg aplink atomo



3.12 pav. Niels Bohr (1922 m).

branduolį, sukosi plejada kvantinės mechanikos kūrėjų, kurie juokais buvo vadinami Bohro „fizikų darželiu“.

Kiekvieną svečią, netgi dar mažai žinomą fiziką, N. Bohras pasitikdavo žodžiais: „Kaip malonu, kad jūs atvykote. Mes daug ko iš jūsų pasimokysime.“ Svečio pasakojimą jis visuomet palydėdavo fraze, kad tai labai įdomu, nuoširdžiai pasidžiaugdavo naujais rezultatais, bet vėliau taikliais klausimais padėdavo pačiam pašnekovui įžvelgti silpnąsias savo darbo vietas. N. Bohro geranoriškas nebuvo tolygus nuolaidumui, jis visada principingai siekė mokslo tiesos, bet tai darė vengdamas kategoriškų teiginių ir gerbdamas oponentą.

E. Schrödingeris, užrašęs elektrono banginės funkcijos lygtį, atvyko aptarti jos su N. Bohru ir netikėtai susirgo. Jis buvo paguldytas N. Bohro namuose, ir iš ligonio kambario ištisas valandas sklido tylus, bet atkaklus šeimininko balsas. Per naktį sugalvojęs naujų argumentų, jis iš ryto žadindavo savo svečią, ir vėl prasidėdavo diskusijos.

Kito fiziko teoretiko W. Heisenbergo ir N. Bohro ginčai neretai tęsdavosi iki vėlumos. Po vienos tokios jų polemikos W. Heisenbergui kilo neapibrėžtumų sąryšio idėja.

N. Bohras, panašiai kaip A. Einšteinas, mėgo nagrinėti bendriausias problemas, tik pastarasis tai darė vienuoje, o Bohras dažniausiai – jaunimo būryje. Įdomu, kad A. Einšteinas, atlikęs svarbių darbų iš kvantinės teorijos jos raidos pradžioje, prie kvantinės mechanikos sukūrimo prisidėjo... tik atkaklia jos kritika. Jam atrodė, kad elektrono elgsena galinti būti keista, bet ji turi būti griežtai apibrėžta, nes „Dievas nežaidžia kauliukais.“ Tad Einšteinas nuolat išgalvodavo įvairius mintinius bandymus, paneigiančius neapibrėžtumų sąryšį, o Bohras juos išradingai kritikuodavo.

N. Bohras ne tik iškėlė keletą svarbių kvantinės mechanikos idėjų ar padėjo joms atsirasti; jam vadovaujant taip pat susiformavo fizikinė ir filosofinė kvantinės mechanikos samprata, vadinamoji Kopenhagos interpretacija, kuri dabar yra visuotinai priimta moksle.

Pripažįstant ypatingus N. Bohro nuopelnus atomo fizikai, vienas iš dirbtiniu būdu gautų sunkiųjų cheminių elementų – 107-asis periodinės lentelės elementas – buvo pavadintas borium (Bh).

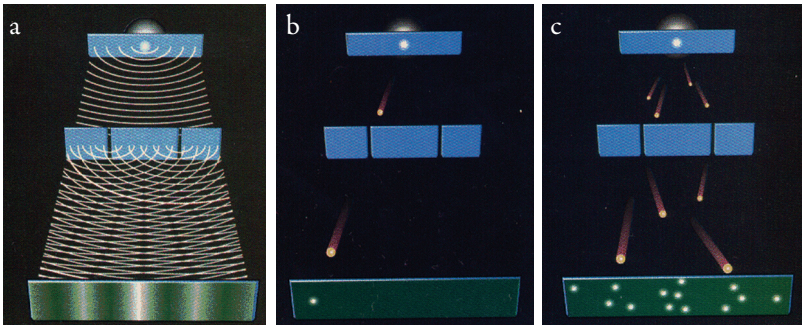
BANGOS-DALELĖS DVEJOPUMAS

Sunku patikėti kvantinės mechanikos išvada, kad ta pati elementarioji dalelė gali turėti ir banginių, ir dalelinių savybių. Argi nėra būdo tikrajai elementariosios dalelės prigimčiai išaiškinti?

Panagrinėkime eksperimentą, kuris buvo laikomas akivaizdžiu šviesos banginės prigimties įrodymu. Apšvietus du artimus, pertvaroje esančius plyšelius spindulių pluoštais, ekrane atsiranda šviesių ir tamsių dėmelių raštas – interferencinis vaizdas (3.13 pav., a).

Tarkime, ekranas yra padengtas fluorescuojančiaja medžiaga. Jeigu šviesa sudaryta iš fotonų, tai kiekvienas iš jų, pataikęs į ekraną, turi sukelti silpną žybsnį. Jautrūs šiuolaikiniai prietaisai (ir netgi pripratusi prie tamsos žmogaus akis) geba užfiksuoti tokį pavienį žybsnį (3.13 pav., b). Iš tikrųjų, apšvietus plyšelius menka šviesa, užregistruojami silpni žybsniai įvairiose ekrano vietose. Iš daugybės jų, kurių kiekvienas atitinka šviesos dalelės fotono smūgį į ekraną, susideda interferencinis vaizdas, liudijantis apie šviesos banginę prigimtį (3.13 pav., c).

Galbūt banginės savybės būdingos ne vienam fotonui, o dideliam jų skaičiui? Nukreipkime į plyšelius tokią silpną šviesą, kad vienu metu ekrane



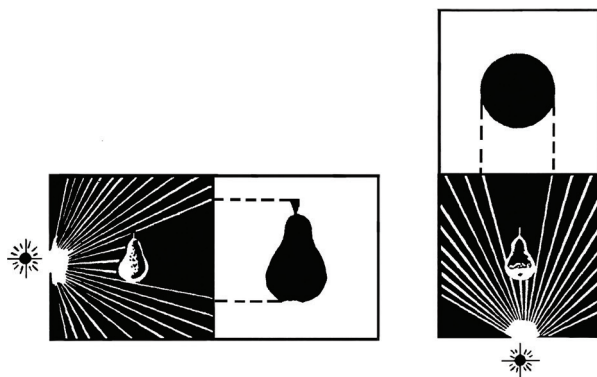
3.13 pav. Šviesai apšviečiant du artimus plyšelius pertvaroje, už jos esančiame ekrane susidaro sudėtingas interferencinis vaizdas (a). Tačiau šviesa tai ne tik bangos, bet ir fotonų srautas. Iš tikrųjų, labai susilpninus šviesą, ekrane, padengtame fluorescuojančiaja medžiaga, galima pastebėti silpnus žybsnius (b), kuriuos sukelia atskiri fotonai pataikydami į ekraną. Betgi per tam tikrą laiką ekraną pasiekus dideliame fotonų skaičiui, jame susidaro toks pat interferencinis vaizdas (c).

KEISTOS MIKRODALELIŲ ELGSENOS TAISYKLĖS

būtų stebimas tik vienas žybsnis. Jeigu jautrus prietaisas įsimins vietas, kur pataikė atskiri fotonai, tai per gana ilgą laiką atsiras toks pat interferencinis vaizdas. Tačiau jeigu bus apšviečiama atskirais fotonais, iš pradžių uždengus vieną plyšelį, po to – kitą, tai interferencinio vaizdo nebus. Kiekvienas fotonas pralėkdamas tarytum pasidalija tarp abiejų plyšelių. Negi neįmanoma išsiaiškinti, kur tiksliai pralėkė fotonas? Šiuolaikinė fizika gali įvykdyti ir tokį pageidavimą – nustatyti, pro kurį plyšelį pralėkė kiekvienas fotonas, tačiau tuomet interferencinis vaizdas nesusidaro, nes atliekant tokį matavimą dingsta fotono banginės savybės. Kvantinės mechanikos pergudrauti nepavyksta.

O kas vis dėlto yra elementarioji dalelė tuo metu, kai su ja nėra atliekamas joks eksperimentas? Tai mikropasaulio objektas, kurio negalima įsivaizduoti kaip mums įprastos dalelės ar bangos. Atliekant su tuo objektu eksperimentus naudojantis prietaisais, stebimos jo banginės arba dalelinės savybės. Tuo būdu elementarioji dalelė tarsi projektuojama į vienokį ar kitokį vaizdinį. (Tolima analogija gali būti skirtingų daikto šešėlių gavimas jį apšviečiant iš įvairių pusių (3.14 pav.).)

Sąryšis $\lambda = h/mv$ turėtų galioti ir judantiems makroskopiniams kūnams. Tačiau, esant didelei kūno masei, bangos ilgis tampa labai mažas. Tad 1 g



3.14 pav. Apšvietus nesimetrišką daiktą (pvz., kriaušę) iš šono ir apačios, gauname skirtingus jo šešėlius. Tai padeda įsivaizduoti, kodėl elementarioji dalelė vienuose eksperimentuose gali būti stebima kaip dalelė, o kituose – kaip banga.

dalelės, judančios 1 m/s greičiu, bangos ilgis lygus maždaug 10^{-19} nm, taigi tokios bangos praktiškai nėra įmanoma stebėti.

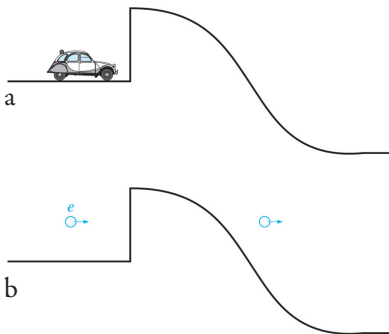
O atskirų atomų kvantinės savybės daugelio atomų sistemoje susividurkina. Vis dėlto tam tikromis ypatingomis sąlygomis galimi ir makroskopiniai kvantiniai reiškiniai (apie vieną iš jų, stebimą labai žemoje temperatūroje, rašoma VI skyriuje, straipsnyje „Superlaidumas“).

TUNELINIS REIŠKINYS

Mikrodalelių banginės savybės akivaizdžiai demonstruoja toks įdomus reiškinys. Jeigu sviedinys ar kitas panašus kūnas yra duobėje, o jo energijos nepakanka iš tos duobės iššokti, tai toks kūnas ir liks duobėje. Tačiau mikrodalelė gali ištrūkti iš duobės prasiskverbdama per ją supantį nedidelį barjerą. Dalelės banginė funkcija sutelkta duobėje, bet ji mažėdama nusitęsia per barjerą ir už jo ribos. Vadinasi, tikimybė aptikti dalelę už barjero (tą tikimybę apibūdina banginės funkcijos kvadratas) nėra lygi nuliui. Taigi mikropasaulyje yra galimas tunelinis reiškinys, kai dalelė pabėga ne peršokdama barjerą, bet tarsi pasinaudodama mikropasaulio tuneliu. Kuo platesnis ir aukštesnis barjeras, tuo mažesnė šio reiškinio tikimybė.

Aišku, mikropasaulyje nėra ir mums įprastų duobių ar barjerų – juos sukuria elektrinis ar kitokie laukai.

Būtent tuneliniu reiškiniu buvo paaiškintas atomo branduolio skilimas iš jo išlekiant alfa dalelei (helio branduoliui). Įvairių cheminių elementų atomų



3.15 pav. Klasikinis fizinis objektas negali prasiskverbti per barjerą (a), o mikrodalelei tai įmanoma dėl jos banginių savybių (b).

branduoliuose barjerai yra skirtingo dydžio, todėl vieni branduoliai tokiu būdu skyla sparčiau, o kiti – daug lėčiau.

PAPILDOMUMO PRINCIPAS

N. Bohras suformulavo bendrą kvantinės mechanikos principą, turintį ne tik fizikinę, bet ir filosofinę prasmę. Tai papildomumo principas: Tirdami mikroobjektus kaip daleles arba kaip bangas (vienalaikis toks tyrimas nėra galimas), gauname skirtingus rezultatus, kurie suteikia papildomos informacijos apie mikroobjektų prigimtį.

Paprastai priešingos nuomonės apie tą patį objektą ne papildo, o paneigia viena kitą. Tą priešybių nesuderinamumą pašalina neapibrėžtumų sąryšis – juk tiriant, pavyzdžiui, šviesą kaip bangas, dėl neapibrėžtumų sąryšio neišvengiamai netenkama informacijos apie šviesą kaip apie daleles, ir atvirkščiai. Šie du tyrimo būdai nėra galimi vienu metu, todėl jų išvados ne prieštarauja, o papildo viena kitą. Būtent jų visuma teikia visą įmanomą informaciją apie šviesos prigimtį. Toks yra šimtmečius trukusio mokslininkų ginčo, kas yra šviesa – bangos ar dalelės, – galutinis sprendimas.

N. Bohras manė, kad papildomumo principas galioja ne tik kvantinėje mechanikoje, bet jis gali būti apibendrintas ir visai gamtai. Priešingi požiūriai yra suderinami ir papildo vienas kitą, jeigu jie gaunami skirtingais metodais, kurių tuo pat metu taikyti neįmanoma. Pavyzdžiui, biologijoje viena kitą papildo fizikinių bei cheminių procesų priežastingumo samprata ir biologinio tikslingumo samprata. Juk mėginimas atlikti išsamią organizmo fizikinę ir cheminę analizę sukeltų medžiagų apykaitos pakitimus, sutrikdytų gyvybinę jo veiklą.

N. Bohras siūlė taikyti papildomumo principą ir psichologijoje. Jis rašė: „Visi mes žinome seną tiesą, kad žmogus, mėginamas analizuoti savo išgyvenimus, atsikrato jų. Tad galima sakyti, jog tarp psichologinių bandymų, kuriems apibūdinti tinka tokie žodžiai kaip *mintys* arba *jausmai*, galioja papildomumo ryšys, panašus į egzistuojantį tarp duomenų apie atomų elgseną.“



3.16 pav. Tradicinis *in* ir *jang* simbolis, reiškiantis dvi priešybes, kurios sudaro visumą. Jį N. Bohras laikė papildomumo simboliu.

Papildomumo principo apibendrinimas kitiems mokslams bei kultūri-
niam reiškiniams yra diskutuotinas, bet vertas apmąstymų.

AR MIKROPASAULYJE GALIOJA PRIEŽASTINGUMAS?

Dėl kvantinėje mechanikoje egzistuojančio neapibrėžtumų sąryšio neįma-
noma tiksliai numatyti elektrono ar kitos elementariosios dalelės ateities.
Turėdami kuo išsamesnę informaciją apie elektrono padėtį ir greitį tam
tikru laiko momentu, mes galime tik apskaičiuoti tikimybę, kur jis bus kitu
laiko momentu. Taigi, skirtingai negu klasikinėje fizikoje, kuri iš principo
leidžia tiksliai numatyti ateitį, kvantinėje mechanikoje galima nustatyti tik
ateities įvykių tikimybę. Ar tai reiškia, kad kvantinėje mechanikoje nebe-
galioja priežastingumas, kad dalelės juda bet kaip ir nepaklūsta jokiems
dėsniams?

Iš tikrųjų mikrodalelių elgsena yra labiau suvaržyta įvairių draudimų
negu makroskopinių kūnų. Kaip pastarųjų judėjimas paklūsta Newtono
mechanikos dėsniams, taip mikrodalelių elgsena – Schrödingerio lygčiai.
Ją išsprendę atomui ir gavę jo banginę funkciją, galime apskaičiuoti ne tik
elektronų debesėlio vaizdą (tikimybių juos aptikti pasiskirstymą), bet ir
įvairias atomo charakteristikas, jo energijos lygmenis bei spinduliuotės
spektrą. Deja, nagrinėdami vieną atomą, mes negalime tiksliai pasakyti,
kokį fotoną ir kada jis išspinduliuos. Tačiau jei mes tiriame daugelio atomų
rinkinį (būtent su jais paprastai ir atliekami įvairūs eksperimentai), tai
tikimybinis žinojimas virsta gana tiksliu žinojimu. (Analogiškai, mesdami
tik vieną monetą, mes negalime pasakyti, kuria puse ji atsivers – herbu ar
skaičiumi, bet jei mesime tūkstantį monetų, tai iš anksto galime numa-
tyti, kad apie 500 atsivers herbu ir apie 500 – skaičiumi.) Atomų spektrai,
užregistruoti įvairiose laboratorijose ir įvairiu laiku, visiškai sutampa, nes
spinduliuotę skleidžia labai daug atomų.

Taigi mikropasaulyje negalioja griežtas determinizmas – praeitis ir
dabartis vienareikšmiškai nenulemia ateities. Vis dėlto priežastingumas čia
nenustoja galiojęs – bet koks stebimas reiškinys turi priežastis, kurias galima
nustatyti, ir jis paklūsta tam tikriems dėsniams.

Bent viena savo ypatybe – griežto determinizmo atsisakymu – kvantinė mechanika yra suprantamesnė ir priimtinesnė nefizikui negu griežta klasikinė mechanika.

ATOMO FIZIKA

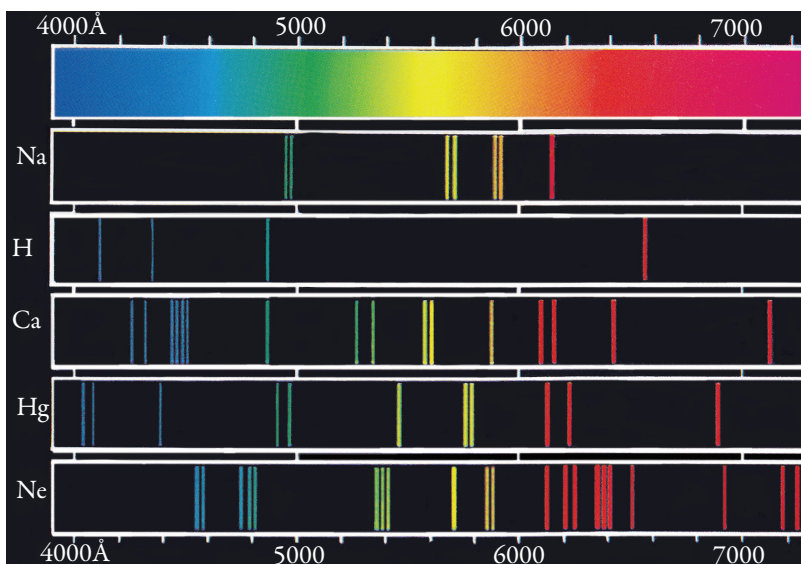
Kvantinė mechanika buvo sukurta tiriant atomus, ir ji sudarė tvirtus atomo teorijos pagrindus. Vėliau priešakinis fizikos kraštas pasiekė atomo branduolį ir elementariąsias daleles; antra vertus, atomo fizikos plėtojimo ir taikymo laikotarpis tęsiasi iki šiol. Juk iš atomų sudaryta visa gamta; netgi susijungdami į molekules ir kietuosius kūnus, atomai ne tiek daug pasikeičia, ypač vidiniai elektronų sluoksniai.

Svarbiausias atomo teorijos uždavinys – rasti atomo banginę funkciją, kuria naudojantis galima apskaičiuoti visas eksperimentiškai matuojamas atomų savybes. Deja, tiksli banginė funkcija yra žinoma tik paprasčiausiam vandenilio atomui. Atomui, turinčiam daug elektronų, banginės funkcijos skaičiavimas tampa labai sudėtingu matematinu uždaviniu – juk net daugiau kaip dviejų kūnų sąveikos problema nėra iki šiol tiksliai išspręsta ir klasikinėje mechanikoje. Netgi naudojantis galingiausiais šiuolaikiniais kompiuteriais, neįmanoma tiksliai apskaičiuoti daugiaelektronio atomo savybių. Vis dėlto atomo fizikoje buvo pritaikyti tokie supaprastinimai, kurie milijardais kartų sumažina skaičiavimų apimtį, o tikslumas sumažėja tik keliais procentais ar net procento dalimis. Yra sukurtos bendros kompiuterių programos, leidžiančios gana tiksliai apskaičiuoti netgi 107-ojo elemento borio atomo banginę funkciją.

Fotonui ar kitai elementariajai dalelei smogus į atomą, jis gali būti sužadintas (vienas ar keli elektronai peršoka į laisvas aukštesnės energijos orbitas) arba jonizuotas (elektronai yra visiškai pašalinami iš atomo ir išlečia kaip laisvieji elektronai).

Pakaitinus medžiagą, atomai pradeda greitai chaotiškai judėti ir, susidurdami tarpusavyje, yra sužadinami. Grįždami į žemesnės energijos būsenas, jie spinduliuoja tam tikrų dažnių šviesą. Išskleidus spindulių pluoštelį prizme (kuri nevienodai laužia skirtingų dažnių spindulius), gaunamas medžiagos spinduliuotės (emisijos) spektras (3.17 pav.). Atpažinus jame

III skyrius



3.17 pav. Kaitinamoji lempa skleidžia įvairių dažnių šviesą, todėl jos spektras yra ištisinis, įvairiaspalvis (viršuje). O gryno cheminio elemento spektrą sudaro atskiros linijos, nes atomai spinduliuoja tik tam tikrų, jiems būdingų, dažnių šviesą. Tai leidžia, pakaitinus medžiagą, iš jos spektre stebimų linijų nustatyti medžiagos cheminę sudėtį. Bangos ilgis nurodytas angstromais ($1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm}$).

matomas konkrečių elementų atomų linijas, galima nustatyti medžiagos cheminę sudėtį.

Išmušus elektroną iš artimo branduoliui elektronų sluoksnio, jo vietą tuoj pat užima kitas elektronas iš tolimesnio sluoksnio, išspinduliuodamas didelės energijos fotoną – taip atsiranda Röntgeno spinduliai, būdingi tam elementui.

Apie 1930 m. švedas Bengtas Edlénas (Bengt Edlenas) atlikdamas eksperimentus savo laboratorijoje pastebėjo, kad, šokant elektros kibirkščiai tarp dviejų elektrodų, susidaro daugiakrūviai jonai; pavyzdžiui, alavo garuose – net dvidešimt kartų jonizuoti alavo atomai. B. Edlénas nutarė netęsti šių tyrimų; jam atrodė neįtikima, kad tokie jonai galėtų egzistuoti kur nors Žemėje ar kosmose. Likimas pasišaipė iš kategoriško mokslininko teiginio – vos po kelerių metų jis su bendradarbiu, tirdami Saulės vainiko

spektrą, turėjo pripažinti, kad kai kurios stebimos linijos atitinka daug kartų jonizuotos geležies spinduliotę. Tai reiškė, kad Saulės vainiko temperatūra siekia milijoną laipsnių, ir teko keisti požiūrį į mūsų šviesulį. Vėliau daugia-krūvių jonų tyrimai tapo labai svarbūs norint įgyvendinti valdomąją termo-branduolinę reakciją (apie ją rašoma IV skyriuje). Veikiant medžiagą galingo lazerio spindulių pluošteliu, galima gauti netgi urano joną su vieninteliu elektronu ar netgi visiškai be elektronų, pliką urano branduolį.

Išorinis elektronas gali būti sužadintas į labai tolimą orbitą. Toks atomas pasidaro didesnis net už dulkelę, jo viduje gali lakioti kiti atomai.

Labai stipriuose elektriniame ir magnetiniame laukuose atomai keičia savo formą, pavyzdžiui, atomas pasidaro panašus į ilgą adatą.

Atomo fizika – tai plati sritis, kupina įdomių reiškinių ir netikėtų jų taikymo galimybių.

A. JUCYS IR JO MOKSLINĖ MOKYKLA

Po Vilniaus universiteto uždarymo 1832 m. prietaisai ir knygos buvo išgabenti į Kijevą, Charkovą bei kitus Rusijos imperijos miestus, dėstytojai ir studentai išsivažinėjo, fizikiniai tyrimai užgeso. 1922 m. Kaune įkūrus universitetą, čia buvo įsteigta Fizikos katedra, kurios pirmuoju vedėju tapo chemikas ir fizikas Vincas Čepinskis, buvęs Dmitrijaus Mendelejevo asistentas. Jis įdėmiai sekė atomo fizikos atradimus, su jais supažindindavo studentus ir 1924 m. aprašė knygelėje „Atomas“. Profesoriaus paskatintas, jaunuolis iš Žemaitijos Adolfas Jucys, apgynęs diplominį darbą iš eksperimentinės fizikos ir tapęs jaunesniuoju laborantu, ėmė domėtis atomo teorija.

Pradėti savarankiškus tyrimus priešakinėje fizikos srityje vienam pačiam, be vadovo ir mokslinių ryšių – sunkiai įmanomas uždavinys. Todėl tenka stebėtis A. Jucio ryžtu ir atkaklumu siekiant užsibrėžto tikslo. Jucys nagrinėjo naujus mokslinius straipsnius ir netgi pats savarankiškai pradėjo skaičiuoti atomo bangines funkcijas. Tiesa, jam labai trūko mokslinių ryšių su atomo teorijos specialistais, tad 1938 m. vasarą už savo lėšas nuvyko į Angliją, į Mančesterio universitetą, pas pagrindinį banginių funkcijų žinovą Douglasą Hartree (Daglasas Hartris). Vėliau A. Jucys laimėjo stažuotę Kembridžo universitete, bet ten jį užklupo karas. Taip susiklostė, kad Pirmasis pasaulinis karas jam sutrukdė

vidurinį mokslą, o Antrasis – mokslinį darbą. Pokariu kelionės į Vakarus tapo neįmanomos, bet atsirado galimybė pasitobulinti Leningrade (dabar Sankt Peterburgas) pas kitą daugiaelektronių atomų teorijos kūrėją Vladimirą Foką. Pas jį A. Jucys nuvyko jau su savo idėjomis, kaip plėtoti atomo teoriją.

Vienas mokslininkas, net ir teoretikas, nedaug ką gali nuveikti – reikalingos mokslinės diskusijos ir mokinių talka idėjoms realizuoti. A. Jucys ėmė burti savo mokinių grupę. Jo vadovaujamų aspirantų ir mokslo darbuotojų, rengiančių disertacijas, skaičius netrukus pasiekė 6–8 ir nebemažėjo. Galima tik stebėtis, kaip profesorius suspėdavo skaityti paskaitas, vadovauti vis gausėjantiems teoretikų būriui, labai sąžiningai atlikti daug tiesioginių bei visuomeninių pareigų ir kartu aktyviai dirbti mokslinį darbą. Šviesa jo darbo kambaryje negesdavo iki vėlumos, o devintą valandą ryto A. Jucys institute jau apeidavo savo bendradarbius, teiraudamasis, ką šie nuveikė per praėjusią dieną. Netrukus A. Jucio grupė gavo vertingų rezultatų; deja, nesant galimybių jų spausdinti tarptautiniuose mokslo žurnaluose, tie pasiekimai tapo žinomi Vakarų šalyse su dideliu pavėlavimu.

Atomų spektrų skaičiavimai iš pradžių buvo atliekami su logaritmine liniuote, vėliau ją pakeitė mechaniniai ir elektriniai aritmometrai. Vos tik SSRS buvo sukurti pirmieji universalūs kompiuteriai, tada vadinti elektroninėmis skaičiavimo mašinomis, A. Jucys, įveikęs skeptikų nepritarimą, įstengė



3.18 pav. A. Jucys su moksleiviais Salantų mokykloje 1973 m. Būtent šiame miestelyje, esančiame keli kilometrai nuo A. Jucio tėviškės, jis lankė pradžios mokyklą.

KEISTOS MIKRODALELIŲ ELGSENOS TAISYKLĖS

gauti vieną tokį kompiuterį ir įkūrė pirmąjį Lietuvoje skaičiavimo centrą savo vadovaujamame Fizikos ir matematikos institute.

Gabiausius ir savarankiškiausius mokinius A. Jucys nukreipdavo į gretimas fizikos sritis; taip Lietuvoje pradėtos plėtoti molekulių, atomo branduolio, kietojo kūno teorijos. Atsirado ir paplito pavadinimas Vilniaus teorinės fizikos mokykla, arba tiesiog Jucio mokykla.

Maždaug nuo 1962 m., išvertus į anglų kalbą pirmąją A. Jucio ir jo mokinių monografiją, prasidėjo ir tarptautinis pripažinimas. Profesorius kviečiamas skaityti paskaitų į užsienio mokslo centrus, dalyvaudavo konferencijose ir pats organizuodavo jas Vilniuje, koordinavo atomo teorijos darbus SSRS. O trumpų atostogų metu Jucys skubėdavo į gimtąjį žemaičių kraštą – dalyvauti Plungiškių draugijos sueigose, rinkti istorinės medžiagos apie savo tėviškę ir raginti moksleivių studijuoti fiziką.

Deja, širdis neatlaikė tokio krūvio, ir A. Jucys nesulaukė savo septyniadešimtmečio. Tačiau jo sukurtos mokslinės mokyklos atstovai tęsia tyrimus įvairiose teorinės fizikos srityse. Lietuva ne tokia jau maža šalis teorinės fizikos žemėlapyje.

KVANTINIS KOMPIUTERIS

Šiuolaikiniai superkompiuteriai atlieka milijardus aritmetinių bei loginių operacijų per sekundę. Tačiau jie, naudodami integrinius grandynus, jau artėja prie savo galimybių ribos. O mūsų civilizacijai tenka spręsti vis sudėtingesnius uždavinius. Esminį proveržį būtų galima pasiekti, jeigu pavyktų sukurti kvantinį kompiuterį. Jo sumanymas buvo iškeltas dar 1980–1985 m., vienas iš autorių – žymus amerikiečių fizikas Richardas Feynmanas (Ričardas Feinmenas). Pagrindinė idėja: informaciją užrašyti ir operuoti ja ne bitais, kaip dabartiniame kompiuteryje, bet kubitais.

Bitas (santrumpa angliško termino *binary digit* – dvejetainis skaitmuo) – mažiausias informacijos kiekio vienetas. Vienas bitas atitinka informacijos kiekį, kuris gaunamas sužinojus atsakymą į klausimą, turintį du atsakymus. Jis užrašomas elemente, kuris turi dvi būsenas $|0\rangle$ ir $|1\rangle$.

Kubitas gali būti užrašytas panaudojant kvantinį objektą, kuris irgi turi dvi būsenas, bet galima tiesinė jų kombinacija $a|0\rangle + b|1\rangle$, arba susietoji

būseną; čia a ir b yra bet kokie (ne tik realieji, bet ir menamieji) skaičiai, tenkinantys sąlygą $|a|^2 + |b|^2 = 1$ ($|a|^2$ ir $|b|^2$ reiškia tikimybes, atliekant matavimą, gauti vieną ar kitą būseną). Taigi bitas užrašo tik vertes 0 ir 1, o kubitas – bet kurią vertę tarp 0 ir 1, vadinasi, gerokai daugiau informacijos.

Kvantinis kompiuteris galėtų efektyviai atlikti labai sudėtingus skaičiavimus, o jo veikimas būtų artimesnis žmogaus smegenų veiklai. Jis leistų spręsti labai sudėtingas problemas, kurios kol kas sunkiai įveikiamos dabartiniams superkompiuteriams; tai biologinių sistemų modeliavimas, maštančių mašinų kūrimas, patikimas orų prognozavimas, naujų vaistų paieškos ir kt.

Kubitus galima realizuoti dviem kryptimis poliarizuotais fotonais, taip pat atskirų atomų, jonų ir branduolių būsenomis. Tačiau norint sukurti kvantinį kompiuterį, iškyla sunkiai išsprendžiamų problemų. Viena iš jų – kubitus realizuojantys elementai turi būti izoliuoti nuo aplinkos, bet sąveikauti tarpusavyje. Kol kas mėginama kurti tik paprastus kelių kubitų kompiuterius. Tų paieškų svarbą liudija jiems skiriamos didelės lėšos bei tendencija įslaptinti gaunamus rezultatus.

KVANTINĖ TELEPORTACIJA

XX a. pabaigoje buvo eksperimentiškai patvirtinta fantastiška galimybė perduoti informaciją iš vienos vietos į kitą naudojantis kvantinės mechanikos reiškiniu. Tokią „vaiduoklišką sąveiką dideliu atstumu“ numatė A. Einšteinas, bet jis manė, kad tai išplaukia iš kvantinės mechanikos neteisingos interpretacijos ir todėl nėra įmanoma. Tačiau ta tikimybinė interpretacija tapo pripažinta mokslo tiesa, ir fizikai ėmėsi eksperimentiškai įgyvendinti kvantinę teleportaciją.

Tarkime, kad turime du tarpusavyje sąveikaujančius kvantinius objektus. Jų pora aprašoma bendra bangine funkcija, tad pora vadinama susieta. Labai svarbu tai, kad kvantinė sietis tarp objektų išlieka ir juos tolinant vieną nuo kito. Ši esminė savybė ir leidžia atlikti kvantinę teleportaciją dideliu atstumu.

Norint paaiškinti, kaip vyksta kvantinė teleportacija, dažnai pateikiamas toks pavyzdys. Tarkime, Alisa turi kvantinį objektą A, o jos draugas Benas, esantis kitoje vietoje, tokį pat objektą B. Teleportacijos tikslas perduoti Benui informaciją apie A būseną.

KEISTOS MIKRODALELIŲ ELGSENOS TAISYKLĖS

Ką gi turi daryti Alisa ir Benas? Tai nėra labai paprasta. Visų pirma jie turi sukurti objekto B ir trečio objekto C susietą porą. Tada Benas pasiima objektą B, o C lieka pas Alisą. Ji sujungia A su C taip, kad tarp jų irgi atsirastų kvantinė sietis, taigi A, B ir C sudaro bendrą sistemą. Alisa atlieka objektų A ir C matavimus, nustato jų būsenas ir įprastiniu ryšiu praneša Benui tuos rezultatus. Jis, tai žinodamas ir atsižvelgdamas į kvantinę sietį tarp A ir B, nustato tikslią pradinę A būseną (nors, Alisai atliekant matavimą, A būsena yra sunaikinama). Taigi tokios teleportacijos metu perduodamas vienas kubitas informacijos.

Kvantinė teleportacija pirmą kartą eksperimentiškai buvo atlikta 1997 m. – informacija apie fotono poliarizaciją perduota metro atstumu. Vėliau ją demonstravo įvairios mokslininkų grupės, naudodamos atomus, jonus bei elektronus, o teleportacijos atstumas buvo padidintas iki dešimčių ir net šimto kilometrų.

IV

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

Ištisus amžius trukusios alchemikų pastangos paversti paprastus metalus auksu buvo pasmerktos nesėkmei – XX a. pradžioje paaiškėjo, kad to neįmanoma padaryti jokiais cheminėmis priemonėmis, o filosofinis akmuo tebuvo graži legenda. Juk, vykstant cheminėms reakcijoms, keičiasi tik atomo išoriniai elektronų sluoksniai, o ne branduolio krūvis, kuris lemia cheminio elemento eilės numerį periodinėje lentelėje (atominį skaičių). Medžiagos fizikiniai ar cheminiai virsmai iš tikrųjų neveikia labai mažo ir masyvaus branduolio. (Jeigu atomą padidintume iki kelių aukštų namo, tai branduolys jo centre tebūtų agunos grūdelio dydžio, nors jame sutelkta beveik visa atomo masė.)

Atomo branduolio sandara ir branduolinės reakcijos. 1919 m. E. Rutherfordas, apšaudydamas alfa dalelėmis azoto dujas, atrado dirbtinį radioaktyvumą. Azoto branduolys pagrobavo alfa dalelę ir, išspinduliavęs vandenilio branduolį, virsdavo deguonies branduoliu.

Būtent šio eksperimento metu pirmą kartą vienas elementas buvo paverstas kitu elementu. Tokiu būdu – naudojantis branduoline reakcija, galima gauti ir aukso atomus, t. y. įgyvendinti senovės alchemikų svajonę. Deja, tai daryti iš tikrųjų neapsimoka, nes reikėtų išieškoti daug energijos, kuri kainuotų brangiau negu pagamintas auksas.

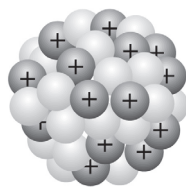
Kur kas svarbesnė buvo išvada, kad į branduolio sudėtį įeina teigiamojo elektros krūvio dalelė (tai paprasčiausio atomo – vandenilio branduolys). Ši dalelė buvo pavadinta protonu. Jo masė apie 1800 kartų didesnė už elektrono masę.

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

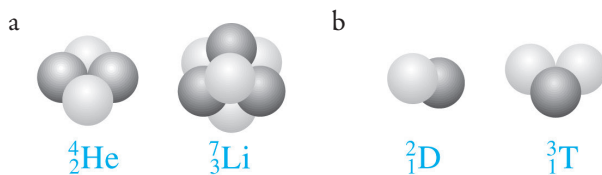
Tikroji atomo branduolio sandara paaiškėjo tik 1932 m., kai buvo atrasta dar viena elementarioji dalelė – neutronas. Jis yra elektriškai neutralus – neturi elektros krūvio, o jo masė tik šiek tiek didesnė už protono masę. Protonas ir neutronas vadinami nukleonais, t. y. branduolio dalelėmis (lot. *nucleus* – branduolys).

Taigi atomo branduolį sudaro protonų ir neutronų spiečius (4.1 pav.). Protono krūvis laikomas vienetiniu elektros krūviu (atominėje vienetų sistemoje), tad branduolio protonų skaičius lygus jo elektros krūviui (Z). Šis taip pat sutampa su cheminio elemento atominium skaičiumi. Du branduoliai, turintys skirtingą protonų skaičių, yra skirtingų elementų atomų branduoliai (4.2 pav., a). O bendras branduolio protonų ir neutronų skaičius yra vadinamas masės skaičiumi (A). Juk atomo masę lemia šios masyvios dalelės. Svarbu atkreipti dėmesį, kad masės skaičius yra tik sveikasis skaičius ir jo nereikia tapatinti su atomo mase. Minėtų dviejų dydžių – A ir Z – vertės yra nurodomos prie cheminio elemento simbolio taip, kaip tai matyti 4.3 pav. (Z kartais praleidžiamas).

Branduoliai, turintys tokį pat protonų skaičių, gali skirtis neutronų skaičiumi (4.2 pav., b). To paties cheminio elemento atmainos, kurių atomai turi skirtingą neutronų skaičių vadinami izotopais (gr. *isos* – vienodas, lygus + *topos* – vieta), t. y. užimančiais tą patį periodinės elementų lentelės langelį. Labiausiai paplitusio Visatoje elemento – vandenilio izotopai žymimi specialiais simboliais: ${}^2_1\text{H} \equiv {}^2_1\text{D}$, arba tiesiog D (deuteris); ${}^3_1\text{H} \equiv {}^3_1\text{T}$,



4.1 pav. Atomo branduolį sudaro spiečius protonų, turinčių teigiamąjį elektros krūvį, ir neutralių neutronų.



4.2 pav. Helio ir ličio branduoliai (a); vandenilio izotopų deuterio ir tricio branduoliai, turintys po vieną protoną, bet atitinkamai vieną ir du neutronus (b).

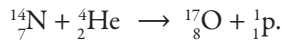
Nukleonų
skaičius A
Atominis
skaičius Z
(protonų skaičius)

4.3 pav. Cheminio
elemento X
atomo branduolio
žymėjimas,
nurodantis masės
skaičių A , lygų
nukleonų skaičiui,
bei krūvį Z , lygų
protonų skaičiui,
arba atominiam
skaičiui.

arba T (tritis). Beveik visi gamtoje aptinkami cheminiai elementai yra kelių izotopų mišinys.

Remiantis izotopo sąvoka, buvo apibrėžtas atominės masės vienetas. Jis yra lygus $1/12$ anglies izotopo ^{12}C (turinčio 12 nukleonų) laisvojo neutralaus atomo masės ($1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$).

Procesas, kurio metu atomo branduolys sąveikauja su kitu branduoliu arba elementariąja dalele ir keičiasi branduolio sandara, vadinamas branduoline reakcija. Jos lygčiai užrašyti labai praverčia elektros krūvio ir nukleonų skaičiaus tvermės dėsniai. Reakcijoje dalyvaujančių branduolių bei elementariųjų dalelių elektros krūvių, taip pat masės skaičių suma prieš branduolinę reakciją ir po jos neturi keistis. Pavyzdžiui, anksčiau minėtos pirmosios dirbtinės branduolinės reakcijos, kurios metu azotas buvo apšaudytas alfa dalelėmis (helio branduoliais) ir paverstas deguonimi, lygtis užrašoma taip:

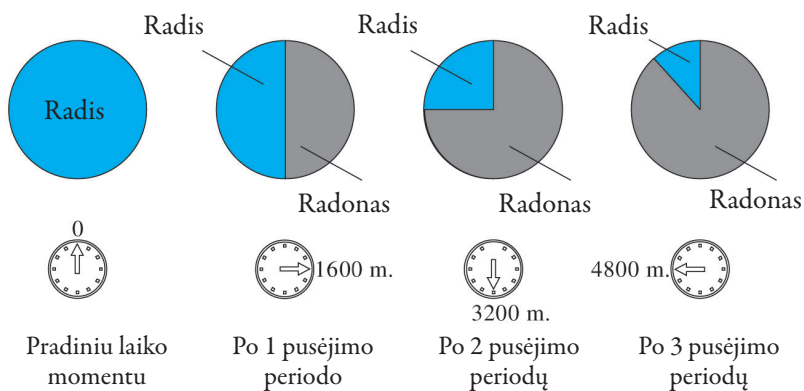


Protonui $A = 1$ ir $Z = 1$, neutronui $A = 1$ ir $Z = 0$, o elektronui $A = 0$ ir $Z = -1$.

Radioaktyviojo skilimo dėsnis. Tiriant radioaktyvumo reiškinį, buvo įsitikinta, kad bet kurio cheminio elemento radioizotopo (radioaktyviojo izotopo) skilimas paklūsta universaliam dėsniui: „Skylančiam radioizotopui, jo kiekis visada sumažėja pusiau per tam izotopui būdingą laiką, vadinamą pusėjimo trukme.“

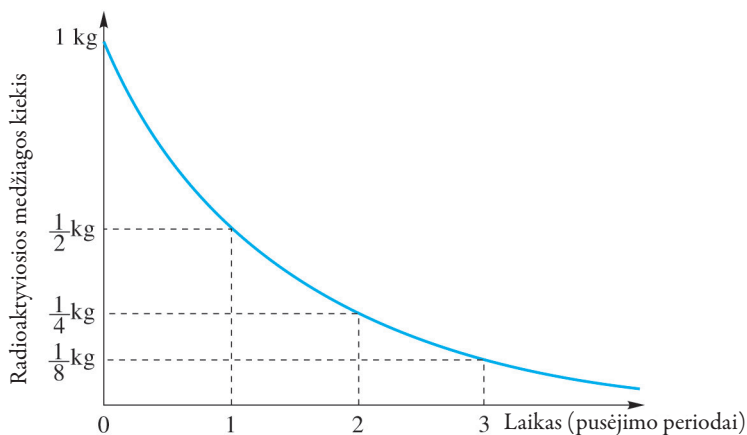
Antai, jeigu turime tam tikrą kiekį lėtai skylančio radioaktyviojo radžio ^{226}Ra , tai per 1600 metų (vieną pusėjimo trukmę) pusė jo virs radonu, po 3200 metų liks tik $1/4$ dalis radžio, po 4800 metų – $1/8$ dalis radžio ir t. t. (4.4 pav.). Radioaktyviosios medžiagos kiekio mažėjimas pavaizduotas 4.5 pav.

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA



4.4 pav. Radžio virtimas radonu vykstant radioaktyviajam radžio ^{226}Ra skilimui.

Įvairių cheminių elementų radioizotopų pusėjimo trukmės labai skiriasi: nuo milijardų metų iki mažų sekundės dalių (kai kurių dirbtinių labai sunkių elementų). Netgi to paties elemento radioizotopai paprastai skyla nevienoda sparta.



4.5 pav. Radioaktyviosios medžiagos kiekio mažėjimas vykstant jos atomų branduolių savaiminiam skilimui. Pradiniu laiko momentu $t = 0$ buvo 1 kg medžiagos.

PERIODINĖ CHEMINIŲ ELEMENTŲ LENTELĖ

1 IA		18 0																																	
1,0079		4,0026																																	
2 IIA		17 VIIIA																																	
Elemento simbolis		Atominė masė																																	
Elemento numeris →		(skliausteliuose – žinomų izotopų masės vidurkis)																																	
Pavadinimas		Celiolis																																	
3 IIIB		12 IIB																																	
4 IVB		11 IB																																	
5 VB		10 VIII																																	
6 VIB		9 VIII																																	
7 VIIB		8 VIII																																	
8 VIIIB		7 VIII																																	
9 VIIIB		6 VIB																																	
10 VIIIB		5 VB																																	
11 VIIIB		4 IVB																																	
12 VIIIB		3 IIIB																																	
13 IIIA		12 IIB																																	
14 IVA		11 IB																																	
15 VA		10 VIII																																	
16 VIA		9 VIII																																	
17 VIIA		8 VIII																																	
18 0		7 VIII																																	
H 1	1,0079	He 2	4,0026	Li 3	6,941	Be 4	9,0122	B 5	10,811	C 6	12,011	N 7	14,0067	O 8	15,9994	F 9	18,9984	Ne 10	20,1797	Na 11	22,9898	Mg 12	24,3050	Al 13	26,9815	Si 14	28,0855	P 15	30,9738	S 16	32,066	Cl 17	35,4527	Ar 18	39,948
K 19	39,0983	Ca 20	40,078	Sc 21	44,9559	Ti 22	47,88	V 23	50,9415	Cr 24	51,9961	Mn 25	54,9380	Fe 26	55,847	Co 27	58,9332	Ni 28	58,69	Cu 29	63,546	Zn 30	65,39	Ga 31	69,723	Ge 32	72,61	As 33	74,9216	Se 34	78,96	Br 35	79,904	Kr 36	83,80
Rb 37	85,4678	Sr 38	87,62	Y 39	88,9058	Zr 40	91,224	Nb 41	92,9064	Mo 42	95,94	Tc 43	97,905	Ru 44	101,07	Rh 45	102,9055	Pd 46	106,42	Ag 47	107,8682	Cd 48	112,411	In 49	114,82	Sn 50	118,710	Sb 51	121,75	Te 52	127,60	I 53	126,9045	Xe 54	131,29
Cs 55	132,9054	Ba 56	137,327	La-Lu 57-71	138,9055	Hf 72	178,49	Ta 73	180,9479	W 74	183,85	Re 75	186,207	Os 76	190,2	Ir 77	192,22	Pt 78	195,08	Au 79	196,9665	Hg 80	200,59	Tl 81	204,3833	Pb 82	207,2	Bi 83	208,9804	Po 84	209,987	At 85	210,987	Rn 86	222,018
Fr 87	(223,020)	Ra 88	(226,025)	Ac-Lr 89-103	(227,028)	Rf 104	(267)	Db 105	(268)	Sg 106	(269)	Bh 107	(270)	Hs 108	(271)	Mt 109	(272)	Ds 110	(285)	Rg 111	(286)	Cn 112	(286)	Nh 113	(286)	Fl 114	(289)	Mc 115	(290)	Lv 116	(293)	Ts 117	(294)	Og 118	(294)
Francis		Radis		Renciofoidis		Dubnis		Syborgis		Boris		Hasis		Meimeris		Darabvantis		Rengenis		Kopernikis		Nihonis		Flerovis		Mokovis		Livermoris		Tenesis		Oganessonis			
La 57	138,9055	Ce 58	140,115	Pr 59	140,9077	Nd 60	144,24	Pm 61	144,913	Sm 62	151,965	Eu 63	158,9253	Gd 64	157,25	Tb 65	162,50	Dy 66	168,9342	Ho 67	173,04	Er 68	174,967	Tm 69	175,04	Yb 70	173,04	Lu 71	174,967						
Lantanas		Ceris		Praseodimis		Neodimis		Prometis		Samaris		Europis		Gadolinis		Terbis		Disprozis		Holmis		Erfis		Tulius		Iterbis		Lutecis							
(227,028)		(231,036)		(232,038)		(237,048)		(244,064)		(243,061)		(243,061)		(243,061)		(243,061)		(243,061)		(243,061)		(243,061)		(243,061)		(243,061)		(243,061)		(243,061)		(243,061)		(243,061)	
Ac 89	227,028	Th 90	232,0381	Pa 91	231,036	U 92	238,0289	Np 93	237,048	Pu 94	244,064	Am 95	243,061	Cm 96	243,061	Bk 97	247,07	Cf 98	251,08	Es 99	252,08	Fm 100	257,095	Md 101	288,107	No 102	289	Lr 103	260,104						
Akintis		Toris		Protaktinis		Uranas		Nepunis		Plutonis		Americis		Kiuris		Berklis		Kalifornis		Einsteinis		Fermis		Mendelevis		Nobelis		Lourens							

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

Kodėl vienas radioaktyvusis atomo branduolys suyra labai greitai, o kitas toks pat branduolys gyvuoja gana ilgą laiką? Juk jie visi, kaip mikrodalelės, yra vienodi ir branduolio savybės, laikui bėgant, nesikeičia – jis nesensta. Šią mįslę išsprendė kvantinė mechanika. Radioaktyviojo skilimo dėsnis išplaukia iš to, kad branduolio, kaip mikrodalelės, ateitis nėra nulemta dabartinės jo būsenos, o tik skilimo tikimybės. Tad atskiro branduolio skilimo momento neįmanoma žinoti, bet, esant daug branduolių, galima gana tiksliai numatyti per laiko vienetą skylančių branduolių skaičių.

Medžiagos radioaktyvumą apibūdina joje vykstančių branduolių skilimų skaičius per sekundę. Radioaktyvumo vienetas – vienas branduolio skilimas per sekundę – vadinamas bekereliu (Bq):

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ skilimas/s.}$$

Bekerelis – labai mažas vienetas.

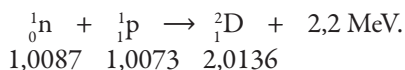
Stiprioji ir silpnoji sąveikos. Kokios jėgos susieja protonus ir neutronus į tokį mažytį branduolį? Visuotinės traukos, arba gravitacijos, jėga, veikianti tarp dalelių, tam yra pernelyg silpna, o daug stipresnė už ją elektrinė stūma tarp protonų turėtų suardyti branduolį. Tad fizikams teko padaryti prielaidą, kad egzistuoja dar stipresnė už elektrinę jėgą nežinoma traukos jėga, veikianti tarp nukleonų. Ji taip ir buvo pavadinta – stipriąja jėga, arba sąveika (kalbant apie jėgą, kuri veikia tik mikropasaulyje, dažniau vartojamas bendresnis terminas *sąveika*). Stiprioji sąveika pasireiškia tik labai mažais atstumais atomo branduolio viduje, nes jeigu ji veiktų ir tarp gretimų branduolių, tai jie sukristų į vieną didelį branduolį.

Vėliau, nagrinėjant įvairias branduolines reakcijas, buvo aptikta dar viena sąveika, irgi pasireiškianti tikrai tarp elementariųjų dalelių, bet dar mažesniais atstumais, – silpnoji sąveika. Tiesa, ji silpna tik palyginti su stipriąja ir elektromagnetine sąveikomis, bet yra gerokai stipresnė už gravitacinę. O kartais ji nurungia net stipriąją sąveiką, nes yra mažiau suvaržyta kvantinių draudimų, kurių netrūksta mikropasaulyje. Būtent tokiu atveju silpnoji sąveika išlenda iš už stipriosios nugaros – taip ji ir buvo pastebėta. Stiprioji ir silpnoji sąveikos

yra fundamentinės, t. y. jos yra pirminės jėgos, o ne kitų jėgų veikimo rezultatas. Plačiau apie visas fundamentines sąveikas bei galimus jų tarpusavio ryšius pasakojama V skyriuje (straipsnelis „Keturiios fundamentinės sąveikos ir jų suvienijimas“).

Masės defektas. Cheminės reakcijos metu gali išsiskirti arba, priešingai – būti suvartojama energija, bet ji būna labai maža, palyginti su molekulių rimties energija (kuri nustatoma pagal sąryšį $E = mc^2$), tad galima laikyti, kad tokiai reakcijai galioja masės tvermės dėsnis. Branduolinės reakcijos metu gali išsiskirti kur kas daugiau energijos, vadinasi, yra būtina atsižvelgti į sąryšį tarp masės ir energijos.

Panagrinėkime paprastą pavyzdį, kai neutronas susiduria su protonu ir jie susijungia į vandenilio izotopo deuterio branduolį:

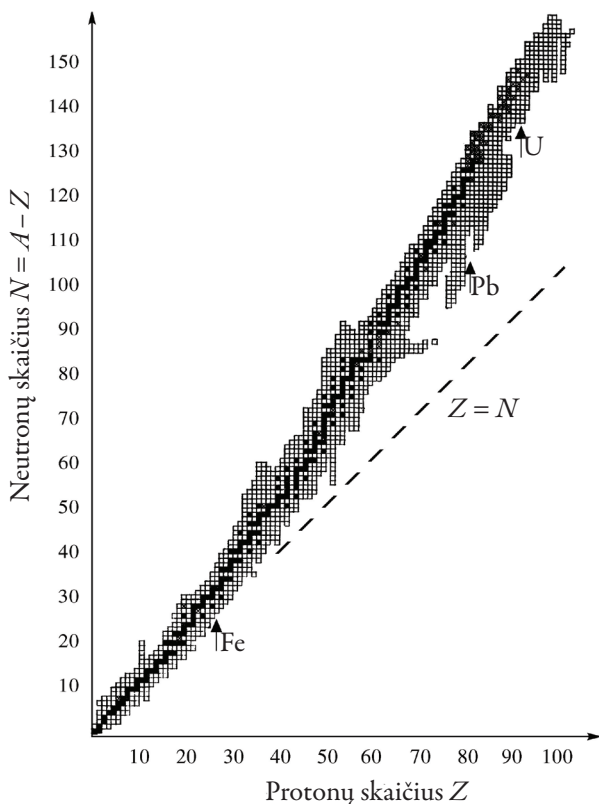


Žemiau, po dalelių simboliais, nurodyta jų masė, išreikšta atominės masės vienetais. Matome, kad protono ir neutrono masių suma (2,0160) yra didesnė už susidariusio branduolio masę (2,0136). Reakcijos metu tarsi dingsta 0,0024 atominės masės vieneto, užtat išsiskiria jam ekvivalentiškas energijos kiekis 2,2 MeV ($1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$). Tai maždaug milijoną kartų viršija energiją, išsiskiriančią cheminės reakcijos metu. Čia, kaip įprasta branduolio fizikoje, mase vadinama dalelių rimties masė, o energija suprantama siauresne prasme – be rimties energijos.

Išsiskiriančios energijos prasmė išaiškėja nagrinėjant atvirkštinę reakciją: norint suskaldyti ${}^2_1\text{D}$ branduolį į protoną ir neutroną, reikia smogti į deuterio branduolį dalele, turinčia bent 2,2 MeV energijos. Taigi ta energija yra lygi branduolio ryšio energijai. Juk nukleonus veikianti jėga labai stipriai susieja juos vieną su kitu. O didelė branduolio ryšio energija lemia ypatingą branduolinių reakcijų galią, tad jų metu gali išsiskirti milžiniškas energijos kiekis.

Masės pokytis branduolinės reakcijos metu yra vadinamas masės defektu. Kai jis teigiamas, energija išsiskiria, kai masės defektas yra neigiamas, reakcijai vykti reikalinga papildoma energija.

Branduolių stabilumas. Dalijimosi ir sintezės reakcijos. Branduolių sudarančius nukleonus susieja stiprioji sąveika, kuri veikia tik artimiausius kaimynus, o protonus vieną nuo kito stumia toliasiekė elektrinė sąveika. Antra vertus, neutronas yra linkęs virsti protonu, turinčiu mažesnę masę, bet nuo to virsmo neutroną sulaiko protonų kaimynystė. Tad branduoliai būna stabilūs tik tuomet, kai neutronų skaičius truputį viršija protonų skaičių. Esant didesniai branduolio krūviui, taigi ir branduolio protonų skaičiui, elektrinės stūmos jėgai nugalėti reikia didesnio neutronų skaičiaus – branduolių stabilumo takas nutolsta nuo tiesės, kuri atitinka branduolius su vienodu protonų ir neutronų skaičiumi (4.6 pav.). O cheminiai elementai, sunkesni už šviną

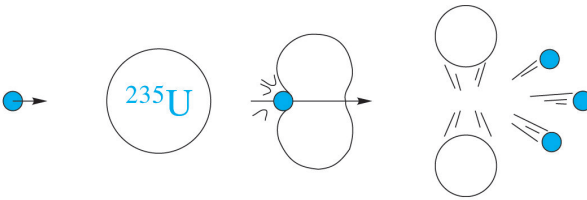


4.6 pav. Atomų branduolių stabilumo „takas“. Juodais kvadratėliais pažymėti stabilieji branduoliai (juose neutronų būna šiek tiek daugiau negu protonų). Tušti kvadratėliai atitinka gamtoje randamus radioaktyviusius branduolius, o perbraukti kryžiuoku kvadratėliai – dirbtinai sukurtus nestabilius branduolius.

($Z > 82$), jau nebeturi stabilųjų izotopų. Taigi ties švinu baigiasi stabilųjų elementų seka – visi tolesni elementai turi tik radioizotopus.

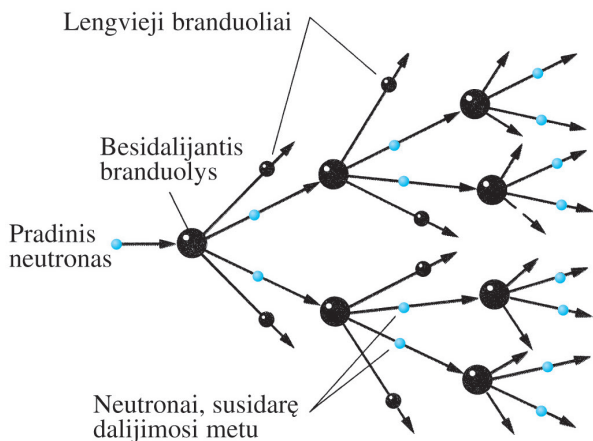
Iki 1938 m. buvo manoma, kad yra galimas tik branduolių radioaktyvusis skilimas jiems skleidžiant alfa, beta ar gama spindulius. Tačiau tais metais vokiečių mokslininkai Otto Hahnas (Otas Hanas) ir Fritzas Strassmannas (Fricas Štrasmanas) atrado dar vieną netikėtą branduolinę reakciją: į urano branduolį smogus neutronui, tas branduolys pasidalija į du maždaug vienodos masės branduolius, kurie priklauso cheminiams elementams iš periodinės lentelės vidurio. Branduolio dalijimąsi galima palyginti su lašo dalijimusi (kartais branduolys yra nagrinėjamas kaip nukleonų lašas): lašui padidėjus iki tam tikro dydžio, jis skaidosi į du lašelius (4.7 pav.). Be to, dalijantis urano branduoliui, išsiskiria gana didelis energijos kiekis, net apie 200 MeV (maždaug milijoną kartų daugiau negu degant angliai – vienam jos atomui jungiantis su dviem deguonies atomais), ir išlekia dar vidutiniškai 2–3 laisvieji neutronai.

Fizikai bematant suprato šios reakcijos ypatingą svarbą – juk jos metu išlėkusiems neutronams pataikius į kitus urano branduolius, šie irgi dalysis, išskirdami naujus neutronus – prasidės grandininė branduolių dalijimosi reakcija (4.8 pav.). Tad, jeigu dauguma neutronų neišsisklaido į šalį, o yra pagaunami urano branduolių (kai urano kiekis viršija tam tikrą minimalų kiekį, vadinamą kritine mase), turi įvykti nepaprastai galingas sprogdimas. Tiesa, netrukus N. Bohras, tuo metu dirbęs atomo branduolio fizikos srityje, įrodė, kad grandininė reakcija negalima gamtiniame urane, kurio didžiąją dalį sudaro izotopas ^{238}U ir tik 0,7 proc. – izotopas ^{235}U . Dalijantis šiam



4.7 pav. Neutronui pataikius į ^{235}U branduolį, šis, tarsi didelis lašas, pasidalija į du maždaug vienodo dydžio branduolius, pavyzdžiui, į kriptono ir bario branduolius, ir išspinduliuoja kelis naujus neutronus (pavaizduoti mėlynais skritulėliais).

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA



4.8 pav. Grandininė branduolių dalijimosi reakcija.

izotopui, išspinduliuojami lėtieji neutronai, kurie gali sukelti tik tų pačių ^{235}U branduolių dalijimąsi. Antra vertus, ^{238}U branduolys, pagrobęs neutroną, po dviejų beta skilimų virsta plutonio izotopo ^{239}Pu branduoliu. Buvo nustatyta, kad ir šiame izotope gali vykti grandininė branduolių dalijimosi reakcija. Po tų svarbių pranešimų, paskelbtų prieš pat Antrojo pasaulinio karo pradžią, žinios apie dalijimosi reakciją dingo iš periodinės spaudos ir net iš mokslo žurnalų puslapių. Tolesnė dramatiška šio atradimo panaudojimo istorija pasakojama atskiruose straipsniuose.

Kita branduolinė reakcija, kurios metu išsiskiria didelis energijos kiekis, yra lengvųjų branduolių jungimosi į sunkesnius branduolius, arba pastarųjų sintezės, reakcija. Pavyzdžiui, susijungiant dviem sunkiojo vandens – deuterio branduoliams į helio branduolį, išsiskiria 3,3 MeV energijos. Deja, ši reakcija prasideda tik branduoliams beveik susilietus vienam su kitu (kai tarp jų pasireiškia stiprioji sąveika). O tai padaryti nėra lengva, nes branduoliai turi vienodą elektros krūvį ir todėl stipriai stumia vienas kitą. Vadinas, norint gauti 3,3 MeV energijos, reikia iš pradžių išseikvoti nemažai energijos, kad branduoliai įgytų didelį greitį ir stipriai smogtų vienas į kitą. Branduoliai panašiu greičiu chaotiškai juda tankioje plazmoje, kurios temperatūra siekia maždaug 15 milijonų laipsnių. Tokia temperatūra egzistuoja žvaigždžių gelmėse (tad branduolių sintezės reakcija padėjo įminti žvaigždžių

skleidžiamos energijos mįslę; plačiau apie tai rašoma X skyriuje). O apie branduolių sintezės įgyvendinimą Žemėje rašoma straipsnelyje „Valdomoji termobranduolinė sintezė“.

ATOMINĖS IR VANDENILINĖS BOMBŲ ISTORIJA

Paaiškėjus atominės bombos sukūrimo galimybei, vienas iš branduolio fizikos specialistų Leo Szilardas (Leo Scilardas) ragino fizikus nebeskelbti duomenų apie urano dalijimosi reakciją. Deja, toks susitarimas pasirodė esąs utopija. L. Szilardą ir kitus iš Europos į JAV nuo fašizmo grėsmės pabėgusius fizikus – Eugene'ą Wignerį (Judžinas Vigneris), Edwardą Tellerį (Edvardas Teleris), Enrico Fermi (Enrikas Fermi) – netrukus pasiekė žinios, kad nacistinės Vokietijos valdžia susidomėjo šio atradimo kariniu pritaikymu. Mokslininkai informavo JAV prezidentą Frankliną Rooseveltą (Franklinas Ruzveltas), kad, naudojantis branduolių dalijimosi reakcija, galima sukurti labai galingą bombą; laišką pasirašė A. Einšteinas, kuris vėliau labai apgailestavo davęs pradinį postūmį branduolinio ginklo gamybai. Prezidentas paskyrė tyrimams valstybinę paramą ir nurodė juos įslaptinti. O 1942 m. pavasarį JAV vyriausybė patvirtino atominės bombos kūrimo programą, pavadintą Manhattano projektu. Nuošalioje vietovėje – Los Alamoso plokščiakalnyje, Naujosios Meksikos valstijoje, – išaugo slaptas atominių tyrimų centras. Čia įsikūrė šimtai mokslininkų, tarp jų žymiausi atomo branduolio fizikos specialistai, emigravę iš Europos – E. Fermi, H. Bethe (H. Betė), N. Bohras, E. Telleris (E. Teleris), L. Szilardas ir kiti. Moksliniu projekto vadovu tapo amerikiečių fizikas Robertas Oppenheimeris (Robertas Openheimeris). Tyrimai buvo griežtai įslaptinti, kai kurie fizikai turėjo netgi pakeistas pavardes. Apie projekto tikslą ir visumą žinojo tik labai mažai žmonių, nors ilgainiui daugelis į jį įtrauktų fizikų ėmė numanyti, kokius tyrimus jie atlieka. Be to, išaugo dar du slapti miestai Okridžas (Oak Ridge) ir Henfordas (Hanford), kur buvo pastatytos gamyklos urano izotopams atskirti ir plutoniui iš ^{238}U gauti. Iš viso Manhattano projekte dalyvavo apie 150 000 žmonių.

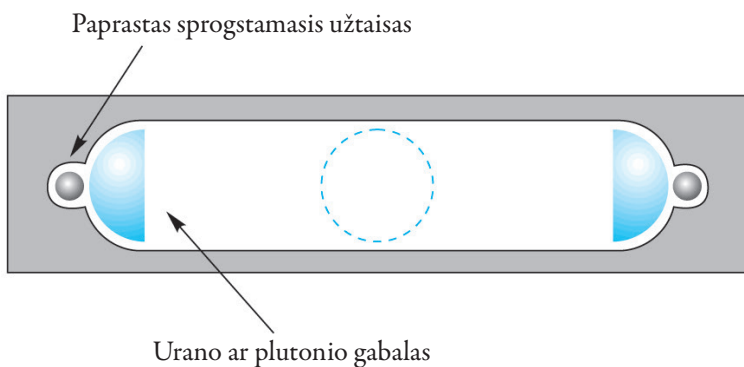
Atominės bombos sukūrimo mokslines ir technines problemas pavyko išspręsti per trejus metus. Rutulio pavidalo ^{235}U gabalo kritinė masė pasirodė

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

besanti apie 50 kg, plutonio ^{239}Pu – apie 10 kg (rutulį apgaubus neutronų atšvaitu, kritinę masę galima sumažinti). Pirmąją atominę bombą sudarė du plutonio gabalai, atskirti vienas nuo kito (4.9 pav.); jie į vieną kritinės masės gabalą turėjo būti sujungti panaudojus paprastą sprogstamąjį užtaisą.

1945 m. buvo priimtas nutarimas pagaminti tris bombas: vieną iš jų skirti bandomajam sprogdinimui, o kitas dvi – numesti ant Japonijos miestų. Nacistinei Vokietijai pralaimint karą ir ypač po jos kapituliacijos, fizikai dėjo daug pastangų, kad atominė bomba nebūtų panaudota kaip ginklas, tačiau politikai ir naujasis JAV prezidentas Harry Trumanas (Haris Trumenas) siekė savų – karinių bei politinių – tikslų ir nekeitė sprendimo.

1945 m. liepos 16 d. ankstų rytą nuošaliame Alamogordo poligone, esančiame dykumoje, JAV pietuose, buvo įvykdytas pirmasis atominės bombos sprogdinimas. Mokslininkai ir kariškiai stebėjo jį iš trisdešimties kilometrų atstumo. Sušvitus supersaulei, R. Oppenheimeris prisiminė eilutes iš hinduistų šventraščio „Bhagavatgyta“ apie tūkstantį saulių, vienu metu sužibusių danguje. Ugnies kamuoliui išaugus iki 1,5 km ir vis dar plečiantis, kai kurie stebėtojai išsigando, kad mokslininkai bus apsirikę ir ugnis apims visą dangų bei žemę. Tačiau dar po kelių sekundžių akinamas kamuolys virto 12 km aukščio grybo pavidalo debesiu, kuris vėliau tapo niūriu atominio sprogdimo simboliu.



4.9 pav. Atominės bombos sandaros schema. Paprasti sprogstamieji užtaisai sujungia du urano ar plutonio gabalus į vieną kritinės masės gabalą.

IV skyrius

O tų pačių metų rugpjūčio mėnesį buvo susprogdintos atominės bombos virš Japonijos miestų Hirošimos ir Nagasakio – branduolinio karo šmėkla, lyg piktasis džinas iš butelio, buvo išleista į pasaulį.

Amerikiečiams labai rūpėjo, kiek yra pažengę atominės bombos kūrimo darbai nacistinėje Vokietijoje. Tai nustatyti buvo pavesta specialiai žvalgybinei grupei *Alsos*, kuri pasiekė šią šalį kartu su pirmaisiais JAV kariuomenės daliniais. Nuogąstavimai nepasitvirtino – atominės bombos Vokietija negamino, vyko tik parengiamieji tyrimai. Kaip vėliau paaiškėjo, priešasčių buvo keletas. Visų pirma, Hitleris tikėjosi, kad karas baigsis anksčiau, negu bus pagaminta naujoji bomba, todėl nelaikė šių darbų prioritetiniais. Be to, Vokietijos mokslinis potencialas buvo susilpnėjęs dėl daugelio žymių mokslininkų emigracijos, o kai kurie Vokietijoje likę specialistai, matyt, neskubėjo gaminti atominės bombos diktatoriui.

SSRS atominė bomba buvo pradėta kurti 1943 m., gavus sovietinės žvalgybos užverbuoto vokiečių kilmės fiziko Klausio Fuchso (Klausas Fuksas) pranešimą apie Anglijoje vykdomus tyrimus. Tais pačiais metais K. Fuchsas išvyko dirbti į JAV, į Los Alamoso laboratoriją ir iš ten perdavė labai svarbios informacijos apie atominės bombos gamybą, netgi detalų jos



4.10 pav. Atominės bombos sprogdimo pradžia.

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

aprašymą. Tuo po amerikiečių bombos susprogdinimo virš Hirošimos, SSRS nutarė skirti atominei programai ypatingą dėmesį. Netoli Arzamaso esantis Sarovas buvo paverstas uždaru miestu (įvairiu metu jis turėjo pavadinimus: *Kremlev*, *Arzamas-75*, *Arzamas-16*), kuriame sutelkti visi reikalingi specialistai. Atominiam projektui vadovavo Igoris Kurčiatovas. Pirmoji SSRS sukurta atominė bomba buvo susprogdinta 1949 m. rugpjūčio mėnesį Semipalatinsko branduoliniame poligone.

Atominės bombos sprogdimo metu susidaro temperatūra, pakankama lengvųjų branduolių sintezės reakcijai prasidėti. Tuo pagrįstas dar galingesnės termobranduolinės bombos išradimas – atominė bomba įdega vandenilio virtimo heliu reakciją. Prasidėjus Šaltajam karui ir ginklavimosi varžyboms, vandenilinė bomba buvo sukurta ir išbandyta JAV 1952 m., o SSRS – 1953 m. Vėliau tos dvi bei kitos šalys atliko apie 2000 atominės ir vandenilinės bombų bandymų.

Praejus septyniems dešimtmečiams po pirmosios atominės bombos sukūrimo, devynios branduolinio ginklo įsigijusios valstybės turėjo tiek jų vienetų: Rusija – 16 000, JAV – 8000, Prancūzija – 290, Jungtinė Karalystė – 215, Kinija – 270, Pakistanas – 125, Indija – 115, Izraelis – 80 ir Šiaurės Korėja – 10 (*Federation of American Scientists* 2017 m. duomenys). Apie penkiasdešimt šalių atlieka branduolinius tyrimus arba turi branduolinius reaktorius, gaminančius plutonį, ne visos jos yra ratifikavusios branduolinio ginklo neplatavimo sutartį. Išsivysčiusi šalis galėtų pagaminti atominę bombą maždaug per metus. Taigi branduolinės katastrofos grėsmė išlieka gana didelė.

AR BUVO GALIMA IŠVENGTI „ATOMINIO GRYBO“?

Civilizacija turėjo anksčiau ar vėliau atrasti branduolinę energiją, kaip kadaise atrado elektros energiją ar ėmė naudoti ugnį (cheminę energiją). Būtų utopiška tikėtis, kad tai įvyktų po to, kai Žemėje įsivyras visuotinė taika ir demokratija. Sparti mokslo plėtra prasidėjo XVII a. ir vyksta jau keturis šimtmečius. Tačiau visuomenės moralinis tobulėjimas yra daug lėtesnis procesas. Karai ir diktatūros, matyt, išnyks dar negreitai, jeigu apskritai išnyks. Būtent mokslo atradimai ir praktinis jų taikymas, naujų energijos

šaltinių naudojimas sudaro palankias sąlygas tolesnei civilizacijos raidai. Deja, naujos galimybės yra susijusios ir su naujais pavojais.

Išradimas, kaip įdegti ugnį, taip pat sukėlė didelių nelaimių ir sunaikino daug vertybių, bet mes nesmerkiame dėl to Prometėjo, kuris, anot legendos, padovanojo žmonijai ugnį. Mokslininkų atrasta branduolinė energija – tai ne tik atominė bomba, bet ir branduolinis reaktorius, kuris leidžia paversti šią energiją elektros energija.

Radioaktyvumas galėjo būti atrastas ir jo tyrimai prasidėti netgi anksčiau. Dar 1861 m. prancūzų išradėjas, vienas iš fotografijos pionierių N. de Saint-Victoras (N. de Sen Viktoras) buvo pastebėjęs urano druskų poveikį fotografinei plokštei ir padaręs išvadą, kad šios medžiagos skleidžia neregimus spindulius. Apie tai jis pranešė Prancūzijos mokslų akademijai, bet ta žinia nesukėlė susidomėjimo ir buvo pamiršta. Iš tikrųjų tuo laiku pradėti radioaktyvumo tyrimai galėjo paspartinti branduolio fizikos raidą XX a. ir, ko gero, Antrasis pasaulinis karas būtų tapęs branduoliniu karu.

Urano dalijimosi reakcija buvo atrasta tik tada, kai jos jau nebebuvo galima neatrasti. Ją 1934–1935 m. stebėjo E. Fermi grupė bei 1938 m. – Irėnė Joliot-Curie (Irena Žolio-Kiuri) ir Pavle Savičius (Pavlė Savičius), bet jie neįžvelgė, kad tai visiškai nauja reakcija. Tad jos atradimo garbė netrukus atiteko vokiečių mokslininkams O. Hahnui ir F. Strassmannui.

Tuo metu daugelis fizikų, netgi ne branduolio specialistų, suprato atominės bombos sukūrimo galimybę. Mokslo naujiena pasiekė ir Lietuvą, kur mokslininkus fizikus buvo galima suskaičiuoti ant vienos rankos pirštų, ir jie netyrinėjo atomo branduolio. 1940 m. žurnale „Gamta“ buvo išspausdinti Juozo Matulio ir Henriko Horodničiaus straipsniai, kuriuose rašoma apie urano dalijimosi reakciją ir net aptariama superbombos sukūrimo galimybė. Apie tai buvo diskutuojama Lietuvos gamtininkų draugijos seminaruose.

Deja, dalijimosi reakcijos atradimas buvo padarytas pačiu netinkamiausiu metu – prieš pat Antrojo pasaulinio karo pradžią, kai Vokietija, SSRS bei Italija buvo valdomos diktatorių, kurie neslėpė savo agresyvių kėslų.

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

Paradoksalu, kad bombos kūrimo darbus inicijavo ir spartino grupė mokslininkų, kurie nuoširdžiai siekė taikos. Jie norėjo, kad JAV, kaip demokratinė šalis, aplenkėtų nacistinę Vokietiją, idant pastaroji neįgytų šio ginklo monopolio ir neužkariautų viso pasaulio. Iniciatoriams tuo metu net nekilo mintis, kad JAV gali pati panaudoti atominę bombą, tuo labiau karui baigiantis.

Pradėjus kurti atominę bombą, jos panaudojimo klausimą sprendė nebe mokslininkai, o politikai, kurie paprastai vadovaujasi pragmatiniais, o ne humanistiniais principais. Liko neišgirstas mokslininkų siūlymas atlikti viešą parodomąjį bombos sprogdinimą, po to pareikalauti Japonijos kapituliacijos; ir tik jeigu ji nepaklustų, susprogdinti bombą iš anksto įspėjus gyventojus.

Mokslininkų pasiūlytas variantas būtų išgelbėjęs Hirošimą ir Nagasakį, bet, aišku, jis negalėjo užkirsti kelio branduolinės ginkluotės plitimui. Jokios Vakarų šalių pastangos nebūtų privertusios Stalino režimo ir komunistinės Kinijos atsisakyti branduolinio ginklo gamybos. Dabar šio ginklo plitimą stabdo Branduolinio ginklo neplatavimo sutartis, kurią yra pasirašiusios 190 valstybių, bet to, gana sudėtinga, brangiai kainuojanti atominės bombos gamyba, kurią sunku paslėpti nuo tarptautinės kontrolės.

Taigi žmonijai buvo lemta išgyventi atominio karo grėsmę. Ar įstengs ateityje pasaulio valstybės įvesti griežtą ir patikimą branduolinės ginkluotės moratoriumą? Ko gero, ta viltis yra utopiška, bet norisi ja tikėti.

NUO URANO KATILO IKI IGNALINOS ATOMINĖS ELEKTRINĖS

Anksčiau negu atominė bomba buvo sukurtas branduolinis reaktorius (tada vadintas urano katilu), kuriame pavyko įgyvendinti valdomąją urano dalijimosi reakciją. Tam grynas urano ^{235}U izotopas nebuvo reikalingas, pakako juo įsodrinto gamtinio urano (juk dalijimasis turi vykti iš lėto, nevirsdamas grandinine reakcija). Sukurti reaktorių paskatino ne tik energijos poreikis, bet ir galimybė panaudoti reaktoriuje susidariusį plutoną atominei bombai gaminti (kito urano izotopo ^{238}U branduolys, pasigavęs neutroną, virsta plutonio ^{239}Pu branduoliu, kuris, kaip ir ^{235}U , gali dalytis).

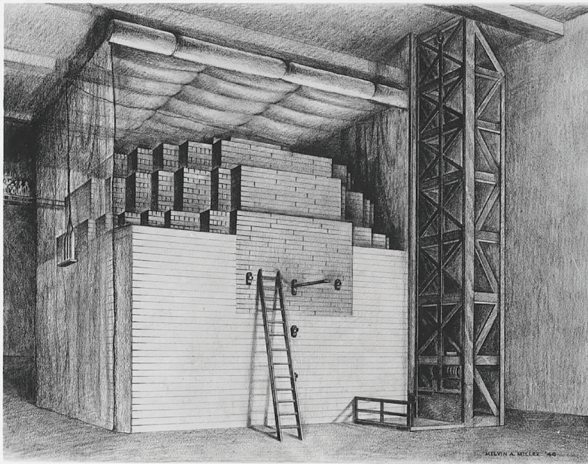
IV skyrius



4.11 pav. E. Fermi prie Čikagos universiteto stadiono, kurio patalpoje buvo pastatytas pirmasis branduolinis reaktorius. Memorialinėje lentoje parašyta: „Čia 1942 m. gruodžio 2 d. žmogus sukėlė pirmąją savaiminę grandininę reakciją ir taip valdomu būdu buvo pradėta gauti branduolinė energija.“

Pirmąjį branduolinį reaktorių 1942 m. per keletą mėnesių sukonstravo mokslininkų ir technikų grupė, vadovaujama E. Fermi (4.11 pav.). Reaktoriaus galia siekė tik 200 W. Slaptumo sumetimais jis buvo įrengtas teniso kortė po Čikagos universiteto futbolo stadiono tribūnomis.

Dar reikėjo išspręsti sudėtingą problemą – kaip branduolinę energiją saugiai paversti elektros energija. Tik 1950 m. šalia Arko (Arco) miesto

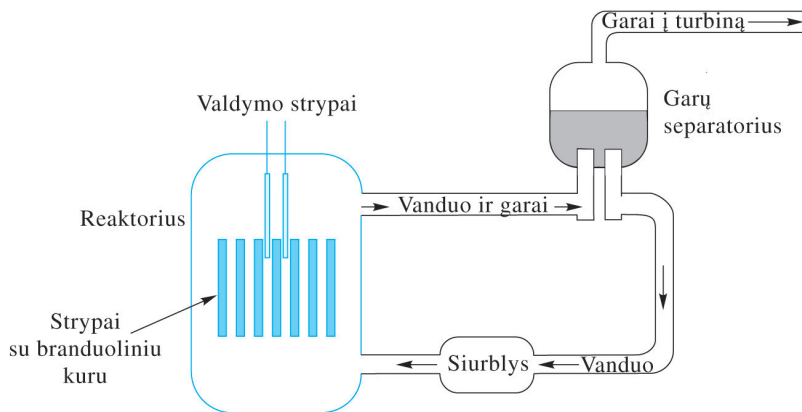


4.12 pav. Pirmojo branduolinio reaktoriaus vaizdas (piešinys).

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

(JAV) pradėjo veikti 800 W galios eksperimentinė elektrinė, o 1954 m. Obninske, netoli Maskvos, – jau 5 MW galios elektrinė. Netrukus vis galingesnius tokius objektus imta statyti JAV, Prancūzijoje, Japonijoje ir kitose išsivysčiusiose šalyse. Viena iš labiausiai paplitusių atominės elektrinės veikimo schemų yra pavaizduota 4.13 pav. Pagrindinė jos dalis – branduolinis reaktorius, į kurį įleidžiami ilgi metaliniai strypai, užpildyti tabletėmis iš urano oksido, įsodrinto iki 2 proc. izotopu ^{235}U . Strypus apteka vanduo, kuris įkaista, ir jo garai nukreipiami į turbiną. Urano dalijimosi reakcija valdoma įleidžiant į aktyviają zoną strypus su boro karbidu ar kita medžiaga, gerai sugeriančia neutronus. Reaktorius įrengiamas storasienėje betoninėje šachtoje. Strypus aptekantis vanduo tampa radioaktyvus, bet jis juda uždaru kontūru. Reaktoriaus veikimą kontroliuoja automatinės sistemos ir prie valdymo pulto budintys operatoriai. Tad atominė elektrinė yra gana saugi: į aplinką patenka tik labai nedidelis kiekis radioaktyviųjų medžiagų – reaktoriuje susidariusių dujų, kurios išmetamos pro aukštą kaminą.

Vis dėlto, daugėjant atominių elektrinių, paaiškėjo, kad, nepaisant visų saugos priemonių, yra galimi jų darbo sutrikimai ir net avarijos, ypač kai nenumatytomis aplinkybėmis yra padaromos operatorių klaidos. Tai parodė kelios



4.13 pav. Supaprastinta atominės elektrinės veikimo schema.

avarijos, įvykusios tokiose elektrinėse; pirmoji – 1979 m. *Three Mile Island* elektrinėje Pensilvanijos valstijoje (JAV).

O tuo metu Lietuvoje, prie Drūkšių ežero, buvo pradėta statyti galinčiausia pasaulyje Ignalinos atominė elektrinė (nutarimas priimtas Maskvoje, nepaisant pačios Lietuvos poreikių ar nuomonės). Planuota pastatyti keturis 1500 MW galios branduolinius reaktorių; pirmasis pradėjo veikti 1983 m. pabaigoje, o antrasis 1987 m. Visgi šių reaktorių saugos priemonės nebuvo gerai apgalvotos, tai įrodė 1986 m. įvykusi avarija Černobylio atominėje elektrinėje, kurioje veikė to paties tipo, tik mažesnės galios branduoliniai reaktoriai (apie tai plačiau – kitame straipsnyje). Tad, Lietuvai atkūrus nepriklausomybę, trečiojo reaktoriaus statyba buvo sustabdyta. O šaliai siekiant tapti Europos Sąjungos nare, teko uždaryti pirmąjį reaktorių ir įsipareigoti iki 2010 m. sustabdyti ir antrąjį reaktorių. Dabar vykdomi tų elektrinės blokų išmontavimo ir radioaktyviųjų atliekų saugyklų įrengimo darbai, kurie truks iki 2030 m., ir tam prireiks apie trijų milijardų eurų (didžiąją lėšų dalį skiria Europos Sąjunga).

Politikai ilgai diskutavo, ar reikėtų toje pačioje vietoje statyti naują atominę elektrinę. Juk Lietuvai trūksta savų energijos išteklių, o akmens anglies ir dujų naudojimas vis labiau ribojamas dėl atmosferos taršos anglies dvideginiu. Tačiau nedidelei mūsų šaliai imtis tokios statybos būtų per brangu, o kitos Baltijos šalys abejojo projekto nauda. Iš tikrųjų, atsižvelgus ne tik į elektrinės statybos, eksploatavimo, bet ir į uždarymo išlaidas, tokiu būdu gauta energija nebūtų pigiausia. Pagaliau, po avarių Černobylyje ir 2011 m. Fukušimoje (Japonija) visuomenės nuomonė nebuvo palanki branduolinei energetikai. Tad 2012 m. rudenį įvykęs referendumas nepritarė naujos atominės elektrinės statybai Lietuvoje ir padėjo tam sumanymui gal ir ne tašką, bent jau daugtaškį.

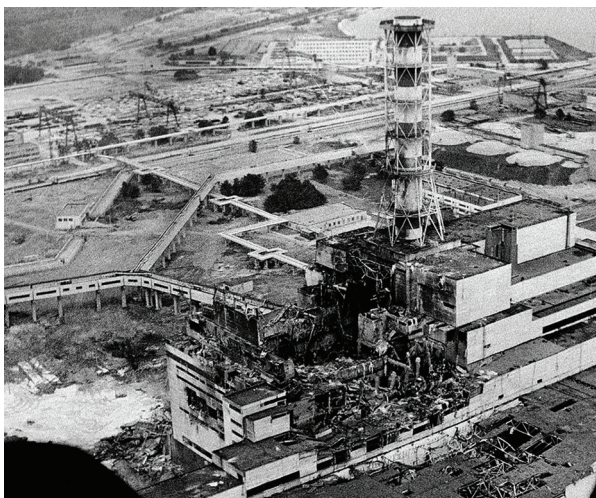
ČERNOBYLIO AVARIJA IR JOS PĖDSAKAI LIETUVOJE

1986 m. balandžio 28 d. rytą atėję į darbą Radiologinės laboratorijos Fizikos instituto Vilniuje darbuotojai pastebėjo, kad automatiniai oro radioaktyvumo matavimo prietaisai užregistravo staigų radioaktyvumo padidėjimą,

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

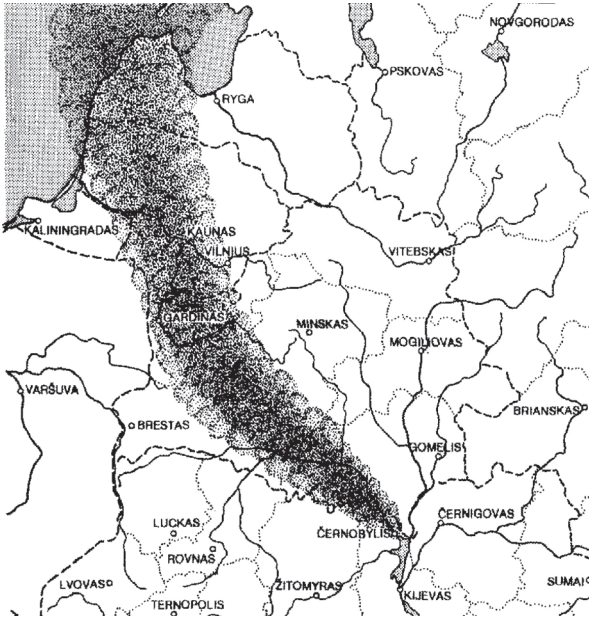
apie dešimt kartų viršijantį natūralųjį foną. Nustatę, kokių radioaktyviųjų medžiagų atsirado ore, specialistai suprato, kad kažkur įvyko atominės elektrinės avarija. Pirmosios apie sprogimą Černobylio atominėje elektrinėje pranešė užsienio radijo stotys, ir tik paaiškėjus, kad avarijos nuslėpti nepavyks, apie tai oficialiai buvo paskelbta ir SSRS.

Černobylio atominė elektrinė buvo pastatyta Ukrainoje, apie šimtą kilometrų į šiaurę nuo Kijevo, ant Pripetės upės kranto; joje veikė keturi 1000 MW galios branduoliniai reaktoriai. Avarija įvyko balandžio 26 d. naktį ketvirtajame reaktoriuje. Sumažinus jo galią, buvo atliekamas įrenginio išbandymas esant atjungtai saugos sistemai. Dėl operatorių klaidų bei nepatikimos konstrukcijos reaktoriaus galia staiga ėmė augti, ir jis tapo nevaldomas. Jo viduje pakilus temperatūrai, susidaręs dujų mišinys susprogdino reaktorių; kilo didžiulis gaisras. Į aplinką buvo išmesta, įvairiais vertinimais, nuo 10 iki 50 tonų radioaktyviųjų medžiagų. Radioaktyvus debesis pakilo į 1,5 km aukštį. Laimė, kad tuo metu vėjas pūtė ne į Kijevo pusę, ir tai išgelbėjo pusrėčio milijono gyventojų turintį miestą nuo didelės nelaimės. Debesies pėdsakas nusidriekė šiaurės vakarų kryptimi per Ukrainą, Baltarusiją, pietvakarių Lietuvą link Skandinavijos (4.15 pav.). Radioaktyviosios medžiagos iš



4.14 pav.
Černobylio
atominės elektrinės
reaktorius
po sprogimo,
įvykusio 1986 m.
balandžio 26 d.

IV skyrius



4.15 pav.
Radioaktyvus
debesis, nusidriekęs
per Europą po
avarijos Černobylio
atominėje
elektrinėje.

reaktoriaus dar veržėsi apie dvidešimt dienų, kol avarijos likviduotojai, patys gaudami dideles apšvitos dozes, užgesino gaisrą, įrengė aušinimo sistemą, kad neįvyktų antrasis sprogdimas.

Keičiantis vėjo kryptčiai, daugiau ar mažiau buvo užteršta dalis Ukrainos bei Baltarusijos, vakarinės Rusijos teritorijų, pateko radioaktyviųjų medžiagų net į Pietų Europą, Užkaukazę. Iš trisdešimties kilometrų zonos aplink elektrinę buvo evakuoti gyventojai. Avarija Černobylio atominėje elektrinėje lėmė daugelio žmonių mirtį ir ligas, tapo nacionaline Ukrainos ir Baltarusijos tragedija.

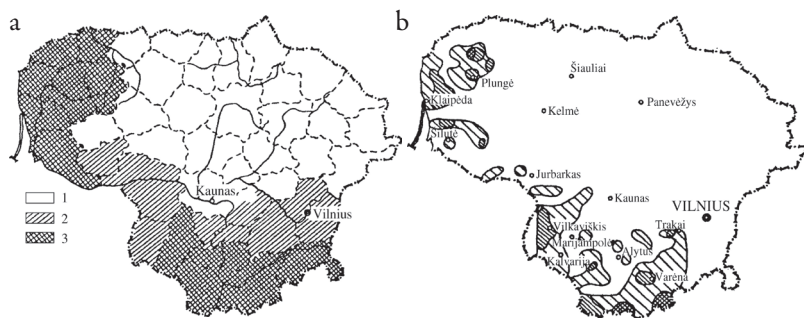
Lietuvoje radioaktyvus debesis paskleidė tik nedidelę taršą (Vilnius yra už 500 km nuo Černobylio), kuri sparčiai mažėjo. Pirmomis dienomis po avarijos didžiausią pavojų kėlė ore lakiojančios radioaktyviųjų medžiagų dulkelės. Įkvėptos su oru bei prilipusios prie kvėpavimo takų, dulkelės apšvintina aplinkinius audinius ir gali sukelti jų ląstelių pakitimus bei išsigimimą. Daugiausia iškrito jodo radioizotopo ^{131}I , kurio pusėjimo trukmė tik 8 paros.

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

Nusėdęs ant ganyklų žolės, jis pateko į pieną, tad kai kuriuose rajonuose pieno radioaktyvioji tarša trumpą laikotarpį net keliolika kartų viršijo didžiausią leidžiamą lygį (4.16 pav., a). Gerokai mažiau išskrito cezio radioizotopo ^{137}Cs , tačiau jo pusėjimo trukmė yra 30 metų. Kaip parodė tyrimai, jis kiek labiau padidino grunto radioaktyvumą tik kai kur ežerų pakrantėse (bangoms išmetus į krantą dulkeles) bei miškų pakraščiuose, medžiams sulaikius besileidžiantį radioaktyvų debesį (4.16 pav., b). Tad tuoj po avarijos buvo rizikinga valgyti Pietų ir Pietvakarių Lietuvoje surinktus grybus, nes jie linkę kaupti sunkiuosius elementus, tarp jų ir cezij.

Sustabdžius radioaktyviųjų medžiagų sklidimą iš sprogsio branduolinio reaktoriaus, prasidėjo aplinkos valymo ir reaktoriaus laidojimo darbai; jis buvo uždengtas laikinu gelžbetoniniu sarkofagu. Likviduojant Černobylio avarijos pasekmes, dalyvavo apie 600 000 žmonių, tarp jų daugiau kaip 7000 iš Lietuvos. Kai kurie likviduotojai gavo gana dideles jonizuojančiosios spinduliuotės dozes. Anot įvairių šaltinių, šios avarijos aukų skaičius svyruoja nuo 8000 iki 30 000.

O plati teritorija aplink Černobylio atominę elektrinę tebėra užteršta iki šiol. To, aišku, nejaučia gyvūnai, kurie ten surado žmogaus veiklos netrikdomas sąlygas. Deja, jonizuojančioji spinduliuotė juos veikia, ir



4.16 pav. Lietuvos teritorijos radioaktyvioji tarša dėl Černobylio avarijos: trumpalaikė tarša jodo radioizotopu ^{131}I (1 – mažo aktyvumo zona, 2 – tarša, keletą kartų viršijusi didžiausią leidžiamą lygį, 3 – tarša, keliolika kartų viršijusi didžiausią leidžiamą lygį) (a); tarša cezio radioizotopu ^{137}Cs (tankiau užbrūkšniuoti plotai labiau užteršti, bet ir tose dėmėse radioaktyvumas nedaug viršijo gamtinį radioaktyvumą) (b).

išsigimimai nėra reti. Atsiranda ir smalsuolių, norinčių išvysti tą nelaimės zoną, tad vykdomos specialios ekskursijos. Aišku, sprogsio reaktorius apžiūrėti neįmanoma: jis yra palaidotas po sarkofagu bei 110 m aukščio apsauginiu gaubtu.

JONIZUOJANČIOJI SPINDULIUOTĖ IR GYVYBĖ

Jonizuojančioji spinduliuotė – tai radioizotopų skleidžiami alfa, beta ir gama spinduliai, taip pat Röntgeno spinduliai, kurie gali suardyti atomus ir molekules.

Gyvųjų organizmų ląstelėse vykstantiems įvairiems procesams yra būdingos keletu elektronvoltų energijos. Tad į ląstelę įsiveržusi kelių milijonų elektronvoltų energijos alfa dalelė arba panašios energijos fotonas nusiaubia ląstelę, tarsi dramblys porceliano parduotuvę. Suardytų molekulių dalys paskui susijungia atsitiktiniu būdu, sudarydamos šalutinius ar net kenksmingus junginius. Sutrinka ląstelės gebėjimas gaminti baltymus ir dalyvauti kituose biologiniuose procesuose, sunaikinama arba sugadinama ląstelėje užšifruota informacija, todėl ląstelė žūsta arba virsta išsigimusia (vėžine) ląstele, kuri ima sparčiai daugintis. Ypač jautrūs jonizuojančiajai spinduliuotei yra kaulų čiulpai, gaminantys raudonusius kraujo kūnelius, nuolat atsinaujinanti virškinamojo trakto gleivinė ir lytinės liaukos.

Vis dėlto grunte, ore ir net organizmų viduje esantys nedideli kiekiai radioaktyviųjų medžiagų nuolat veikia gyvuosius organizmus, tad jie yra prisitaikę prie silpno ardomojo poveikio ir pajėgia kovoti su juo: pažeistos ląstelės yra pašalinamos, sugadinta informacija atstatoma, nes ji būna padubliuota, ir pan. Silpna jonizuojančioji spinduliuotė gali turėti ne tik neigiamų, bet ir teigiamų pasekmių – stimuliuoti imuninę sistemą.

Sugertąja doze yra vadinama kūno masės vieneto sugerta spinduliuotės energija. Tačiau įvairūs skvarbieji spinduliai veikia organizmą nevienodai, tad sugertoji dozė dauginama iš tam tikro koeficiento, apibūdinančio biologinį spindulių aktyvumą, ir gaunama lygiavertė dozė. Jos vienetas yra *sivertas* (pavadintas švedų fiziko R. Sieverto (R. Sivertas) vardu), sutrumpintai žymimas *Sv*. 1 siverto apšvitą gauna žmogus, paveiktas jonizuojančiosios spinduliuotės, jeigu jo kūno masės kilograme išsiskiria 1 J energijos.

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

Lietuvos gyventojas per metus iš įvairių šaltinių vidutiniškai patiria apie 3,3 mSv, t. y. 0,0033 Sv apšvitą, daugiausia iš patalpose esančio radono bei per rentgenologinius tyrimus medicinos įstaigose (neatsižvelgiant į spindulinę terapiją gautą apšvitą) (4.18 pav.).

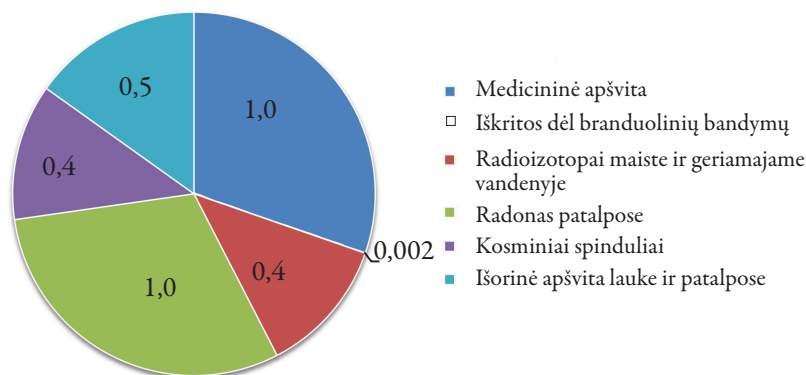
Žemėje aptinkami radioaktyvieji sunkieji cheminiai elementai yra kadaise susidarę vykstant supernovų sproginimams ir kitoms kosminėms katastrofoms. Kai kurių radioizotopų pusėjimo trukmė yra nepaprastai ilga. Antai urano ^{238}U – 4,5 milijardo metų, o torio ^{232}Th – net 14 milijardų metų. Skylant tam urano izotopui, po kelių branduolinių virsmų susidaro radonas ^{222}Rn , kuris yra radioaktyviosios inertinės dujos. Jos po truputį skiriasi iš uolienu, ypač lengvai prasiskverbia į žemės paviršių pro orui pralaidų smėlio ar žvyro gruntą, ir kaupiasi nevedinamose patalpose, kaip antai rūsiuose.

Žinant, kad mūsų planetoje buvo įvykdyta nemažai branduolinio ginklo bandymų – atominės ir vandenilinės bombų sprogdinimų, gali atrodyti, kad tai dar vienas radioaktyviosios taršos šaltinis. Tačiau dauguma tų bandymų buvo vykdyti seniai, į atmosferą patekę jų produktai išsisklaidė, tad, išskyrus sritis apie poligonus, kitur papildoma apšvita nėra registruojama. Dabar



4.17 pav.

Jonizuojančiosios spinduliuotės ženklas, įspėjantis apie jos pavojų.



4.18 pav. Lietuvos gyventojų per metus gaunamos apšvitos sudedamosios dalys (mSv).

Lietuvoje praktiškai nepastebima ir radioaktyviosios taršos dėl Černobylio avarijos (minėtos išimtyt – kai kurios vietos paežerėse ir pamiškėse Pietų Lietuvoje).

Be to, Žemės paviršių pasiekia šiek tiek kosminių spindulių bei Saulės skvarbiųjų spindulių. Jų poveikis stiprėja kylant į kalnus arba skrendant lėktuvu. Tačiau tai aktualu tik lėktuvų įguloms, nes, pavyzdžiui, vieno skrydžio Vilnius–Londonas metu žmogus patiria tik apie 0,004 mSv apšvitą.

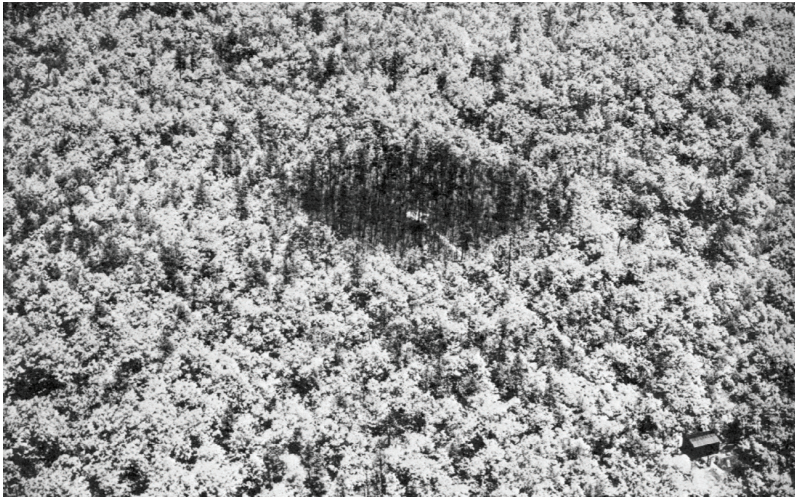
Nedidelis radioizotopų kiekis patenka į žmogaus organizmą per maisto produktus ir geriamąjį vandenį. Daugelis jų yra greitai pašalinami, pavojingesni yra kalio ^{40}K ir stroncio ^{90}Sr radioizotopai, kurie tampa audinių dalimi.

Vis dėlto pagrindiniu apšvitos šaltiniu žmogui dažniausiai tampa medicininiai tyrimai Röntgeno spinduliais ir spindulinė terapija. Rentgenologo seniau vykdoma paciento vidaus organų tiesioginė apžiūra ekrane buvo pakeista rentgenograma, kurios eksponavimo metu apšvita neviršija 0,2 mSv. Didesnė dozė, siekianti net per 10 mSv, gali būti gaunama atliekant tyrimus kompiuteriniu tomografu. Tačiau jų neatlikus ir nediagnozavus susirgimo, sveikatai gali būti pakenkta labiau. O didžiausią apšvitą žmogus patiria taikant spindulinę terapiją piktybiniam navikui naikinti, bet tai, deja, yra viena iš plačiai naudojamų onkologinės ligos gydymo priemonių (tačiau, saugant sveikus audinius, stengiamasi veikti tik pakenktą organą ar vietą).

Asmenims, dirbantiems su radioaktyviosiomis medžiagomis ar prietaisais, skleidžiančiais jonizuojančiąją spinduliuotę, nustatyta leidžiamoji apšvitos dozė 50 mSv per metus, bet ne daugiau kaip 100 mSv per penkerius metus. Gyventojams leidžiamoji dozė nėra nustatyta, tik patariama, kiek tai įmanoma, vengti apšvitos.

Rizika susirgti vėžiu ar atsirasti genetiniams pakitimams auga proporcingai gautajai dozei. Antra vertus, plaukų slinkimas ar akių katarakta pasireiškia beveik visiems žmonėms, gavusiems tam tikro dydžio apšvitos dozę. Mirtina dozė nėra tiksliai nustatyta, dažnai nurodoma vienkartinė 3,4 Sv dozė; kas antras iš ją gavusiųjų miršta per du mėnesius.

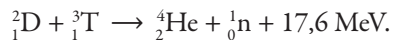
Jonizuojančioji spinduliuotė veikia ir kitus gyvuosius organizmus – tuo silpniau, kuo paprastesnis yra organizmas.



4.19 pav. Jonizuojančioji spinduliuotė veikia ne tik žmogų, bet ir augalus. Apie tai liudija išdžiūvę medžiai aplink tą vietą miške, kur prieš pusmetį buvo padėta kapsulė su radioaktyviuoju ceziumu.

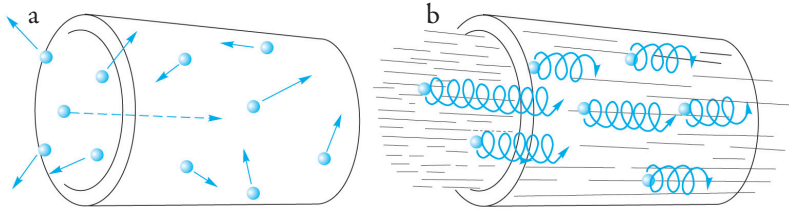
VALDOMOJI TERMOBRANDUOLINĖ SINTEZĖ

Urano atsargos Žemėje nėra itin gausios, o lengvųjų elementų, ypač vandenilio, kiekiai yra milžiniški. Be to, vandenilio branduoliai turi mažiausią elektros krūvį, tad juos lengviau suartinti vieną su kitu iki atstumo, reikalingo sintezės reakcijai prasidėti. Perspektyviausia yra sunkiųjų vandenilio izotopų deuterio ir tričio virtimo heliu reakcija:



Jos metu neatsiranda radioizotopų ir tik vienas neutronas, tad ši reakcija kelia gerokai mažesnę radioaktyviosios taršos pavojų negu dalijimosi reakcija. Deja, ji efektyviai vyksta tik pakaitinus deuterio ir tričio mišinį iki maždaug 150 milijonų laipsnių (esant daug mažesniai plazmos tankiui negu žvaigždžių gelmėse, yra reikalinga daug aukštesnė temperatūra). Tad tokia reakcija vadinama termobranduoline sinteze (gr. *thermos* – karštas).

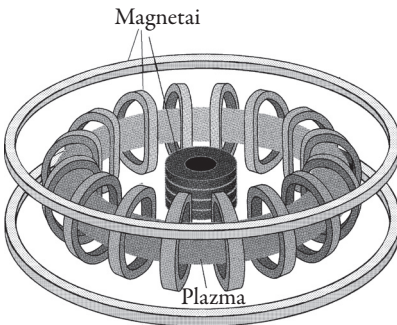
IV skyrius



4.20 pav. Elektringųjų dalelių judėjimas nesant magnetinio lauko (a) ir stipriame magnetiniame lauke (b).

Norint įgyvendinti šią valdomąją reakciją, visų pirma reikėjo išspręsti problemą, kur ir kaip išlaikyti medžiagą, įkaitintą iki milijonų laipsnių. Juk tokioje temperatūroje ji virsta plazma: susiduriant atomams, jie netenka savo elektronų ir susidaro elektringųjų dalelių – jonų ir elektronų – dujos. Jos labai lakios, nes elektringosios dalelės stipriai veikia viena kitą, bet, antra vertus, būtent joms galima sukonstruoti ypatingą talpyklą – iš magnetinio lauko linijų. Juk judanti magnetiniame lauke elektringoji dalelė (kaip ir elektros srovė) yra veikiamą jėgos, statmenos savo judėjimo kryptčiai bei magnetinio lauko kryptčiai, tad dalelė ima suktis spirale aplink magnetinio lauko linijas (4.20 pav.).

Išmoningus magnetinius spąstus sugalvojo Andrejus Sacharovas, rusų termobranduolinės bombos kūrėjas. Deuterio ir tričio plazma yra gaunama tuščiavidurėje riostainio pavidalo kameroje. Ją supa stiprūs magnetai, kurie verčia deuterio ir tričio branduolius suktis ratu (4.21 pav.). Kiti magnetai suspaudžia plazmą į ploną šerdį riostainio centre bei indukuoja ją kaitinančias

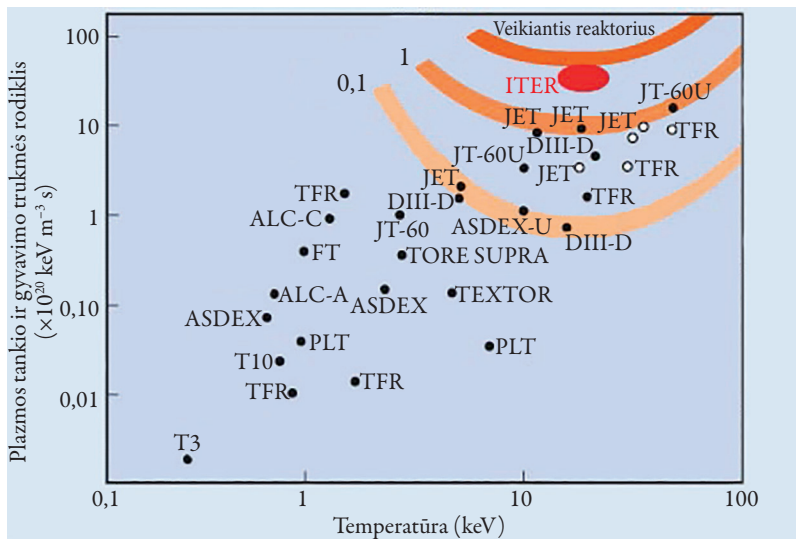


4.21 pav. Termobranduolinio reaktoriaus tokamako schema. Plazma suspaudžiama į ploną žiedą ir izoliuojama magnetinėje gaudyklėje, kurią sukuria įvairūs magnetai.

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

sroves. Toks įrenginys buvo pavadintas tokamaku (santrumpa pavadinimo *toroidinė kamera su magnetiniu lauku*).

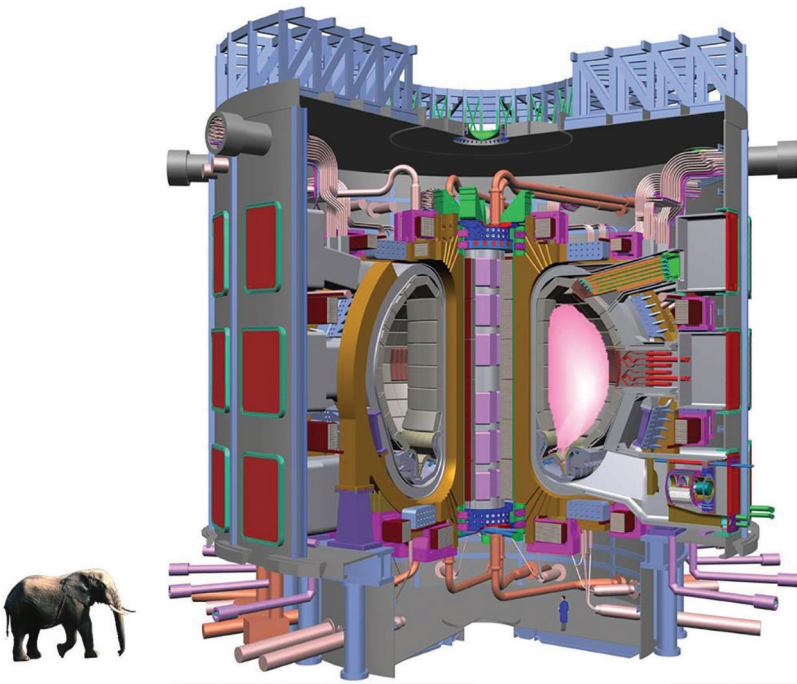
XX a. šeštajame dešimtmetyje atrodė, kad, naudojantis tokamakais ar kitokiomis magnetinėmis gaudyklėmis, pavyks netrukus įgyvendinti valdomąją termobranduolinę reakciją ir ilgiems amžiams išspręsti energijos išteklių problemą. Deja, paaiškėjo, kad šis energijos šaltinis besąs už devynių užraktų. Plazma yra nepaprastai laki ir sunkiai valdoma, o kaitinama tuoj pat išspinduliuoja jai suteiktą energiją į visas puses. Mokslininkams teko atsisakyti staigios atakos ir pereiti į ilgą apgultį. Laipsniškas progresas pavaizduotas 4.22 pav.



4.22 pav. Schema, atspindinti, kaip pamažu fizikai, kurdami vis naujus tobulesnius termobranduolinius reaktorius, artėja prie valdomosios termobranduolinės reakcijos įgyvendinimo. Įvairiais taškais žymimi rekordai, pasiekti konkrečiais įrenginiais (jie vadinami įprastinėmis jų santrumpomis). Tobulinant reaktorių, juo pasiektas rekordas paprastai yra gerinamas keletą kartų. Kreivės apibrėžia sritį, kurią pasiekus reaktoriaus išskirtos ir jo suvartotos energijos kiekių santykis tampa lygus prie kreivės nurodytai vertei. Ties gelsva kreive tas santykis pasidaro lygus 0,1, ties oranžine kreive suvartotos ir išskirtos energijos kiekiai susilygina, ir tik už rausvos linijos yra tenkinamos visos naudingai veikiančio reaktoriaus sąlygos.

IV skyrius

Kiekvienam tolesniam žingsniui reikėjo vis daugiau lėšų, tad kurti termobranduolinį reaktorių galėjo tik labiausiai išsivysčiusios šalys arba jų grupės: JAV, Europos Sąjunga, Japonija, Rusija. 1985–1995 metais buvo sukurti keli dideli tokamakai; daugiausia rekordų pasiekta Princetone (JAV), naudojantis veikiančiu įrenginiu TFTR. Nuo 2013 m. Europos Sąjunga, JAV, Rusija ir kitos šalys kartu vykdo bendrą projektą – Pietų Prancūzijoje, Kadarasė (*Cadarache*) kuriamas tarptautinis termobranduolinis eksperimentinis reaktorius *International Thermonuclear Experimental Reactor* (ITER). Šis projektas kainuos apie 15 milijardų eurų. Reaktorių numatoma baigti statyti 2025 m., o paleisti veikti visu pajėgumu tik 2035 m. (4.23 pav.). Tada jo galia



4.23 pav. Taip turėtų atrodyti dabar daugelio šalių mokslininkų kuriamas termobranduolinis reaktorius *International Thermonuclear Experimental Reactor* (ITER).

turėtų siekti 500 MW, o reaktorius gamintų dešimt kartų daugiau elektros energijos, negu jos pats suvartotų. Tačiau tai bus tik eksperimentinis mokslinis reaktorius; remiantis jame atliktais tyrimais, planuojama kurti pirmąją termo-branduolinę elektrinę DEMO, kuri pademonstruotų šios energijos komercinio panaudojimo galimybes. Taigi termobranduolinės energijos išteklių taps prieinami žmonijai, matyt, tik šio amžiaus antroje pusėje.

RADINIŲ AMŽIAUS NUSTATYMAS RADIOAKTYVIOSIOS ANGLIES METODU

Šiame skyriuje daugiau dėmesio buvo skiriama radioaktyvumo keliamiems pavojams negu jo taikymams, nors pastarųjų taip pat netrūksta.

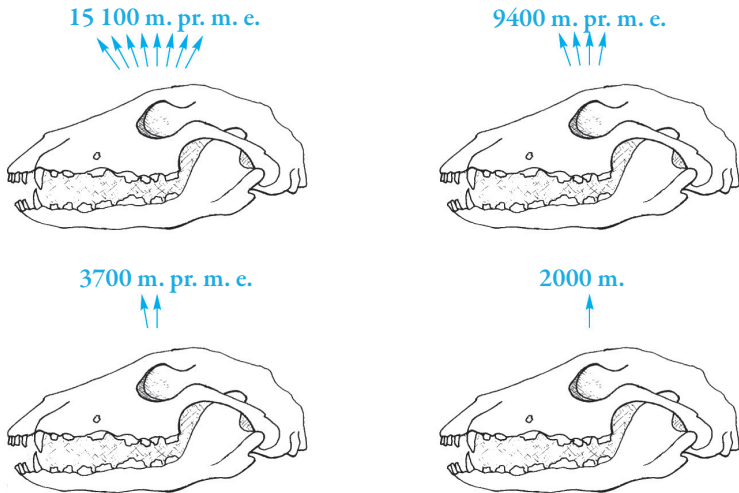
Radioizotopai dažnai naudojami kaip žymėtieji atomai. Cheminės jų savybės visiškai nesiskiria nuo stabilųjų to paties elemento atomų, radioizotopai taip pat dalyvauja cheminėse reakcijose ir biologiniuose procesuose. Tad, pakeitus nedidelę dalį stabilųjų atomų radioaktyviaisiais, naudojantis jautriais jonizuojančiosios spinduliuotės matavimo prietaisais, galima stebėti cheminių elementų apykaitą bei pasiskirstymą vykstant įvairiems procesams gyvojoje ir negyvojoje gamtoje.

Kitas įdomus taikymas yra radioaktyviosios anglies panaudojimas archeologinių radinių amžiui nustatyti.

Nedidelis anglies radioizotopo ^{14}C kiekis susidaro atmosferoje, azoto atomus veikiant kosminiams spinduliams (apie juos pasakojama XI skyriuje, skyrelyje „Kosminiai spinduliai“). Šio radioizotopo pusėjimo trukmė yra apie 5700 metų. Radioizotopas ^{14}C , kaip ir stabilusis izotopas ^{12}C , jungiasi su deguonimi sudarydamas anglies dvideginį. Pastarąjį sugeria augalai, o per augalinį maistą radioaktyvioji anglis patenka į gyvūnų organizmus. Taigi visuose augaluose ir gyvūnuose radioaktyvioji anglis sudaro nedidelę dalį (apie 10^{-12}) visos anglies – tokią pat kaip ir ore.

Gyvajam organizmui žuvus, naujos radioaktyviosios anglies į jį nebepatenka. Vadinas, iš lėto suyrant radioizotopui ^{14}C , jo kiekis ^{12}C atžvilgiu ima mažėti – organizmo žūtis paleidžia atominį laikrodį. Kuo senesnės yra organinės kilmės liekanos, tuo mažiau jose belikę radioaktyviosios anglies. Taigi, matuojant anglies ^{14}C skleidžiamą spinduliuotę, galima nustatyti medžio ir

IV skyrius



4.24 pav. Archeologinio radinio skleidžiama spinduliuotė, laikui bėgant, silpnėja, nes po gyvojo organizmo žūties jame esančios radioaktyviosios anglies kiekis ima mažėti. (Gyvūno, žuvusio 15 100 m. pr. m. e., kaukolės skeista spinduliuotė įvairiais metais, kurie nurodyti viršuje. Spinduliuotė pavaizduota strėliukėmis.)

kaulo dirbinių, mumijų ir kitokių archeologinių radinių amžių, o kartu ir viso kultūrinio sluoksnio, kuriame jie buvo aptikti, susidarymo laikotarpį. Šis metodas leidžia datuoti maždaug iki 50 000 metų senumo radinius.

MOTERYS IR FIZIKA

Moterys fizikoje yra padariusios ne mažiau svarbių atradimų negu vyrai.

Marie Curie pirmoji priėjo išvadą, kad radioaktyvumas yra vidinė atomų savybė. Ji aptiko torio radioaktyvumą, o kartu su savo vyru Pierre Curie atrado du naujus radioaktyviuosius elementus – radį ir polonį. M. Curie gavo net dvi Nobelio premijas – fizikos ir chemijos. Jos dukra Irėnė Joliot-Curie su savo vyru Fredericu Joliot-Curie (Frederikas Žolio-Kiuri) atrado dirbtinį radioaktyvumą ir sukūrė naujų radioizotopų. Irėnė kartu su bendradarbiu Pavle Savičiumi (Pavlė Savičius) pirmieji stebėjo urano dalijimosi reakciją, tik, deja, neatpažino, kad tai naujo tipo reakcija. Po to, kai



4.25 pav. Curie šeima: Marie ir Pierre su savo dukra Irène (1902 m.). Jiems visiems trims buvo lemta tapti Nobelio premijos laureatais.

O. Hahnas ir F. Strassmannas padarė šį atradimą, Austrijos fizikė Lise Meitner (Liza Meitner) kartu su savo sūnėnu Otto Frischu (Oto Frišas) paaiškino tos reakcijos prigimtį. Tai, kad tuos svarbius rezultatus šios fizikės gavo ne vienos, nemenkina jų pasiekimų: juk XX amžiaus fizika, ypač eksperimentinė fizika, – kolektyvinis mokslas. O amerikietė Maria Goeppert-Mayer (Marija Gepert-Majer) pati viena priėjo prie išvados, kad nukleonai branduolyje išsidėsto tam tikrais sluoksniais, panašiai kaip elektronai atome. Tiesa, tokia idėja nepriklausomai nuo amerikietės kilo ir vokiečių fizikui Hansui Jensenui (Hansas Jenzenas); už tai jie abu pelnė Nobelio premiją.

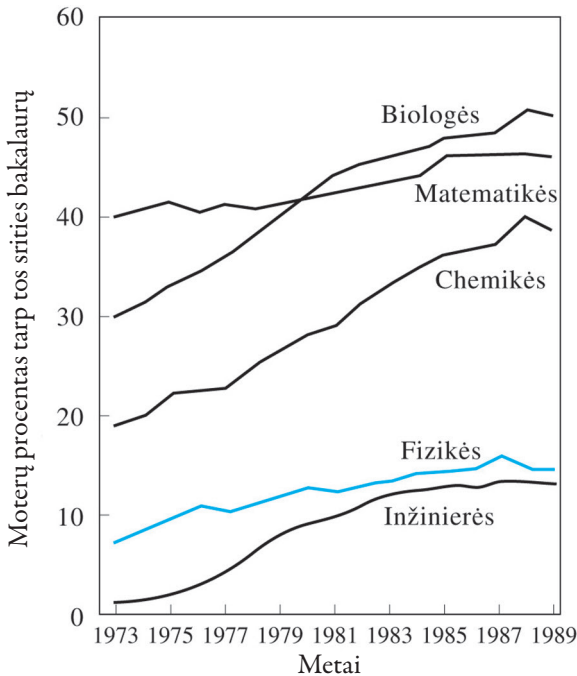
Neseniai aukšto pripažinimo susilaukė moterų atradimai lazerių fizikos ir astrofizikos srityse. 2018 m. Nobelio fizikos premija buvo skirta Kanados mokslininkei Donnai Stricland (Dona Striklend) kartu su prancūzu Gerard'u Mourou (Žeraras Muru) už jų sukurtą aukšto intensyvumo ultratrumpųjų optinių impulsų generavimo metodą. O 2020 m. šią premiją pelnė amerikiečių astronomė Andrea Ghez (Andreja Gez) kartu su vokiečių astrofiziku Reinhardu Genzeliu (Reinhardas Gencelis) už supermasyvaus kompaktinio objekto (juodosios skylės) atradimą mūsų Galaktikos centre.

IV skyrius

Kodėl gi XIX a. ir ankstesniųjų amžių fizikos istorijoje nėra moterų vardų? Negi jos gabios tik šiuolaikinei fizikai? Kalti, aišku, ne moterų gebėjimai, o visuomenės nuostatos. Mokslas buvo laikomas vyrišku užsiėmimu, moterų tiesiog nepriimdavo į universitetus, netgi neįleisdavo į jų patalpas (pavyzdžiui, senajame Vilniaus universitete).

Vis dėlto ir šiais laikais, nelikus apribojimų, moterys pačios ne itin dažnai renkasi studijuoti fiziką. Galbūt dėl to kalta susidariusi fizikos, kaip sudėtingo ir sauso mokslo, reputacija. Kaip matome iš 4.26 pav., fizikių, turinčių bakalauro laipsnį, procentas yra gerokai mažesnis negu biologijų, matematikų ar chemikų (JAV duomenys). Tiesa, moterų santykinė dalis tiek fizikoje, tiek kituose moksluose po truputį auga.

Deja, dar mažesnis moterų procentas yra tarp mokslininkų fizikų. Žinoma, moteriai pasišvęsti mokslui yra gerokai sunkiau negu vyrui. Juk jis



4.26 pav. Moterų dalis tarp įvairių mokslo sričių bakalauro JAV.

ATOMŲ BRANDUOLIAI IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

gali sutelkti visą dėmesį mokslui ir skirti jam ne tik darbo laiką, bet ir laisvalaikį, daugelį šeimyninių pareigų perleisdamas žmonai. Tačiau mokslininkė, norinti sukurti ir išaugoti šeimą, išauginti vaikus, mokslui gali skirti kur kas mažiau laiko. Gal ir vyrai, mielai praleidžiantys moterį pirmą pro duris, toli gražu ne visada mielai praleidžia ją į mokslo aukštumas.

Reikia nepamiršti, kad ir ankstesniais laikais moterys yra daug prisidėjusios prie savo vyrų atradimų sudarydamos palankias sąlygas jų kūrybai, tam jos aukodavo savo laiką, karjerą bei pomėgius. Michaelio Faraday'aus žmona Sara rūpinosi ne tik buitiniiais, bet ir moksliniais jo reikalais, ne kartą padėjo jam atgauti pusiausvyrą ištikus nesėkmėms, o vyrui sunkiai susirgus, išslaugė jį, ir M. Faraday'us dar dvidešimt metų galėjo skirti mokslui. Laura Fermi suprato ištekėjusi už fizikos genijaus, tad šeimos centru tapo atomų branduoliai; apie tai ji papasakojo knygoje *Atomi in famiglia* („Atomai mūsų namuose“). Margrethe Bohr (Margarita Bor) rūpinosi ne tik savo vyru, bet ir daugeliu jo mokinių bei svečių, kurie nuolat lankėsi N. Bohro vadovaujame institute bei svetinguose jų šeimos namuose, čia pratęsdami nepabai- giamas diskusijas. Šią moterų, daug prisidėjusių prie fizikos atradimų, seką būtų galima tęsti, nors mokslo istorikai neretai prisimena tik žymių jų vyrų nuopelnus.

Taigi fizika, netgi tokios sudėtingos jos sritys, kaip atomo branduolio fizika, lazerių fizika ar astrofizika, nėra svetimos moters prigimčiai. O ateityje šis mokslas galbūt taps dar moteriškesnis.

V

ELEMENTARIOSIOS DALELĖS IR FUNDAMENTINĖS SAŲEIKOS

Elektronas, protonas, neutronas ir... neutrinas. Kai 1932 m. buvo atrastas neutronas ir paaiškėjo, kad atomai yra sudaryti iš protonų, neutronų ir elektronų, atrodė, kad jau yra žinomos visos pagrindinės medžiagos sudedamosios dalelės; jos buvo pavadintos elementariosiomis dalelėmis. Tačiau gamta pasirodė esanti daug sudėtingesnė.

Dar 1929 m. buvo pastebėta, kad radioaktyviajam radonui skleidžiant beta spindulius (elektronus), jų energija pasiskirsto tolydžiai. Vykstant šiam beta skilimui, neutronas virsta protonu ir išspinduliuojamas elektronas, o kadangi atome dalelių energijos yra kvantuotos, tai ir išlekiantys elektronai turėtų įgyti tik tam tikras energijos vertes. Kai kurie fizikai, tarp jų net N. Bohras, buvo linkę patikėti, kad keistame mikropasaulyje gali negalioti ir energijos tvermės dėsnis. W. Paulis surado kitą išeitį: jis iškėlė hipotezę, kad iš radono branduolio kartu su elektronu išlekia dar viena elementarioji dalelė, nusinešanti dalį energijos. Norint paaiškinti, kodėl ji nėra stebima, teko padaryti prielaidą, kad ši dalelė neturi elektros krūvio, o jos masė labai maža. Ta paslaptingoji dalelė buvo pavadinta neutrinu, o ją eksperimentiškai pavyko aptikti tik po 25 metų.

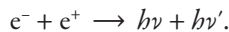
Pozitrono atradimas. Dalelės ir antidalelės. 1931 m. Paulas Diracas (Polis Dirakas), siekdamas suderinti kvantinę mechaniką su reliatyvumo teorija, padarė išvadą, kad turi egzistuoti dar viena elementarioji dalelė – pozitronas. Jo masė lygi elektrono masei, bet elektros krūvis priešingo ženklų – teigiamasis. Kitais metais, turtingais fizikos įvykių 1932-aisiais, pozitronas buvo atrastas eksperimentiškai.

Mažulyčių elementariųjų dalelių nėra įmanoma stebėti jokiais mikroskopais, tačiau fizikai išgalvojo būdą, kaip dalelių trajektorijas padaryti matomas.

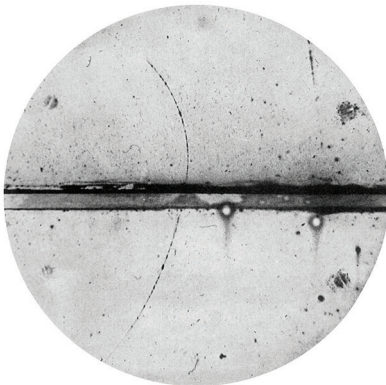
ELEMENTARIOSIOS DALELĖS IR FUNDAMENTINĖS SĄVEIKOS

Greita elektringoji dalelė savo kelyje jonizuoja atomus. Jeigu oras yra persotintas vandens garų, tai tie jonai tampa garų kondensacijos centrais – mažyčiais rūko lašeliais. Tokius persotintuosius garus lengva gauti, staiga išplėtus indo tūrį (padidėjus dujų tūriui, jos atšąla ir dalis vandens garų iškrinta rasos ar rūko pavidalu). Taip veikiantis dalelių registravimo prietaisas vadinamas Wilsono kamera (jos išradėjo C. Wilsono (Č. Vilsonas) vardu). Vėliau buvo sukonstruota burbulinė kamera. Joje dalelėms registruoti naudojamas labai švarus perkaitintasis skystis – jis nepradedą virti, nes garų burbuliukai pirmiausia susidaro prie priemaišų kruopelių. Įlėkusi į tokį skystį, elementarioji dalelė palieka mažų burbuliukų pėdsaką.

Pozitronas buvo aptiktas naudojantis Wilsono kamera, esančia magnetiniame lauke, – pagal pozitrono trajektoriją buvo galima nustatyti ne tik jo krūvį, bet ir masę (5.1 pav.). Paaikškėjo, kad pozitronas yra elektrono antidalelė. Tai reiškia, kad, pozitronui susidūrus su elektronu, jie anihiliuoja (išnyksta) ir atsiranda dažniausiai du didelės energijos fotonai (nes virsmui turi galioti energijos ir judėjimo kiekio tvermės dėsniai):



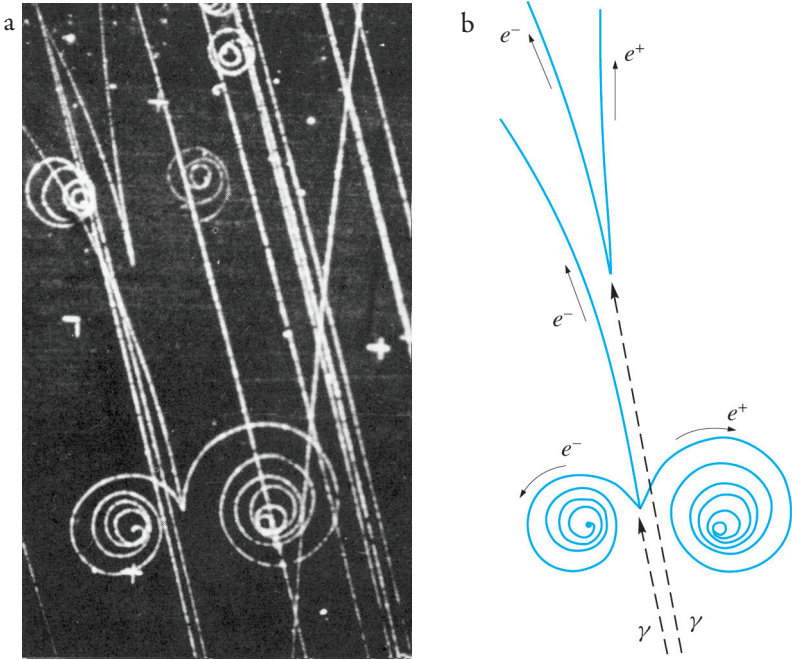
Tai didžiausios galios reakcija, nes jos metu išsiskiria visa energija, kuri, pagal sąryšį $E = mc^2$, slypi medžiagoje (šiuo atveju – dalelėse iki susidūrimo).



5.1 pav. Pirmoji pozitrono nuotrauka, gauta Wilsono kameroje. Pozitrono pėdsakas – lenkta taškinė linija, o tamsi horizontali linija – švino plokštelė. Dalelės pėdsako išlinkimas į kairę magnetiniame lauke liudija, kad pozitronas turi teigiamąjį elektros krūvį. Pėdsakas labiau išlinkęs viršutinėje dalyje, vadinasi, pozitronas įlėkė iš apačios (jis neteko energijos pereidamas per švino plokštelę, o mažesnės energijos dalelė magnetiniame lauke juda mažesnio spindulio apskritimu).

Galima ir priešinga reakcija – fotono virsmas elektrono ir pozitrono pora (5.2 pav.); aišku, tai įmanoma tik tuomet, jei fotono energija viršija 1,02 MeV – elektrono ir pozitrono rimties energijų sumą (o greta fotono yra dar viena dalelė, galinti perimti dalį judėjimo kiekio).

Vėliau paaiškėjo, kad protonas, neutronas bei kitos elementariosios dalelės irgi turi antidaleles. Dalelė ir antidalelė visada yra vienodos masės,

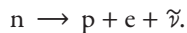


5.2 pav. Elementariųjų dalelių pėdsakai burbulinėje kameroje (a) ir kai kurių pėdsakų interpretacija (b). V raidės pavidalo pėdsakas atitinka elektrono (e^-) ir pozitrono (e^+) poros susikūrimą iš gama kvanto, kuris pėdsako kameroje nepaliko (schemoje jo trajektorija pažymėta punktyru). Kitą panašų įvykį atitinka dvi spiralės, išeinančios iš vieno taško. Kadangi gama kvantas ne tik sukūrė šią porą, bet ir išmušė iš atomo elektroną suteikdamas jam didelę energiją (trečioji mažai išlenkta linija, išeinanti iš to paties taško į viršų), tai elektronas ir pozitronas, įgiję tik nedideles energijas, ėmė greitai sukstis magnetiniame lauke į priešingas puses.

ELEMENTARIOSIOS DALELĖS IR FUNDAMENTINĖS SĄVEIKOS

bet skiriasi elektros krūvio bei kitų specialiųjų krūvių, įvestų elementariųjų dalelių fizikoje, ženklais.

Elementariųjų dalelių virsmai. Galimybė fotonui virsti dalelės ir antidalelės pora nereiškia, kad tos dalelės buvo jo viduje. Tą patį galima pasakyti ir apie kitus elementariųjų dalelių virsmus. Pavyzdžiui, neutronas yra stabilus tik branduolyje, o būdamas laisvas, jis savaime virsta protonu, elektronu ir antineutrino ($\bar{\nu}$) (vidutinė gyvavimo trukmė – 15 minučių):



Tai nereiškia, kad neutronas yra sudarytas iš protono, elektrono ir antineutrino, iš tikrųjų šios dalelės atsiranda tik neutrono skilimo metu. Tai būdingas elementariųjų dalelių pasaulio bruožas. Skildamos ar susidurdamos viena su kita, elementariosios dalelės ne subyra į sudedamąsias dalis, bet virsta kitomis elementariosiomis dalelėmis. Taigi mikropasaulyje egzistuoja dalelių demokratija.

Dviejų dalelių susidūrimo padariniai labai priklauso nuo jų greičių: kuo didesnė susidūrimo energija, tuo daugiau ir masyvesnių dalelių gali atsirasti. Čia įprastas dalykas „dviem pelėms pagimdyti dramblių“, nes elementariųjų dalelių reakcijose masė ir energija (siauraja šių sąvokų prasme) nuolat virsta viena kita.

Elementariųjų dalelių zoologijos sodas. Pagrindinė informacija apie elementariąsias daleles gaunama tiriant jų tarpusavio smūgius. Kaip minėta, kuo didesniu greičiu susiduria dalelės, tuo daugiau ir masyvesnių naujų dalelių atsiranda. Be to, kaip rašoma III skyriuje, kiekvienai dalelei būdingos ir banginės savybės; didėjant dalelės greičiui ir kartu masei, jos bangos ilgis mažėja. Kai jis pasidaro mažesnis už kitos dalelės matmenis, smūgio rezultatas ima priklausyti nuo dalelės-taikinio struktūros ir leidžia ją tirti.

Įvairių elementariųjų dalelių susidaro kosminiams spinduliams veikiant Žemės atmosferos molekules ir atomus. Tokiu būdu 1936 m. buvo atrasta dalelė, panaši į elektroną, bet turinti masę, 207 kartus viršijančią elektrono masę, ir gyvuojanti maždaug 10^{-6} s. Ji iš pradžių buvo pavadinta miu mezonu (gr. *mezos* – vidutinis; nurodant, kad dalelės masė yra tarpinė tarp elektrono

ir protono masių), o vėliau perkrikštyta į *miuoną*. 1947 m. buvo atrasti net du (skirtingo elektros krūvio ženklo) pi mezonai, arba pionai, dar masyvesni ir trumpiau gyvuojantys už miuoną.

Fizikams nusibodo kantriai laukti kosminių spindulių malonės, kol jie reikiamoje vietoje – elementariųjų dalelių registravimo prietaise – sukurs naują dalelę, tad imta konstruoti elementariųjų dalelių greitintuvus, suteikiančius dalelėms vis didesnę energiją (žr. straipsnelį „Didžiausi fizikos prietaisai“). Ir atradimai pasipylė lyg iš gausybės rago – per porą dešimtmečių buvo atrasta daugiau kaip šimtas naujų elementariųjų dalelių.

Aišku, mokslininkai nesiryžo iš karto atsakyti į klausimą, kam gamtai reikia tiek elementariųjų dalelių, bet pradėjo sistemingai tyrinėti jų savybes, klasifikuoti daleles. Jos buvo suskirstytos į keletą skirtingų šeimų.

Labai svarbi dalelės charakteristika yra sukinyš, kuris, apibūdinant elektroną, jau buvo minimas III skyriuje (skyrelis „Elektronų tapatumas ir Paulio principas“). Dauguma dalelių, kaip antai elektronas, turi sukinių, lygų $1/2$ arba kartotinį $1/2$ ($h/2\pi$ vienetais); jos vadinamos fermionais, o dalelės su sveikuoju sukiniu vadinamos bozonais. Esminis skirtumas tarp jų toks: kvantinėje sistemoje visi fermionai turi būti skirtingų būsenų, o bozonų bet koks skaičius gali būti tokios pat būsenos.

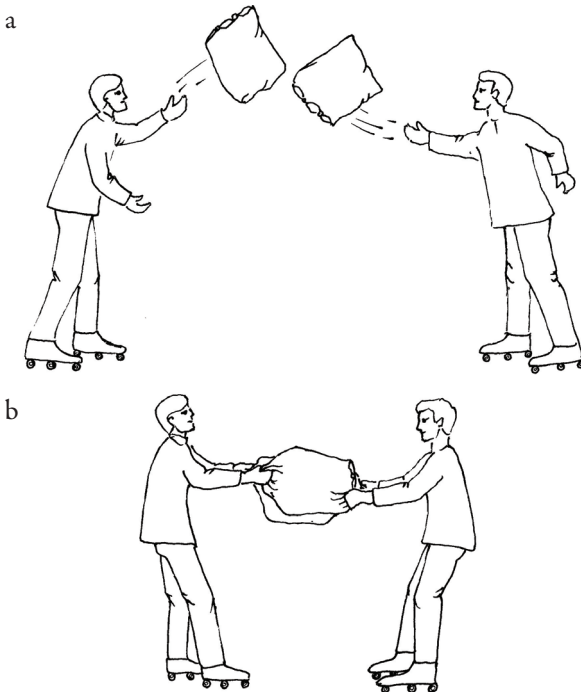
Elektronas, elektroninis neutrinas (taip dabar vadinamas pirmasis atrastas neutrinas), miuonas bei dar vienas – miuoninis neutrinas, reakcijose atsirandantis kartu su miuonu, taip pat jų antidalelės, buvo išskirti į leptonų šeimą. Jų pavadinimas, kilęs nuo graikiško žodžio *leptos* – lengvas, vėliau liko tik istorinis, nes buvo aptiktas antrasis elektrono giminaitis – tauonas, sunkesnis net už protoną. Esminė leptonų savybė – jų neveikia stiprioji sąveika. Reakcijose dalyvaujančių leptonų ir jų antidalelių skaičiaus skirtumas yra pastovus dydis, tuo remiantis, buvo įvestas leptoninis krūvis, kurio vertė yra $+1$ šios šeimos dalelei ir -1 antidalelei.

Daug gausesnė ir įvairesnė yra hadronų šeima (gr. *hadros* – stiprus, stambus) – tai stipriai sąveikaujančios dalelės, dalyvaujančios stipriojoje sąveikoje. Beveik visi hadronai, išskyrus protoną ir neutroną, yra labai trumpai gyvuojančios dalelės, o kai kurių gyvavimo trukmė siekia vos 10^{-23} s. Hadronai yra gana sunkios dalelės, jų masė šimtus ar tūkstančius kartų viršija elektrono masę. Šioje šeimoje išskiriamos kelios dalelių grupės. Antai yra keistųjų dalelių grupė – jos

ELEMENTARIOSIOS DALELĖS IR FUNDAMENTINĖS SĄVEIKOS

visada gimsta tik poromis, tad joms buvo priskirta nauja kvantinė savybė – keistumas ir nustatytas keistumo tvermės dėsnis. XX a. septintajame dešimtmetyje buvo atrasta dar viena didelė hadronų grupė – žavingosios dalelės (aišku, žavesys irgi yra speciali dalelių charakteristika, neturinti nieko bendra su mums įprasta to žodžio reikšme).

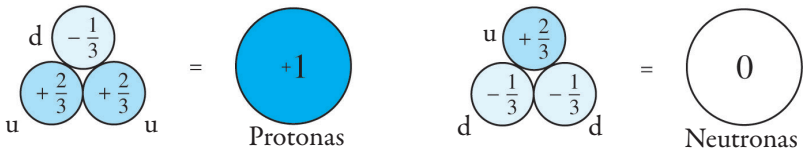
Fotonas ilgą laiką pats vienas sudarė atskirą šeimą (jis neturi net antidalelės). Kaip žinome, fotonas yra elektromagnetinių bangų kvantas. Kvantinės teorijos požiūriu, elektringosios dalelės sąveikauja keisdamosi fotonais. Kaip tokiu būdu gali atsirasti trauka ar stūma, labai apytikriai iliustruoja toks paprastas pavyzdys (5.3 pav.). Tarkime, du vaikai, stovėdami ant riedučių, svaidsi pagalvėmis. Pagavęs jam mestą pagalvę, berniukas ima riedėti atgal, tarsi jo draugas veikty jį stūmos jėga. O stengdamiesi atimti pagalvę vienas iš kito, berniukai veikia vienas kitą traukos jėga.



5.3 pav. Tarp besisvaidančių pagalvėmis vaikų atsiranda stūmos jėga (a), o traukiant vienas iš kito pagalves – traukos jėga (b). Tai padeda suprasti elementariųjų dalelių sąveikas keičiantis dalelėmis.

Pamažu paaiškėjo, kad kitas fundamentines sąveikas irgi perduoda elementariosios dalelės. Silpnąją sąveiką perduoda net trys dalelės, pavadintos vektoriniais bozonais W^+ , W^- ir Z^0 , jie buvo atrasti tik XX a. devintajame dešimtmetyje, nes yra labai masyvūs – jų masė maždaug šimtą kartų viršija protono masę. O stipriąją sąveiką perduoda net aštuonių rūšių gliuonai (jie plačiau aptariami straipsnelyje „Dalelėse įkalinti kvarkai“). Dar tebeieškoma gravitacinės sąveikos dalelė gravitonas. Visos fundamentines sąveikas perduodančios dalelės yra bozonai (turi sveikąjį sukinių) ir sudaro atskirą šeimą.

Fundamentaliosios dalelės ir jų kartos. Vis daugėjant atrastų elementariųjų dalelių, paaiškėjo, kad ne visos jos yra pirminės dalelės. Leptonai visuose eksperimentuose elgėsi kaip materialieji taškai, o hadronai pasirodė turintys vidinę struktūrą. 1964 m. teoretikai Murray'ius Gell-Mannas (Maris Gelis-Manas) ir George'as Zweigas (Džordžas Cveigas) nepriklausomai vienas nuo kito iškėlė hipotezę, kad visi hadronai yra sudaryti iš trijų dalelių, kurios buvo pavadintos kvarkais. Ši hipotezė, *kvarko* pavadinimo kilmė ir įdomi paieškos istorija nusipelno platesnio aprašymo (žr. straipsnelį „Dalelėse įkalinti kvarkai“). Čia tik vertėtų pasakyti, kad kvarkams teko priskirti trupmeninį elektros krūvį ($2/3$ ir $-1/3$ elementariojo krūvio, lygus protono krūviui). Jie buvo pavadinti kylančiuoju, krintančiuoju bei keistuoju kvarkais ir žymimi pirmosiomis atitinkamų anglišku žodžių raidėmis *u*, *d* bei *s*. Protonas ir neutronas sudaryti iš trijų kvarkų (5.4 pav.), o mezonai – iš dviejų kvarkų; taigi kvarkų modelis leido paaiškinti visų tuo metu žinomų hadronų savybes. Deja, laisvųjų kvarkų paieškos nebuvo sėkmingos. Ir vis dėlto kvarkai kartu su leptonais buvo įteisinti fizikoje kaip pirminės fundamentaliosios dalelės



5.4 pav. Protonas ir neutronas susideda iš trijų kvarkų. Skaičius dalelės viduje nurodo jos elektros krūvį (elementariojo krūvio, lygus protono krūviui, vienetais). Nukleono krūvis yra lygus jį sudarančių kvarkų krūvių sumai.

ELEMENTARIOSIOS DALELĖS IR FUNDAMENTINĖS SAŲVEIKOS

(atsisakyti kvarkų egzistavimo hipotezės jau tapo nebeįmanoma, nes išvados, išplaukiančios iš jų modelio, buvo patvirtintos eksperimentiškai).

Gamtai būdinga simetrija, tad buvo padaryta prielaida, kad leptonų ir kvarkų skaičius turi būti vienodas. Tuo metu žinoti keturi leptonai, todėl buvo numatytas ir ketvirtasis kvarkas – žavusis (c). Iš tikrųjų, netrukus buvo aptikta visa grupė žaviųjų dalelių, į kurių sudėtį įeina žavusis kvarkas. Elektronas, elektroninis neutrinas, u ir d kvarkai sudaro pirmąją fundamentaliųjų dalelių fermionų kartą, o miuonas, miuoninis neutrinas, c ir s kvarkai priklauso antrajai kartai (5.5 pav.). Viena kita nuo kitos skiriasi, aišku, ne amžiumi, bet mase – ji yra maždaug dešimt ir daugiau kartų didesnė, nors daugelis kitų savybių išlieka tokios pat.

Vėliau atradus dar du naujus leptonus – tauoną ir tau neutriną, paaiškėjo, kad gamtai neužteko dviejų fundamentaliųjų dalelių kartų – prireikė ir

masė →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
krūvis →	2/3	2/3	2/3	0	0
sukinys →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u	c	t	g	H
	kylantysis	žavusis	viršūninis	gliuonas	Higgso bozonas
KVARKAI					
	≈4.8 MeV/c ²	≈95 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d	s	b	γ	
	krintantysis	keistasis	gelminis	fotonas	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e	μ	τ	Z	
	elektronas	miuonas	tauonas	Z bozonas	
LEPTONAI					
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e	ν_μ	ν_τ	W	
	elektroninis neutrinas	miuoninis neutrinas	tau neutrinas	W bozonas	BOZONAI

5.5 pav. Fundamentalsiosios dalelės pagal Standartinį modelį. Dalelių masės nurodytos energijos vienetais, padalytais iš c^2 .

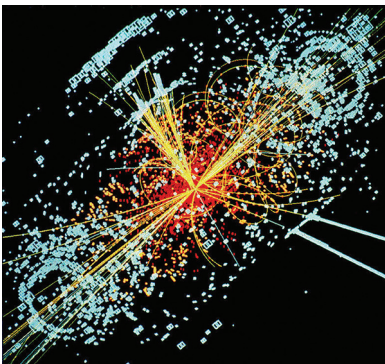
trečiosios. Tad fizikams teko postuluoti dar du kvarkus – viršūninių (t) ir gelminių (b). Po atkaklių paieškų, naudojantis galingiausiais greitintuvais, pavyko įrodyti ir jų egzistavimą, tiesa, vėl – kaip elementariųjų dalelių sudedamąją dalį.

Nejaugi galimos naujos fundamentaliųjų dalelių kartos ir jų skaičius dar augs, kaip ir elementariųjų dalelių? Vektorinio bozono Z^0 gyvavimo trukmės matavimai liudija, kad egzistuoja tik trys fundamentaliųjų dalelių kartos (esant ketvirtajai kartai, šis bozonas turėtų gyvuoti trumpiau). Kosmologiniai tyrimai irgi netiesiogiai patvirtina šią išvadą. Vis dėlto kai kurie teoretikai neatmeta ketvirtosios kartos egzistavimo, tačiau jos dalelės turėtų būti gerokai masyvesnės nei trečiosios kartos atstovės. Tokių naujų dalelių paieškos nebuvo sėkmingos.

Fundamentaliosioms dalelėms dar priklauso bozonai, kurie perduoda fundamentines sąveikas: aštuoni gliuonai – stipriąją, trys vektoriai bozonai – silpnąją, fotonas – elektromagnetinę ir dar hipotetinis gravitonas – gravitacinę.

Išskirtinę vietą lentelėje užima Higgs bozonas (Higso bozonas), labai masyvi dalelė (125 GeV), atrasta tik 2012 m. (5.6 pav.). Šis bozonas ypatingas tuo, kad sukuria kvantinį lauką, kuris, sąveikaudamas su elementariosiomis dalelėmis, suteikia joms masę.

Visi leptonai ir kvarkai turi antidaleles; be to, egzistuoja trys kvarkų atmainos, besiskiriančios kvantine savybe – spalva (apie ją rašoma straipsnyje „Dalelėse įkalinti kvarkai“). Kvarkų atmainas reikėtų laikyti atskiro-
mis dalelėmis, tad iš viso susidaro net 62 fundamentaliosios dalelės. Tiek



5.6 pav. Higgs bozono egzistavimą įrodantis dviejų protonų priešpriešinio susidūrimo vaizdas. Jis gautas naudojantis daugelio detektorių sistema. Tiesa, pats Higgs bozonas, kaip neutralioji dalelė, tiesiogiai nebuvo užregistruotas, bet jo susidarymą įrodo šiam bozonui suirus susidarę hadronai ir elektronai – stebimos jų trajektorijos magnetiniame lauke.

jų numato dabartinė elementariųjų dalelių teorija, vadinama Standartiniu modeliu. Tačiau jau dabar aišku, kad tai nėra galutinė teorija: ji neaprašo tamsiosios medžiagos dalelių (apie šią medžiagą pasakojama VIII skyriuje, straipsnelyje „Tamsioji medžiaga ir tamsioji energija“), be to, teigia, kad neutrinai neturi rimties masės, nors šiuo metu įrodyta, kad ji nelygi nuliui (žr. straipsnelį „Neutrinų mįslės“) ir pan. O teoretikų kuriama didžiojo suvienijimo teorija numato dar naujų dalelių, kurių egzistavimas nedera su Standartiniu modeliu.

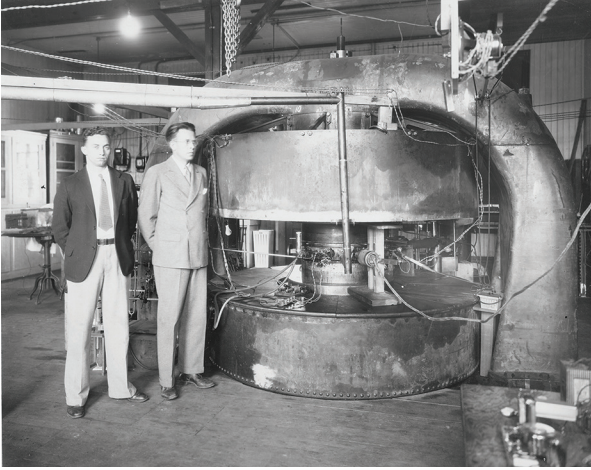
DIDŽIAUSI FIZIKOS PRIETAISAI

Vis giliau skverbtis į mikropasaulį fizikams padeda elementariųjų dalelių greitintuvai.

Elektringoji dalelė gali būti pagreitinta elektriniu lauku. Deja, stiprų lauką galima sukurti tik nedidelėje erdvėje, tad pralėkdama trumpą kelią dalelė nespėja įsibėgėti.

Išėtis buvo rasta dar 1932 m., kai elementariųjų dalelių fizika buvo įteisinga kaip atskira fizikos sritis. Buvo pasinaudota tuo, kad judančią elektrinę dalelę galima valdyti magnetiniu lauku. Jis priverčia pastoviai greičiu skriejančią dalelę sukurti apskritimą (tuo didesnio spindulio, kuo greitesnė dalelė), o greitėjančią dalelę sukurti spirale. Tuo remdamasis, Ernestas Lawrence'as (Ernestas Lorensas) sukūrė dalelių greitintuvų ciklotroną (5.7 pav.). Jį sudaro cilindrinės kameros dvi tuščiaidurės dalys, atskirtos nedideliu tarpu ir įtaisytos tarp stipraus magneto polių (5.8 pav., a). Viena kameros dalis turi teigiamąjį elektros krūvį, o kita – neigiamąjį, tad jas skiriančiame tarpe, elektriniam laukui veikiant elektrinę dalelę jos judėjimo kryptimi, ji yra pagreitinama. Kol dalelė, sukdamasi magnetiniame lauke, nuskrieja pusę apskritimo ir vėl atsideda tarp kameros dalių, elektrinis laukas turi pakeisti savo kryptį į priešingą, tuomet dalelė vėl bus pagreitinama. Taigi dalelė sukasi vis didėjančia spirale (5.8 pav., b), kol, įgijusi apie 10 MeV energiją, išlekia iš greitintuvo ir yra nukreipiama į taikinį.

Vėliau buvo sukurti įvairūs patobulinti ciklotrono variantai, kuriuose dalelės įgydavo šimtus ir tūkstančius kartų didesnes energijas; aišku, greitintuvo matmenys, taip pat jo kaina, sparčiai augo. Iš pradžių dalelės

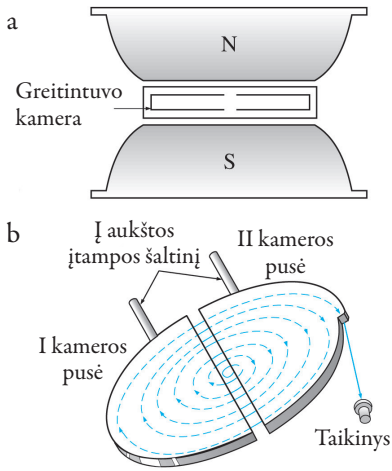


5.7 pav. Vienas iš pirmųjų ciklotronų (matomi tik magnetai, o dalelių greitintuvo kamera išimta). Kairėje – ciklotrono išradėjas E. Lawrence su bendradarbiu.

pagreitinamos pagalbiniam greitintuve ir tik po to patenka į pagrindinį greitintuvą. Jame cilindrinė kamera buvo pakeista tuščiaaviduriu žiedu – didėjant dalelių greičiui, kartu yra stiprinamas ir magnetinis laukas, tad dalelės sukasi apskritimu, o ne spirale. Tokie šiuolaikiniai greitintuvai yra vadinami sinchrotronais (juose elektrinio ir magnetinio laukų kitimas yra sinchronizuotas (suderintas) su dalelių judėjimu, atsižvelgiama ir į dalelės masės didėjimą jos greičiui artėjant prie šviesos greičio). Galingiausias šio tipo greitintuvas veikia Fermi nacionalinėje greitintuvų laboratorijoje netoli Čikagos (JAV). Jo skersmuo – didesnis nei du kilometrai; greitintuve protonai gali įgyti milžinišką 0,5 TeV ($1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$) energiją, o jų greitis – siekia net 99,999 proc. šviesos greičio. Naudojantis šiuo greitintuvu, buvo gauti įrodymai, kad egzistuoja šeštasis – masyviausias viršūninis kvarkas.

Dalelių susidūrimo energiją galima padvigubinti panaudojant du priešpriešiais judančių dalelių srautus. Ypač stipriai sąveikauja priešpriešiniai dalelių ir antidalelių, pavyzdžiui, elektronų ir pozitronų srautai. Abiejų rūšių dalelės pagreitinamos atskirai ir tada ties detektoriumi nukreipiamos taip, kad įvyktų priešpriešinių srautų susidūrimai. Europos branduolinių tyrimų centre CERN prie Ženevos, Šveicarijoje, 1989 m. pradėjo veikti elektronų ir

ELEMENTARIOSIOS DALELĖS IR FUNDAMENTINĖS SAŲVEIKOS

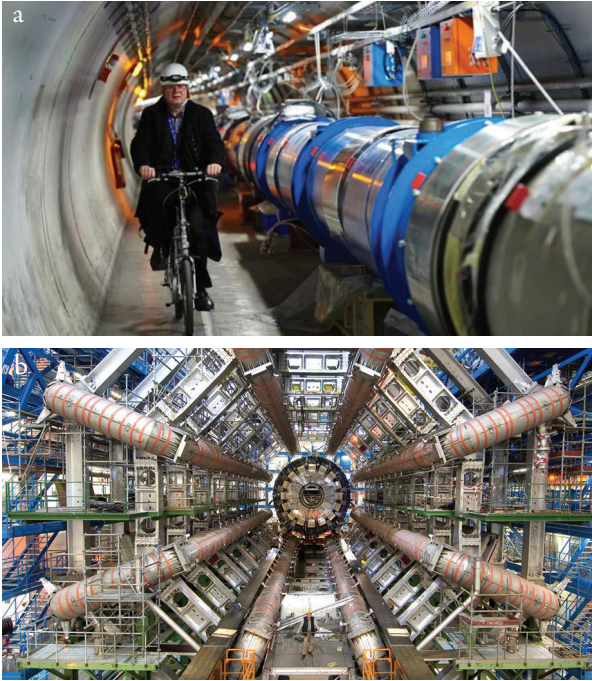


5.8 pav. Elementariųjų dalelių greitintuvo ciklotrono schema: vaizdas iš šono (a); greitintuvo kamera (punkturu pažymėta greitintamos dalelės trajektorija) (b).

pozitronų priešpriešinių srautų greitintuvas *Large Electron Positron Collider*. Jo 26,7 km ilgio žiedas buvo įrengtas 4 m pločio tunelyje maždaug šimto metrų gylyje po Ženevos slėniu ir Alpių atšakomis. Elektronai ir pozitronai jame buvo pagreitinami iki 100 GeV ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$) energijos ir susidurdavo priešpriešiais kaktomuša. Siekiant skverbtis į dar didesnių energijų sritį, šis įrenginys XXI a. pradžioje buvo rekonstruotas į protonų priešpriešinių srautų greitintuvą (kolaiderį) *Large Hadron Collider*, sutrumpintai LHC (5.9 pav., a). Jame toms gana masyvioms dalelėms dabar suteikiama net 8 TeV energija ir jos įgyja greitį, kuris tik 3 m/s mažesnis nei šviesos greitis. O susidūrus priešpriešiniams srautams, atsiradusios naujos dalelės registruojamos keturiais detektoriais (5.9 pav., b).

Naudojantis šiuo unikaliu prietaisu, jau padaryta svarbių atradimų: aptiktas Higgso bozonas bei hadronas pentakvarkas, sudarytas iš penkių kvarkų. Su LHC tikimasi sukurti netgi mažytę juodąją skylę.

Siekiant aptikti naujų elementariųjų dalelių, kurias numato plėtojama nestandartinė teorija, CERN ketinama ne tik tobulinti LHC, bet ir kurti naujus unikalius įrenginius – tiesinį elektronų ir pozitronų greitintuvą bei 100 km ilgio žiedinį elektronų ir pozitronų kolaiderį. Beje, panašų milžinišką greitintuvą užsimojo pasistatyti ir Kinija.



5.9 pav. Didžiausias fizikos prietaisas – protonų ir antiprotonų priešpriešinių srautų greitintuvas LHC branduolinių tyrimų centre CERN. Greitintuvas įrengtas 27 km ilgio tunelyje giliai po žeme. Greitintuvo atkarpa (ją prižiūrinčiam specialistui tenka važiuoti dviračiu) (a); vienas iš pagrindinių greitintuvo detektorių ATLAS (46 m ilgio ir 25 m skersmens sudėtingas įrenginys) (b).

NEUTRINŲ MİSLĖS

Wolfgangas Paulis, iškėlęs hipotezę apie neutrino egzistavimą, prisipažino savo draugui: „Aš šiandien padariau kažką baisaus. Fizikui teoretikui to niekuomet nereikėtų daryti. Aš spėjau, jog egzistuoja kažkas, ko niekada nebus galima patikrinti eksperimentais.“

Iš tikrųjų, neutriną nepaprastai sunku aptikti. Jis labai silpnai sąveikauja su medžiaga, nes jo neveikia elektrinė jėga (neturi elektros krūvio) ir stiprioji

ELEMENTARIOSIOS DALELĖS IR FUNDAMENTINĖS SĄVEIKOS

sąveika (yra leptonas). Todėl ši dalelė pralekia per Žemės rutulį lengviau, negu saulės spindulys praskrieja per lango stiklą.

Vis dėlto W. Paulis nuogaštavo be reikalo – 1950 m. grupei fizikų, vadovaujamų F. Reineso ir C. Cowano, pavyko užregistruoti paslaptinę dalelę, tiksliau – jos antidalelę (būtent antineutriną išleikia iš atomų branduolių jų beta skilimo metu).

Antineutrinai susidaro ir urano dalijimosi metu, tad labai stiprus jų srautas sklinda iš branduolinio reaktoriaus. Pirmasis neutrinų detektorius buvo cisterna storomis švininėmis sienomis (kad per jas neprasisverbtų jokia kita elementarioji dalelė), įleista giliai į žemę šalia reaktoriaus vietovėje *Savannah River Site* (JAV). Cisterna buvo užpildyta penkiomis tonomis specialaus skystčio, kurio molekulės imdavo švytėti, veikiamos didelės energijos fotonų. Įvykus labai retam įvykiui – kartą per 20 minučių protonui pagavus neutriną, susidarė neutronas ir pozitronas; pastarasis iškart anihiliuodavo su kuriuo nors gretimu elektronu, ir taip atsiradavo du fotonai. Jie sukeldavo silpnus žybsnius skystyje, kuriuos užregistruodavo labai jautrūs šviesos detektoriai. Neutroną tuoj pat pagrobus atomo branduoliui, atsiradavo didelės energijos fotonų, kurie sukeldavo kitus žybsnius. Tie vienas po kito registruojami žybsniai ir liudydavo, kad yra pagautas neutrinai.

Po šešerių metų buvo įrodyta, kad egzistuoja dar vienas neutrinai ir jo antidalelė, kurie atsiranda elementariųjų dalelių reakcijose kartu su sunkiuoju elektronu miuonu. O dar po keliolikos metų, atradus sunkiausiąjį leptonų šeimos narį – tauoną, teko numatyti ir neutrininį jo draugą – tau neutriną, (kartu ir jo antipodą – tau antineutriną). Kam reikia gamtai tiek neutrinų? Fizikas, išsprendęs šią mįslę, neabejotinai gautų Nobelio premiją, bet kol kas tokių laimingųjų neatsiranda.

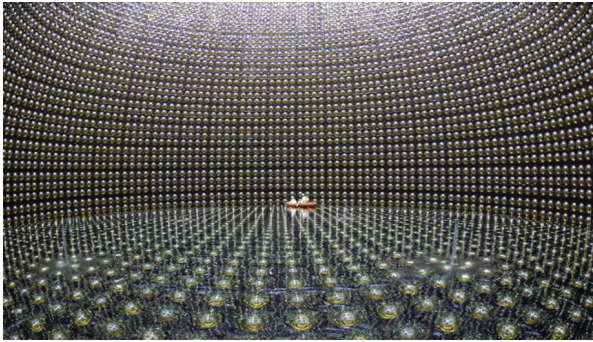
Jeigu neutrinai taip silpnai sąveikauja su kitomis elementariosiomis dalelėmis, tai Visatoje turi knibždėti knibždėti neutrinų. Juk daugelis jų, atsiradusių ankstyvojoje Visatoje, iki šiol klaidžioja po kosminę erdvę.

Neutrinai skleidžia ir žvaigždės jose vykstant branduolinėms reakcijoms. Juk žvaigždė – tai milžiniškas branduolinis reaktorius, o neutrinai gali išlėkti ne tik iš jos paviršiaus, bet ir iš gelmių. Mūsų Saulė skleidžia daugiau neutrinų negu fotonų (kol perskaitėte šį sakinį, jus turėjo perverti apie 10^{12} Saulės neutrinų). Taigi buvo nutarta registruoti Saulės neutrinus.

1970 m. amerikiečių mokslininkas Raymondas Davisas (Reimondas Devisas) su savo bendradarbiais Pietų Dakotoje (JAV), buvusioje aukso kasykloje, 1,6 km gylyje (kur negali patekti kosminiai spinduliai) įrengė pirmąją observatoriją po žeme – Saulės elektroninių neutrinių gaudyklę. Ją sudarė didžiulė cisterna, užpildyta 400 000 litrų specialaus skysčio, turinčio daug chloro atomų. Neutriniui susidūrus su chloro atomu, šis retkarčiais virsdavo radioaktyviuoju argono atomu, kurį užregistruodavo jautrūs jonizuojančiosios spinduliuotės detektoriai. Pagal mokslininkų skaičiavimus, toks įvykis turėjo nutikti penkis kartus per savaitę, deja, pasitaikydavo tik du kartus per savaitę. Tyrinėtojai kruopščiai tikrino matavimų patikimumą, tačiau savo klaidų neap-
tiko. Tuos rezultatus patvirtino ir kita įrengta Saulės neutrinių gaudyklė.

Saulė geriausiai ištirta žvaigždė, tiesa, visa informacija apie ją gaunama tiriant spinduliuojančią Saulės paviršių, o vidinė jos sandara aprašoma teoriniu modeliu. Galbūt jis netikslus, gal Saulės gelmių temperatūra žemesnė? Tačiau tai nesiderino su kitais duomenimis.

Saulė skleidžia elektroninius neutrinus, jie ir buvo registruojami. Gal dalis jų pakeliui iš Saulės į Žemę virsta kitos rūšies neutrinais? Siekiant



5.10 pav. Neutrinių observatorija *Super-Kamiokande* Japonijoje. Ją sudaro didžiulė cisterna, įrengta kasykloje, 1 km gylyje, Kamioka vietovėje. Cisterna užpildyta grynu vandeniu. Susidurdami su jo atomų branduoliais, neutrinai sukelia žybsnius, kuriuos registruoja sienelėse įtaisyti fotodetektoriai. Matyti cisterną tikrinantys specialistai, plaukiantys pripučiamo valtele.

tai patikrinti, buvo sukurti du naujos kartos neutrinių detektoriai *Super-Kamiokande* Japonijoje (5.10 pav.) ir *Sudbury* Kanadoje. Būtent japonų mokslininkų grupei 1998 m. pavyko įrodyti, kad neutrinai gali keisti savo rūšį. Tačiau tai įmanoma, tik jeigu šių dalelių rimties masė nelygi nuliui.

Tiesa, tie stebėjimai leido nustatyti ne neutrino masę, o tik dviejų rūšių neutrinių masių skirtumą. Jis pasirodė esąs nepaprastai mažas – tik kelios tūkstantosios elektronvolto. Antra vertus, iš įvairių kosmologinių duomenų galima įvertinti, kad visų trijų rūšių neutrinių masių suma negali būti didesnė negu 0,3 eV. Mokslininkai neabejoja, kad anksčiau ar vėliau bus išspręsta ir dar sudėtingesnė problema – pavyks nustatyti atskirų neutrinių mases.

DALELĖSE ĮKALINTI KVARKAI

M. Gell-Mannas pasiskolino *kvarko* pavadinimą iš airių rašytojo Jameso Joyce'o (Džeimsas Džoisas) modernistinio kūrinio *Finnegans Wake* („Fingano budynė“). Viena jo epizode vaizduojama, kaip žuvėdros sukasi virš laivo ir klykauja miglotą frazę: „Trys kvarkai misteriui Markui!“ (M. Gell-Mannui atrodė, kad ir fizikinių kvarkų bus tik trys.) Fundamentaliosios dalelės kvarkai iš tikrųjų pateisino savo pavadinimą ir pasirodė esą gana modernistinės ir keistos dalelės.

Kvarkų hipotezė padėjo susisteminti visus žinomus hadronus ir netrukus atrasti vieną naują dalelę. Beliko atrasti pačius kvarkus. Fizikai ieškojo jų atkakliai ir išradingai įvairiais būdais. Buvo mėginama sukurti juos dalelių greitintuvuose arba aptikti kosminiuose spinduliuose. Kvarkas, turintis trupmeninį elektros krūvį, negali išnykti sąveikaudamas su įprastine medžiaga, tad jų, užsilikusių nuo ankstyvosios Visatos, buvo ieškota Mėnulio uolienose ir jūros vandenyje. Netgi keletą kartų skelbta apie kvarko atradimą, bet, kruopščiau patikrinus, sensaciją tekdavo atšaukti. Atsisakyti tokios naudingos ir jau įteisintos hipotezės nebebuvo įmanoma, tad teoretikai padarė išvadą, kad kvarkai ir negali egzistuoti laisvi – tiktai kaip kitų dalelių sudedamoji dalis.

Kvarkų elgsenos mįslę paaiškino sukurta stipriosios sąveikos tarp kvarkų ir gliuonų teorija, kuri yra vadinama kvantine chromodinamika. Joje įvesta dar viena kvantinė kvarko savybė, kuri pavadinta spalva (specialūs krūvis,

primenantis elektros krūvį); taip buvo pratęsta tradicija keistas kvarkų savybes įvardyti kasdieniais žodžiais. Kvantinė spalva gali įgyti tris vertes, kurias atitinka trys pagrindinės spalvos – raudona, žalia ir mėlyna. Tą savybę turi kiekvienas kvarkas, tad yra trys kvarkų atmainos: raudoni, žali ir mėlyni. O stipriąją sąveiką tarp kvarkų perduoda net aštuonios skirtingos dalelės – gliuonai. Jų pavadinimas kilęs iš angliško žodžio *glue* – klijai, nes gliuonai tarsi suklijuoja kvarkus, neleidžia jiems egzistuoti laisviems. Gliuonai irgi yra spalvoti, tad, sąveikaudami su kvarkais, keičia jų spalvą. Gliuonai neturi elektros krūvio, rimties masės, o jų sukinyš yra lygus vienetui.

Kvantinėje chromodinamikoje teigiama, kad laisvos gali būti tik bespalvės dalelės, o spalvotosios pasmerktos būti vien bespalvių sudedamosiomis dalimis; ta savybė vadinama įkalinimu (angl. *confinement*). Protonas ar neutronas sudaryti iš trijų kvarkų, tad šie yra skirtingų spalvų (raudonas + žalias + mėlynas = baltas). Tiesa, yra galimos ir iš dviejų kvarkų sudarytos dalelės, bet tai turi būti kvarkas ir jo antikvarkas (pavyzdžiui, raudonas + antiraudonas = baltas). Tokios dalelės, vadinamos mezonais, yra nestabilios, nes kvarkas ir antikvarkas gali anihiliuoti. O spalvą turintis gliuonas irgi, kaip ir kvarkas, negali būti laisvas; keli gliuonai sukimba į bespalvę dalelę, vadinamą glubolu.

Visos kitos sąveikos tarp elementariųjų dalelių sparčiai silpnėja didėjant atstumui tarp jų. Antra vertus, stiprioji sąveika tarp dviejų kvarkų išlieka pastovi jiems tolstant maždaug iki hadrono matmenų. Mėginant toliau didinti atstumą tarp kvarkų, tam reikia vis didesnės energijos, bet vieno kvarko atskirti nepavyksta, o sukuriama nauja kvarkų pora.

Gali kilti įtarimas, kad nestebimi laisvieji kvarkai bei gliuonai turėtų būti laikomi ne dalelėmis, o tik kvazidalelėmis (panašiomis į tas, kurios egzistuoja tik kietojo kūno viduje). Vis dėlto, esant didelėms energijoms, kvarkai ir gliuonai įgyja daugiau laisvės ir gali būti stebimi beveik kaip laisvosios dalelės.

KETURIOS FUNDAMENTINĖS SĄVEIKOS IR JŲ SUVIENIJIMAS

Anot šiuolaikinės fizikos, gamtą valdo keturios fundamentinės jėgos, kurios, ypač kalbant apie stipriąją ir silpnąją jėgas, veikiančias mikropasaulyje,

ELEMENTARIOSIOS DALELĖS IR FUNDAMENTINĖS SĄVEIKOS

dažniausiai vadinamos sąveikomis. Visos gamtoje veikiančios jėgos yra tų fundamentinių sąveikų apraiškos. Trumpai apžvelkime tas pagrindines sąveikas.

Gravitacijos, arba visuotinės traukos, jėga veikia tarp bet kokių kūnų, turinčių masę. Ji yra labai silpna, palyginti su kitomis fundamentinėmis sąveikomis, tačiau tampa labai stipria, pagrindine jėga, veikiančia tarp kosminių kūnų, turinčių milžiniškas mases. Ji lemia planetų, žvaigždžių, galaktikų ir pačios Visatos raidą.

Elektromagnetinė jėga veikia tarp bet kokių kūnų, turinčių elektros krūvį, taip pat tarp elektros srovių ir magnetų. Ši jėga vyrauja mūsų įprastiniame pasaulyje, ji nulemia visus žmogaus pojūčius – regą, klausą, uoslę, skonį, lytėjimą. Apskritai pati gyvybė yra elektromagnetinės jėgos veikimo rezultatas.

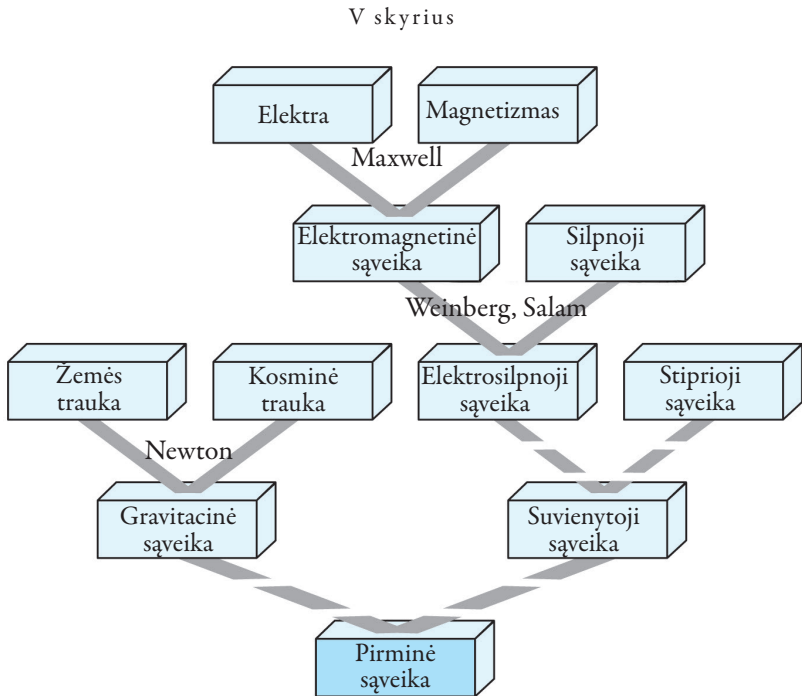
Stiprioji sąveika veikia labai mažais atstumais (apie 10^{-15} m) tarp kvarkų bei iš jų sudarytų protonų, neutronų ir kitų hadronų. Ji susieja nukleonus į atomo branduolį ir užtikrina jo stabilumą, kol, augant branduolio protonų skaičiui, šią sąveiką nugalai silpnesnė, bet toliasiėkė elektromagnetinė jėga. Būtent stiprioji sąveika lemia didelės galios branduolines reakcijas.

Silpnoji sąveika veikia daugelį elementariųjų dalelių – hadronus ir leptonus. Ji pasireiškia dar mažesniais atstumais negu stiprioji sąveika, sukelia kai kuriuos atomų branduolių ir elementariųjų dalelių virsmus; jie gali vykti ir pažeidžiant kai kuriuos kitoms sąveikoms galiojančius tvermės dėsnius.

Kiekviena iš šių keturių fundamentinių sąveikų turi savo pagrindinę veikimo sritį, jos papildo viena kitą ir visos kartu nulemia pasaulio sandarą ir reiškinių įvairovę.

Ar gali būti dar nežinomų fundamentinių sąveikų? Jų egzistavimas mokslo ištirtoje reiškinių srityje yra sunkiai įtikimas, nes fizikai, atliekantys matavimus ir skaičiavimus dideliu tikslumu, būtų pastebėję nežinomos prigimties poveikį ar jos sukeltus reiškinius.

Plėtojant fiziką, buvo ne tik atrandamos naujos jėgos, bet ir tarpusavyje susiejamos žinomos jėgos, paaiškėdavo ryšiai tarp jų (5.11 pav.). I. Newtonas susiejo Žemės trauką ir dangaus kūnų judėjimą valdančią jėgą į visuotinės traukos jėgą. J. C. Maxwellas įrodė, kad elektriniai, magnetiniai ir optiniai reiškiniai yra glaudžiai susiję tarpusavyje ir nulemti vienos elektromagnetinės



5.11 pav. Fundamentinių sąveikų suvienijimas (punkturu pažymėtas dar tik teoriškai numatytas suvienijimas).

jėgos. A. Einšteinas ilgai ir atkakliai mėgino įgyvendinti savo idėją – įrodyti, kad dvi tuo metu žinomos fundamentinės jėgos (elektromagnetinė ir gravitacijos) turi bendrą prigimtį, tačiau netrukus buvo atrastos naujos jėgos, veikiančios tarp elementariųjų dalelių, ir šios itin sudėtingos problemos sprendimą teko atidėti.

Tik XX a. septintajame dešimtmetyje Stevenui Weinbergui (Stivenas Vainbergas) ir Abdusui Salamui (Abdusas Salamas) pavyko įrodyti, kad elektromagnetinė ir silpnoji sąveikos yra bendros elektrosilpnosios sąveikos, skirtingos apraiškos. Tokia bendra sąveika būtų stebima esant nepaprastai didelėms sąveikaujančių dalelių energijoms, o mūsų įprastiniame pasaulyje elektrosilpnoji sąveika yra išsiskyrusi į dvi skirtingas fundamentines sąveikas. Ši gana sudėtinga teorija susilaukė pripažinimo (jos kūrėjams suteikta Nobelio premija), kai teorijos išvados buvo sėkmingai patvirtintos eksperimentais.

Dabar teoretikai siekia atlikti didįjį suvienijimą – įrodyti elektrosilpnosios ir stipriosios sąveikų bendrą prigimtį. Jos turėtų virsti viena sąveika esant dar didesnėms dalelių energijoms (10^{14} GeV). Tačiau bendra jų teorija reikalauja naujų neįprastų idėjų. Visų pirma, tenka įvesti net dešimties matmenų erdvę (o laikas lieka vienmatis). Mes matome trimatį pasaulį todėl, kad septyni papildomi matmenys yra susukti (kompaktifikuoti) iki labai mažų dydžių, t. y. į nepaprastai plonus „vamzdelius“. Tai įsivaizduoti gali padėti toks pavyzdys: iš tolo lazda mums atrodo kaip vienmatis objektas – tiesė, tik iš arčiau įžvelgiame, kad ji turi ir storį.

Kita nauja idėja – supersimetrija, reikalaujanti, kad fermionų būtų toks pat skaičius kaip bozonų ir jie sudarytų simetriškas poras. Ši teorija, vadinama M teorija, numato daug naujų elementariųjų dalelių, deja, turinčių didelę masę, tad jų sukurti greitintuvais kol kas nėra įmanoma. Taigi M teoriją (yra pasiūlyta keletas jos variantų) patikrinti galima tik netiesiogiai. Anot vienos išvados, protonas nėra stabilus, nors ir labai ilgai gyvuojanti dalelė. Taigi protono skilimą įmanoma aptikti tik stebint labai didelį skaičių protonų. Tačiau keli tokie vykdyti eksperimentai kol kas nebuvo sėkmingi.

Dar sudėtingesnė problema – bendrai aprašyti visas keturias fundamentines sąveikas, nes gravitacija yra daug kartų silpnesnė už kitas tris. Nors ta teorija dar nesukurta, ji jau turi pavadinimą – Visko teorija. Juk tikimasi, kad ji atsakys į pačius fundamentaliausius klausimus: Kodėl įvyko Didysis sproginimas? Kodėl Visata yra tokia, kokia ji yra?

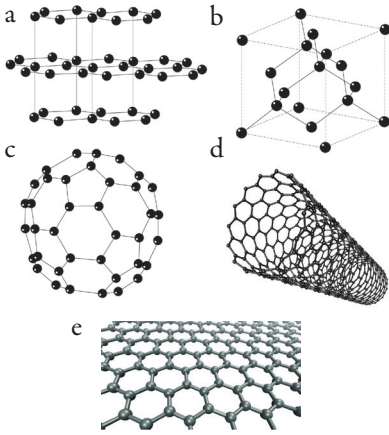
VI

VAISINGIAUSIA FIZIKOS SRITIS

Kietasis kūnas – daugelio sąveikaujančių atomų sistema. Kietojo kūno viename kubiniame centimetre yra apie 10^{23} atomų, išsidėsčiusių vienas šalia kito. Aišku, kad didžiulė stipriai sąveikaujančių atomų sistema elgiasi visiškai kitaip negu visuma laisvųjų atomų. Nors kiekvienam atomui galioja kvantinės mechanikos dėsniai, bet jų tiesiogiai taikyti neįmanoma, nes sistema labai sudėtinga. Tad, sukūrus kvantinę mechaniką, daugelį metų buvo plėtojama kvantinė kietojo kūno teorija, kuri ir dabar toli gražu nėra baigta. Tuo pat metu kietieji kūnai buvo tiriami įvairiais eksperimentiniais metodais. Be abejo, eksperimentatoriai tikrino kiekvieną teoretikų išvadą, o teoretikai neretai naudojosi eksperimentatorių nuorodomis, kokių sprendinių reikia ieškoti ir kokie modeliai atitinka realybę. Taip žingsnis po žingsnio buvo skverbiamasi į kietojo kūno paslaptis.

Stebinanti anglies įvairovė. Medžiagos, sudarytos iš tokių pat, tik kitokia tvarka išsidėsčiusių atomų, turi visiškai skirtingas savybes. Tai vaizdžiai iliustruoja įvairios anglies struktūrinės atmainos. Jų nuo seno buvo žinomos trys: suodžiai, grafitas, ir deimantas. Suodžiuose dauguma anglies atomų išsidėstę netvarkingai. Grafitas lengvai palieka pėdsaką popieriuje, nes grafito anglies atomai sudaro silpnai tarpusavyje susietus sluoksnius. O ypatingą deimanto kietumą lemia glaudus atomų išsidėstymas – jo struktūroje galima įžiūrėti dvi viena į kitą įsiterpusias kristalines gardeles (6.1 pav.). Abejojantys minkščiausios ir kietiausios medžiagų – suodžių ir deimanto – giminystę gali stipriai pakaitinti turimą deimantą ir gauti pelenų krūvelę (deja, iš suodžių pasigaminti deimanto nepavyks – tvarka iš netvarkos lengvai neatsiranda, deimantus gamta brandino žemės gelmėse tūkstančius metų).

Nors anglis viena iš geriausiai ištirtų medžiagų, XX a. pabaigoje atrastos dvi naujos jos struktūrinės atmainos: fullerėnai ir nanovamzdeliai. Fullerėnai anglies



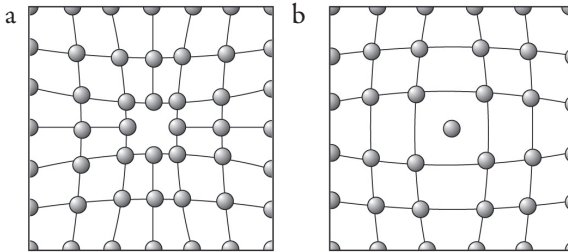
6.1 pav. Tie patys anglies atomai gali sudaryti įvairias, skirtingų savybių medžiagas. Tai lemia atomų išsidėstymo tvarka: grafitas (a), deimantas (b), fulerenas (c), nanovamzdelis (d), grafenas (e).

atomai yra susijungę į taisyklingus, tuščiavidurius kamuolius, sudarytus iš 60, 70 ir daugiau atomų, tai tarsi mažyčiai futbolo ar regbio kamuoliai. Įdomu, kad fulerenų egzistavimas iš pradžių buvo numatytas teoriškai, tik vėliau paaiškėjo, jog juos jau seniai buvo galima aptikti žvakės liepsnoje. Dar keistesni objektai – anglies nanovamzdeliai, susidarantys elektros lanke ar slėgiant anglį. Tai kartu ir mikroobjektas, ir makroobjektas: tuščiavidurio vamzdelio skersmuo vos keli nanometrai (maždaug 50 000 kartų plonesnis už žmogaus plauką), o ilgis gali siekti porą centimetrų. Nanovamzdeliai labai tvirti, gerai praleidžia šilumą, laidūs elektrai ir pasižymi kitomis elektronikai bei technologijoms vertingomis savybėmis.

Tie atradimai šio amžiaus pradžioje paskatino naujų anglies atmainų paieškas. Buvo atrastas grafenas – dvimatė, bičių korį primenanti, vieno atomo storio anglies plėvelė, kuri irgi turi unikalių savybių. O pastaruoju metu teoriškai ir eksperimentiškai mėginama konstruoti dar kitokias anglies atmainas.

Defektai kristaluose. Idealusis, iš taisyklingų kristalinių gardelių sudarytas kristalas yra gana tolimas realybei modelis. Net specialiai išaugintame kristale visada esti įvairių defektų, nuo kurių labai priklauso kristalo kietumas, elektrinis laidumas ir kitos savybės.

VI skyrius



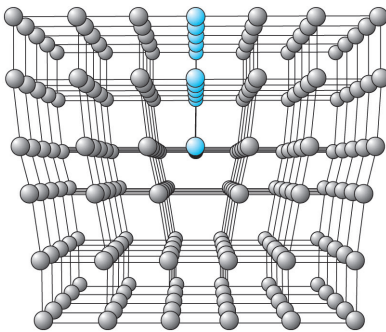
6.2 pav. Kristalinės gardelės taškiniai defektai: vakansija (a); papildomas atomas (b).

Paprasciausi vadinamieji taškiniai defektai yra atomo trūkumas arba papildomas atomas tarp gardelės eilių (6.2 pav.). Į laisvą vietą – vakansiją – pasislenka gretimi atomai, antra vertus, papildomas atomas išstumdo kaimynus, todėl atomų eilės išsikraipo. Tvarką neretai suardo kitų medžiagų – priemaišų – atomai, kurie būna kitokio dydžio ir nelinkę paklusti svetimai tvarkai.

Dar labiau kristalo struktūrą iškreipia nutrūkusi jo atomų plokštuma, kuri vadinama dislokacija (6.3 pav.). Dislokacijos atsiranda spaudžiant ar kitaip deformuojant kristalą, taip pat netolygiai kristalizuojantis medžiagai.

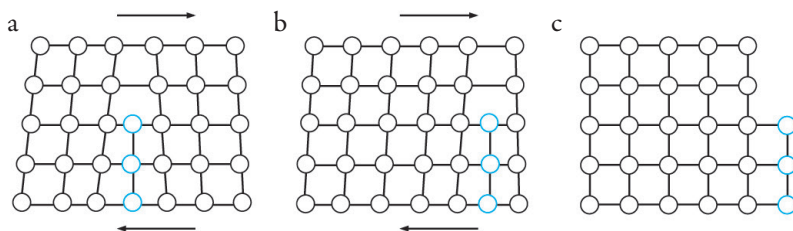
Dislokacijos, kaip ir taškiniai defektai, gali judėti kristale. Aišku, į laisvas gretimas vietas peršoka atomai arba jų eilės (6.4 pav.), o atrodo tarytum kristalu keliautų pats defektas. Tą jo klajojimą sukelia išorinis poveikis bei gardelės įtempimai defekto vietoje. Dislokacija gali išeiti į kristalo paviršių, tuomet čia atsiranda vieno atomo dydžio pakopa (6.4 pav., c).

Žinant, kaip defektas susidaro ir sklinda medžiagoje, buvo surasti efektyvūs būdai medžiagų atsparumui padidinti. Antai dislokacijų judėjimą galima



6.3 pav. Dislokacija – nutrūkusi atomų plokštuma kristalinėje gardelėje.

VAISINGIAUSIA FIZIKOS SRITIS



6.4 pav. Dislokacijos judėjimas (vaizdas plokštumoje, statmenoje nutrūkusiai atomų plokštumai).

suvaržyti pašalinių medžiagų priemaisomis bei... kitais defektais – kliūtimis dislokacijų kelyje. Kai kurie iš tų būdų anksčiau buvo nustatyti klaidų ir bandymų metodu; pavyzdžiui, metalą kaitinant ir po to staigiai atšaldant. Dabar medžiagų su reikiamomis savybėmis gavimą nagrinėja sparčiai plėtojamas mokslas – medžiagotyra.

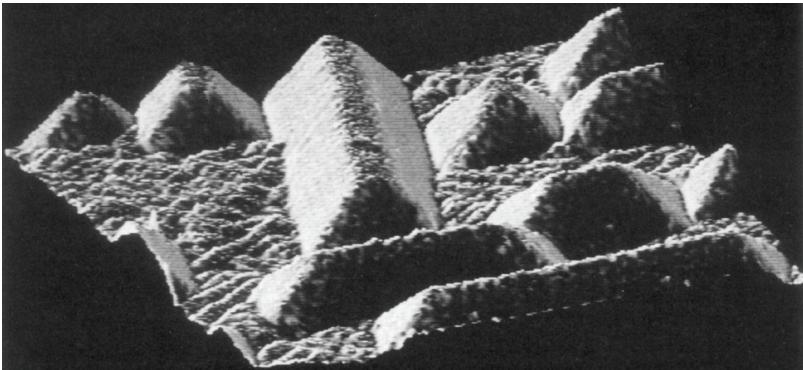
Laidumas ir superlaidumas. Svarbiausias veikėjas kietojo kūno fizikoje – elektronas. Daugelyje kietųjų kūnų išoriniai elektronai jau nebeprisilaiko vienam atomui, o tampa bendrais gretimų atomų elektronais. O metaluose jie laisvai sklaidosi tarp atomų eilių ir yra krūvininkai – elektros krūvio nešikliai.

Judėdami tankioje terpėje, elektronai susiduria su atomais ir netenka dalies energijos. Tuos elektros srovės nuostolius apibūdina medžiagos elektrinė varža – kuo sunkiau elektronai braunasi tarp atomų eilių, tuo varža didesnė. Regis, negali būti medžiagų, kurių varža būtų lygi nuliui ir elektronai judėtų neprarasdami energijos. Tačiau kvantinė mechanika leidžia daug neįmanomų dalykų. Aišku, kvantiniai dėsniai negali uždrausti elektronams susidurti su atomais, bet gali uždrausti tų susidūrimų metu elektronams netekti energijos. Šis įstabus reiškinys, vadinamas superlaidumu, nusipelno platesnio aprašymo (žr. straipsnelį „Superlaidumas“). Esant labai žemai temperatūrai, jis buvo eksperimentiškai aptiktas XX a. pradžioje, tik po penkių dešimtmečių paaiškintas teoriškai, o dar po trejeto dešimtmečių surastos medžiagos, kurios išlieka superlaidžios ir ne tokia ypatingame šaltyje; tikimasi, kad superlaidumas gali egzistuoti net kambario temperatūroje (žr. straipsnelį „Aukštatemperatūrinio superlaidumo atradimas“).

Puslaidininkių ypatumai. Vis dėlto XX a. daugiausia dėmesio ir įvairiausių taikymų susilaukė ne laidininkai ar superlaidininkai, o puslaidininkiai – medžiagos, kurios pagal savo elektrinį laidumą užima tarpinę padėtį tarp laidininkų ir visiškai nelaidžių dielektrikų. Plačiausiai žinomi puslaidininkiai – tai germanis ir silicis, priskiriami tai pačiai periodinės cheminių elementų lentelės grupei kaip ir anglis, taip pat kai kurie junginiai – galio arsenidas (GaAs), indžio stibidas (InSb) ir kt.

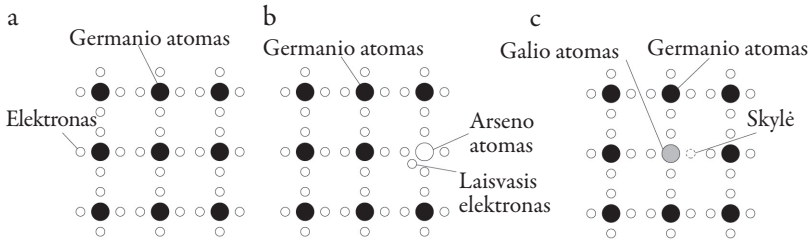
Nors puslaidininkyje laisvųjų elektronų nėra daug – maždaug vienas elektronas tenka 10^3 – 10^{10} atomų, tačiau jų kiekį galima lengvai keisti įterpus į puslaidininkį truputį priemaišų, pašildžius ar apšvietus. Dėl tos unikalios savybės puslaidininkį lengva valdyti ir keisti juo tekančią elektros srovę, o tai labai svarbu konstruojant įvairius elektroninius prietaisus.

Į puslaidininkį įmaišius medžiagų (pavyzdžiui, arseno), kurių atomai kristale paleidžia laisvėn bent po vieną savo elektroną (6.6 pav., b), judriųjų krūvininkų puslaidininkyje gerokai padaugėja. Tokios priemaišos, dovanojančios puslaidininkiu savo elektronus, vadinamos donorais, o puslaidininkis su papildomais elektronais – elektroniniu puslaidininkiu arba, trumpiau – *n* puslaidininkiu (*n* yra pirmoji raidė angliško žodžio *negative* – neigiamas), nes jame elektros srovės nešikliai yra elektronai, turintys neigiamąjį elektros krūvį. Tačiau galima į puslaidininkį įterpti ir medžiagų, kurių atomai



6.5 pav. Auginami puslaidininkio germanio kristalai (vaizdas pro mikroskopą). Kristalai yra apie 3 nm aukščio ir 20–40 nm ilgio. Taškeliai atitinka atskirus atomus.

VAISINGIAUSIA FIZIKOS SRITIS



6.6 pav. Gryno germanio (a), elektroninis (b) ir skylinis (c) puslaidininkiniai kristalai. Germanio atomas turi keturis išorinius elektronus, kurie kristale sudaro poras su keturių gretimų germanio atomų elektronais. Vieną germanio atomą pakeitus arseno atomu su penkiais išoriniais elektronais, vienas jo elektronas lieka laisvas ir tampa srovės nešikliu. O pakeitus germanio atomą galio atomu su trimis išoriniais elektronais, puslaidininkyje atsiranda laisva elektrono vieta – skylė.

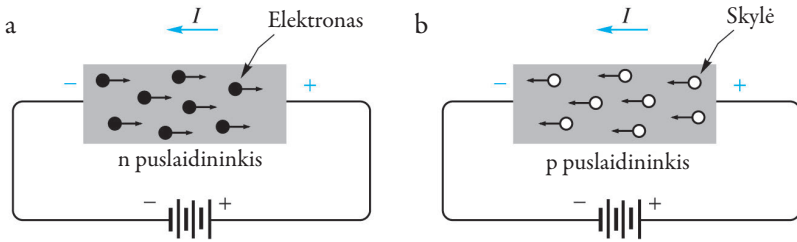
pasisavina elektronus, tuomet puslaidininkio atomuose atsiranda laisva elektrono vieta (6.6 pav., c). Į ją gali peršokti elektronas iš kito atomo, taigi ta laisva vieta, arba skylė, keliauja puslaidininkiu. Ji elgiasi tarsi dalelė, turinti elektrono masę, bet priešingą – teigiamąjį – elektros krūvį.

Įsivaizduokime, kad savaitgalį plentų juda ištisinė automobilių virtinė. Staiga vienas iš jų išsuka į šoninį keliuką arba į griovį, ir atsiranda tuščia vieta. Ją užima kitas automobilis, o tuščia vieta pasislenka atgal. Žiūrint į automobilių virtinę iš viršaus, iš sraigtasparnio, atrodo, kad joje priešinga automobilių srautui kryptimi juda tuščia vieta, arba skylė.

Puslaidininkis su skylėmis vadinamas skyliniu puslaidininkiu arba, trumpiau – p puslaidininkiu (angl. *positive* – teigiamas), nes jame elektros srovės nešikliai yra skylės, tarsi turinčios teigiamąjį krūvį (6.7 pav., b).

pn (skylinė elektroninė) sandūra. Tarkime, kad p puslaidininkis yra sujungtas su n puslaidininkiu ir sudaro pn sandūrą (6.8 pav.). Tuomet kai kurie elektronai iš n (elektroninio laidumo) srities, kur jų daugiau, pereina į p (skylinio laidumo) sritį, tad ši įgyja neigiamąjį elektros krūvį. Efektą dar sustiprina skylių judėjimas priešinga kryptimi. Aišku, atsiradęs elektrinis

VI skyrius



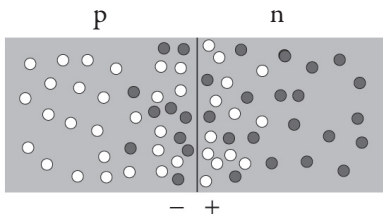
6.7 pav. n puslaidininkyje srovę perneša elektronai (a), o p puslaidininkyje – skylės (b).

laukas stabdo tolesnę elektronų ir skylių migraciją. Reikia dar paminėti, kad elektronas, sutikęs skylę, ją užpildo ir nebelieka nei judraus elektrono, nei skylės. Tiesa, tuo pat metu dėl puslaidininkio atomų šiluminio judėjimo nuo jų gali atsirūkti elektronai ir susikurti naujos elektronų bei skylių poros.

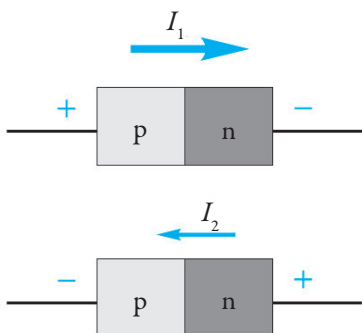
Kaip elgiasi tokia pn sandūra, prijungus prie jos nedidelę elektros įtampą?

Jeigu p sritį prijungsime prie elektros šaltinio neigiamojo poliaus, o n sritį – prie teigiamojo poliaus, tai laukas, užtveriantis kelią elektronams iš n srities ir skylėms iš p srities judėti per sandūrą, dar sustiprės, tad elektros srovė beveik netekės (galima tik silpna priešingos krypties srovė – elektronų iš p ir skylių iš n srities). Tačiau, prijungus pn sandūrą prie elektros šaltinio priešingu būdu, elektronams ir skylėms susidaro idealios sąlygos judėti per sandūrą, tad jie sukuria gana stiprią elektros srovę (6.9 pav.).

Taigi pn sandūra gerai praleidžia srovę viena kryptimi ir beveik nepraleidžia jos kita kryptimi. Toks labai svarbus elektros srovės valdymo elementas vadinamas diodu.



6.8 pav. pn sandūra. Sujungus p ir n puslaidininkius, elektronai ir skylės sklinda į tą sritį, kur jų mažiau, tad sandūroje susidaro potencialų skirtumas.



6.9 pav. pn sandūra gerai praleidžia elektros srovę viena kryptimi ir beveik nepraleidžia jos kita kryptimi; toks elementas vadinamas diodu.

Įterpus tarp dviejų n puslaidininkių p puslaidininkio sluoksnelį (arba tarp dviejų p puslaidininkių n sluoksnelį), galima gauti patį svarbiausią šių dienų elektroninį įtaisą – tranzistorių. (Apie jo išradimo aplinkybes ir veikimo principą rašoma straipsnelyje „Tranzistorius – svarbiausias mikroelektronikos prietaisų elementas“.) Tranzistorius leidžia silpną elektros srovės signalą paversti tokiu pat, bet daug stipresniu signalu. Taigi tranzistorius veikia panašiai kaip seniau naudota elektroninė lempa – triodas, bet yra kur kas už ją mažesnis ir patogesnis.

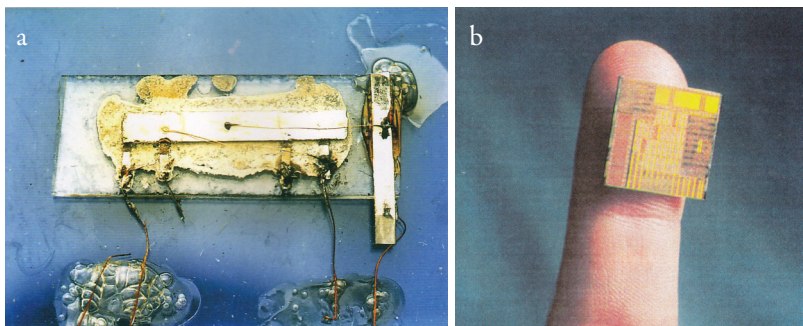
Integrinis grandynas ir mikroelektronika. Mokslo ir technologijos šaka, nagrinėjanti elektringųjų dalelių judėjimą įvairiose medžiagose, sukuriamas sroves bei laukus ir naudojanti tai ryšių, valdymo, informacijos užrašymo bei apdorojimo priemonėms konstruoti, vadinama elektronika. Ji atsirado XX a. ir ypač sparčiai buvo plėtojama maždaug nuo amžiaus vidurio, pradėjus naudoti puslaidininkius, kurie atvėrė naujas galimybes keisti ir stiprinti elektros srovę.

Kaip minėta, iš puslaidininkių lengva pagaminti diodus ir tranzistorius. Svarbiausia, kad juos galima sukurti tame pačiame puslaidininkio kristalėlyje, į jį įterpus skirtingų priemaišų. O užgarinus ant puslaidininkio plonus laidininko ir dielektriko sluoksnelius, galima suformuoti kondensatorius bei varžus (varžu vadinamas elektrinės grandinės elementas, o varža – medžiagos savybė). Dar daugiau, visus tuos elementus galima sujungti be jokių laidų – vien užgarinto metalo juostelėmis. Taigi ant puslaidininkio kristalo

įmanoma palaiapsniui sukurti vientisą sudėtingą elektroninį įtaisą, vadinamą integriniu grandynu. Jis buvo išrastas 1958 m. ir netrukus turėjo apie dešimt tranzistorių bei kitų elementų. Dabar integriniame grandyne, kuris yra realizuotas žmogaus nago dydžio luste, gali būti keli milijonai elementų (6.10 pav., b). Apie tai, kaip pagaminamas toks technologijos šedevras, pasakojama straipsnyje „Integrinis grandynas – XX a. stebuklas“. Miniatiūrinius elektroninius (dažniausiai puslaidininkinius) įtaisyms kurianti ir naudojanti elektronika buvo pavadinta mikroelektronika. Nuostabūs jos pasiekimai leido sukonstruoti superkompiuterius bei robotus, automatizuoti daugelį žmogaus veiklos sričių, išrasti naujas ryšių priemones. Mikroelektronikos era dar tik prasideda, ji atveria naujas fantastiškas taikymo galimybes, kurios jau pakeitė ir toliau iš pagrindų keis mūsų gyvenimą.

Puslaidininkiniai detektoriai. Apšvietus įvairiais spinduliais, pašildžius ar netgi suspaudus puslaidininkį, paveikus jį cheminėmis medžiagomis, keičiasi elektronų ir skylių skaičius jame, taigi ir srovės stipris. Šitai galima sukurti paprastus ir jautrius detektorius, pranešančius apie šviesos, slėgio, temperatūros pokyčius, skvarbiosios spinduliuotės ar kenksmingų medžiagų pavojus.

Termistorius (gr. *thermē* – karštis, šiluma + angl. *resistor* – varžas), puslaidininkinė plokštelė, kurios varža stipriai priklauso nuo temperatūros. Tad



6.10 pav. Jacko Kilby sukurtas vienas iš pirmųjų integrinių grandynų, turintis tik kelias dešimtis tranzistorių (a), ir šiuolaikinis grandynas su septyniais milijonais tranzistorių (b).

VAISINGIAUSIA FIZIKOS SRITIS

toks detektorius signalizuoja apie gaisrą ar kaistantį įrenginį, kontroliuoja patalpų bei ligoonio temperatūrą. Laukiniam žvėriui uždėtas antkaklis su termistoriumi ir miniatiūriniu siųstuvu praneša ne tik apie gyvūno buvimo vietą, bet ir apie jo savijautą.

Fotorezistorius jautriai reaguoja į apšvietimo kitimą, įjungia ar išjungia lempas. Jis naudojamas įvairiose apsaugos sistemose: žmogui ar kitam objektui užstojus spindulių pluoštelį (tai dažniausiai būna nematomi infraraudonieji spinduliai), nukreiptą į fotorezistorių, jis praneša apie įsibrovėlius į teritoriją ar patalpas. O parduotuvėse, stotyse ar kitose viešosiose vietose fotorezistorius naudojamas priešingam veiksmui: žmogui priėjus prie durų, jos automatiškai atsidaro. Jautrūs fotorezistoriai, įtaisyti raketos ar sviedinio galvutėje, juos nukreipia į taikinį, skleidžiantį infraraudonuosius spindulius.

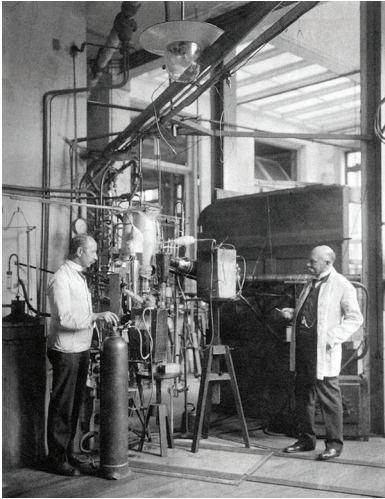
Slėgio matuoklis registruoja mechanines įtampas įrenginiuose ir mašinos. Pritaisytas prie vamzdžio sienelės, jis gali būti naudojamas dujų ir skysčių tekėjimo greičiui matuoti – juk, kintant srovės greičiui, keičiasi jos slėgis į sieneles.

SUPERLAIDUMAS

XX a. pradžioje fizikams pavyko įsiskverbti į superžemųjų temperatūrų, artimų absoliučiajam nuliui, sritį. Pagrindinis tokių tyrimų centras tuo metu buvo Heike Kamerlingho Onneso (Heikė Kamerlingas Onesas) laboratorija Leideno universitete (Olandija), kur pirmą kartą buvo suskystintas helis (6.11 pav.).

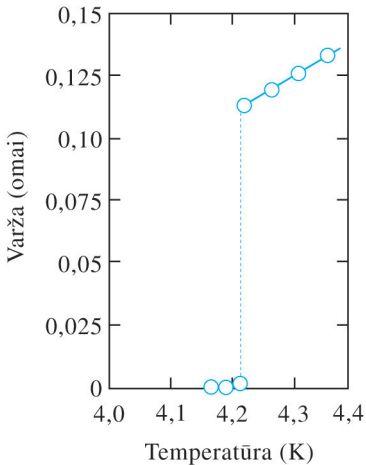
1911 m. H. Kamerlinghas Onnesas tyrė, kaip keičiasi gyvsidabrio varža temperatūrai artėjant prie absoliučiojo nulio. Iš pradžių varža kito pagal žinomą dėsnį – mažėjo žemėjant temperatūrai (kuo mažesnė temperatūra, tuo silpnesni chaotiškieji atomų svyravimai ir tuo mažiau atomai kliudo elektronams judėti metale). Tačiau, pasiekus maždaug 4,2 K temperatūrą, gyvsidabrio varža staiga visiškai išnyko (6.12 pav.). Tokį netikėtą reiškinį H. Kamerlinghas Onesas pavadino superlaidumu, medžiagą, kurios varža praktiškai lygi nuliui, – superlaidininku, o temperatūrą, kurioje tai įvyksta, – kritine temperatūra. Netrukus buvo aptikta ir daugiau superlaidininkų: alavas juo tampa 3,8 K temperatūroje, aliuminis – 1,2 K,

VI skyrius



6.11 pav. H. Kamerlinghas Onnesas (dešinėje) su savo asistentu prie dujų skystinimo ir šaldymo įrenginio, kuriuo naudojantis buvo atrastas superlaidumas.

švinas – žemiau 7,2 K, o retas metalas niobis turi rekordinę kritinę temperatūrą 9,2 K. Įdomu, kad geriausiems elektros laidininkams – auksui, sidabru ir variai – superlaidumas nėra būdingas. O patikrinus įvairius lydinius, tarp jų buvo rasta rekordininkų su kritine temperatūra, lygia keliolikai kelvinų.

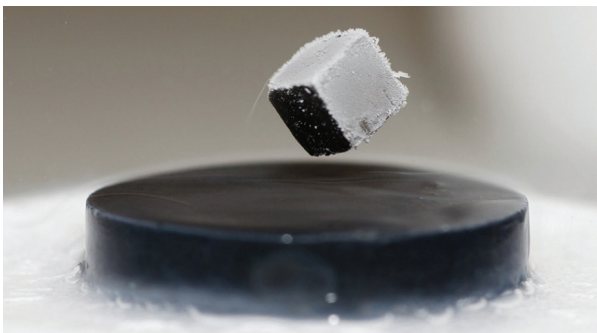


6.12 pav. Gyvsidabrio elektrinės varžos išnykimas, jį atšaldžius iki 4,2 K temperatūros.

Deja, visos pastangos aptikti medžiagas, kurios pasižymėtų superlaidumu kiek aukštesnėje nei skystojo vandenilio virimo temperatūra (20,3 K) ilgą laiką nedavė vaisių. O juk tokia perspektyva labai viliojo mokslininkus ir inžinierius. Tekėdama superlaidininku, elektros srovė nepatiria jokių nuostolių, ji gali nesilpnėdama tekėti bet kokią atstumą ir laiką. Kartą superlaidžiam žiede sukurta srovė tekėjo dvejus metus, kol atsitiktinai išsijungė šaldymas ir medžiaga nustojo būti superlaidi.

Keistas superlaidumo reiškiny užminė teoretikams sudėtingą mįslę – beveik penkis dešimtmečius buvo mėginama sukurti jo teoriją. Tai pavyko tik 1957 m. amerikiečiams Johnui Bardeenui (Džonas Bardinas), Leonui Cooperiui (Leonas Kuperis) ir Johnui Schriefferiui (Džonas Šryferis). Ta teorija remiasi kvantinėmis elektronų bei atomų savybėmis ir yra gana sudėtinga. Labai supaprastintai ją galima apibūdinti taip. Du laisvieji elektronai, kaip vienodo elektros krūvio dalelės, stumia vienas kitą. Tačiau metale elektronai sąveikauja ne tik tiesiogiai tarpusavyje, bet ir per teigiamuosius jonus (atomus, netekusius dalies savo elektronų). Vienas elektronas šiek tiek patraukia į savo pusę joną, tad susilpnėja jo sąveika su kitoje pusėje esančiu jonu, o šio – su tolimesniu jonu ar elektronu. Dėl tos sudėtingos sąveikos tarp elektronų atsiranda nedidelė trauka, ir jie susijungia į poras. Keistos tai poros, nes du tokią porą sudarantys elektronai gali būti gana toli vienas nuo kito – už daugelio atomų eilių, be to, poros nuolat keičiasi partneriais.

Kaip rašoma III skyriuje (skyrelis „Elektronų tapatumas ir Paulio principas“), kiekvienas elektronas atome turi būti vis kitos būsenos; tai galioja ir jiems judant kietajame kūne. Tačiau dviem elektronams sudarius porą, keičiasi ir jų savybės: bet koks elektronų porų skaičius gali būti vienodos būsenos, t. y. turėti mažiausią energiją. Tokia pora gali būti sužadinta į kitą, aukštesnę, lygmenį tik suteikus jai tam tikrą energiją. Vadinasi, kai atomų chaotiškieji svyravimai yra maži (žema temperatūra), o elektronai juda nedideliu greičiu (silpna srovė), jie nepatiria energijos nuostolių – varža pasidaro lygi nuliui. Iš tikrųjų, sustiprėjus elektros srovei, superlaidumo reiškiny išnyksta net labai žemoje temperatūroje. O taurieji metalai negali būti superlaidininkais, nes juose elektronai silpnai sąveikauja su jonais (tad šie metalai yra geri laidininkai) ir dėl to nesusidaro patvarių elektronų porų.



6.13 pav. Magnetas, kybantis ore virš superlaidininko.

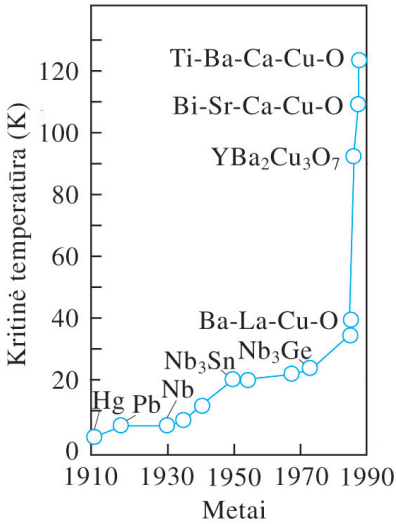
Superlaidininkai pasižymi ir kitomis įdomiomis savybėmis. Antai į juos negali įsiskverbti magnetinis laukas, nes šis superlaidininko paviršiuje sukuria elektros sroves, o jų magnetinis laukas išstumia išorinį lauką. Todėl magnetas pakimba ore virš superlaidininko (6.13 pav.).

AUKŠTATEMPERATŪRIO SUPERLAIDUMO ATRADIMAS

Iki 1986 m. daugelio mokslininkų pastangos atrasti medžiagas, kurios būtų superlaidžios gana aukštoje, gal net kambario, temperatūroje, nebuvo labai sėkmingos (per 75 metus aukščiausia nustatyta kritinė temperatūra pakilo tik iki 22,3 K, junginiui Nb_3Ge (6.14 pav.)). Tarp fizikų netgi paplito aforizmas: „Kritinės temperatūros padidinimas 1 K – tai dešimt Berndto Matthiaso darbo metų“ (Berndas Matiasas, žymus tos srities eksperimentatorius). O du žinomi fizikai paskelbė teoremą, kad aukštatemperatūrio superlaidumo iš viso negali būti.

Ir štai 1986 m. buvo išspausdintas dviejų Šveicarijos fizikų Johanneso Bednorzo (Johanas Bednorcas) ir Karlo Müllerio (Karlas Miuleris) straipsnis, atsargiai pavadintas „Galimas aukštatemperatūris superlaidumas sistemoje Ba–La–Cu–O“. Jame buvo rašoma, kad sudėtinguose junginiuose, į kurių sudėtį įeina kelių rūšių metalų ir deguonies (vadinamosiose metalo-oksidinėse keramikose), pastebėtas superlaidumas, kuris galimai atsiranda esant 35 K. Po daugelio nepasitvirtusių sensacijų straipsnis buvo sutiktas gana skeptiškai. Be to, jo autoriai, tyrinėję elektrinį medžiagų laidumą

VAISINGIAUSIA FIZIKOS SRITIS



6.14 pav. Pasiektos rekordinės kritinės superlaidumo temperatūros kitimas.

IBM bendrovės laboratorijoje, buvo beveik nežinomi tarp superlaidumo specialistų. Tad pateiktą straipsnį atmetė *Physical Review Letters* – žinomiausias fizikos žurnalas, skelbiantis pranešimus apie svarbiausius rezultatus. O paskui rankraštis, kaip ir eilinio darbo, pusmetį pragulėjo kito žurnalo redakcijoje. Kai straipsnį išspausdino, keletą mėnesių irgi buvo tylu. Pirmieji tuo atradimu patikėjo japonų mokslininkai iš Tokijo universiteto – jie patvirtino šveicarų gautą rezultatą ir paskelbė apie tai konferencijoje JAV. Iš karto kelios amerikiečių laboratorijos ėmė tirti panašių junginių superlaidumą ir per savaitę ar dvi aptiko superlaidumą 35–40 K temperatūroje. Štai tada, 1987 m. pradžioje, ir kilo susidomėjimas naujuoju atradimu, į mokslinius tyrimus įsitraukė tūkstančiai fizikų įvairiose šalyse.

G. Bednorzo ir K. Müllerio tirtos keramikos buvo susintetintos prieš dešimtmetį Japonijoje ir SSRS. Deja, jų išradėjai nežengė lemtingo žingsnio – nepatikrino tų medžiagų galimo superlaidumo. Dabar tie pavyzdžiai buvo ištraukti iš spintų ir įsitikinta, kad, užsiėmus eiliniaisiais darbais, buvo pražiopsotas atradimas.

Imta tirti ir kitas panašias medžiagas, ir netrukus kritinė temperatūra pakilo iki 93 K, t. y. superlaidumo būseną pasidarė įmanoma sukurti šaldant

skystuoju azotu (jis daug lengviau suskystinamas negu helis ir yra maždaug penkiasdešimt kartų pigesnis). 1990 m. gyvsidabrio, bario, kalcio ir vario oksidui buvo pasiekta rekordinė kritinė temperatūra 123 K, arba $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, o 1996 m. rekordas kitam panašiam junginiui buvo pakeltas iki $-124\text{ }^{\circ}\text{C}$. Deja, viltys gauti keramikų superlaidumą dar aukštesnėje, netgi kambario, temperatūroje neišsipildė. Tiesa, išbandžius daugelį įvairių medžiagų, buvo aptikti kiti aukštatemperatūriai superlaidininkai, nors pasiektos jų kritinės temperatūros tebėra žemesnės nei keramikų. Tiktai veikiant junginį CH_8S didžiuliu slėgiu, du milijonus kartų didesniu nei atmosferos slėgis, pavyko stebėti superlaidumą net $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje. Tai, aišku, nėra problemos sprendimas. O jį sunkina kol kas neatskleista aukštatemperatūrio superlaidumo prigimtis.

Vis dėlto fizikai ir chemikai nenuleidžia rankų. Aukštatemperatūrio superlaidumo platus pritaikymas reikštų naują proveržį elektronikoje ir elektrotechnikoje, galimybę kaupti pagamintą elektros energiją superlaidžiuose žieduose bei saugoti ją ilgą laiką arba perduoti be nuostolių ir gremėzdiškų transformatorių (juk perduodant elektros energiją dideliais atstumais, įtampa yra keliama būtent energijos nuostoliams sumažinti).

TRANZISTORIUS – SVARBIAUSIAS MIKROELEKTRONIKOS PRIETAISŲ ELEMENTAS

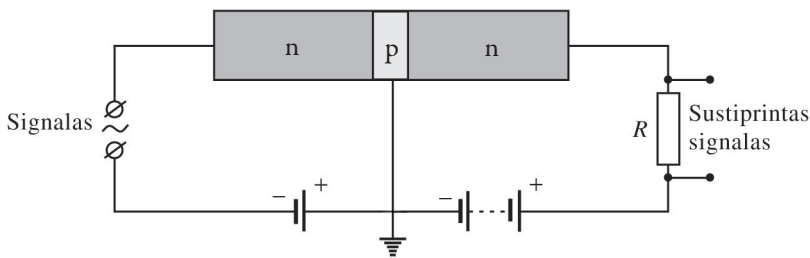
1948 m. liepos 1 d. JAV laikraštis *New York Times* išspausdino tokį pranešimą: „Vakar bendrovė *Bell Telephone Laboratories* pirmą kartą pademonstravo ką tik išrastą įtaisą, pavadintą tranzistoriumi, kurį kai kuriais atvejais galima naudoti radiotechnikoje vietoj elektroninių lempų... Jis pradeda veikti akimirksniu, nereikia laukti, kol įkais, nes, skirtingai nei radijo lempeje, jame nėra kaitinimo. Įtaiso darbo elementus sudaro tik trys plonos vielės, prijungtos prie smeigtuko galvutės dydžio kietos puslaidinikinės medžiagos, prilydytos prie metalinio pagrindo. Ta medžiaga sustiprina srovę, kuri atiteka į ją viena viellele, o kita viellele nuteka sustiprinta srovė.“

Naująjį įtaisą sukūrė tos bendrovės darbuotojai Johnas Bardeenas ir Walteris Brattain (Volteris Bratenas), o jo teoriją išplėtojo Williamas Shockley'us (Viljamas Šoklis), vykdydami programą, kurios tikslas buvo „kuo išsamiau suprasti reiškinius, stebimus puslaidininkuose ir tai padaryti

ne empiriškai, o remiantis atomo teorija“. Įtaisas pranoko pradines atsargias prognozes, jis pamažu visiškai išstūmė elektronines lempas, nes pasirodė esąs daug paprastesnis, kompaktiškesnis ir sparčiau veikiantis už jas bei vartojantis gerokai mažiau energijos. Taip 1948 m. prasidėjo mikroelektronikos era.

Tranzistoriaus pavadinimas kilęs iš dviejų anglišių žodžių: *transfer* – perduoti ir *resistor* – varžas. Iš tikrųjų tai puslaidininkinis triodas, sudarytas iš dviejų n (elektroninio laidumo) sričių, atskirtų plonos p (skylinio laidumo) srities (galimi taip pat pnp tranzistoriai). Taigi tranzistorius – tai dvi tarpusavyje sujungtos pn sandūros, arba puslaidininkiniai diodai (6.15 pav.).

6.15 pav. kairysis diodas prijungtas prie elektros šaltinio taip, kad juo galėtų laisvai tekėti elektros srovė. Ją iš n srities į p sritį sukuria elektronai. O antrasis diodas prijungtas prie kito elektros šaltinio priešingu būdu, kad uždarytų kelią srovei. Tačiau tie diodai turi bendrą p sritį, kuri yra labai plona. Tad elektronai, judėdami iš pirmojo diodo n srities į p sritį, lengvai perbėga ją ir iš inercijos patenka į dešiniąją n sritį. Juk dešinioji sandūra yra uždara skylėms, o ne elektronams. Taigi npn „sumuštinyje“ pirmoji n sritis gamina srovės nešiklius antrajai n sričiai, todėl jos atitinkamai vadinamos emiteriu (angl. *emit* – spinduliuoti) ir kolektoriumi (angl. *collect* – rinkti). Kolektoriaus grandinėje atsiranda maždaug tokio pat stiprio srovė kaip ir emiterio grandinėje (juk daugelis elektronų pereina iš vienos grandinės į kitą), o svarbiausia – ją atkartoja. Įjungus į kolektoriaus grandinę didelį varžą, tarp jo kontaktų gaunamas daug kartų sustiprintas pradinis signalas.



6.15 pav. Tranzistoriaus veikimo schema.

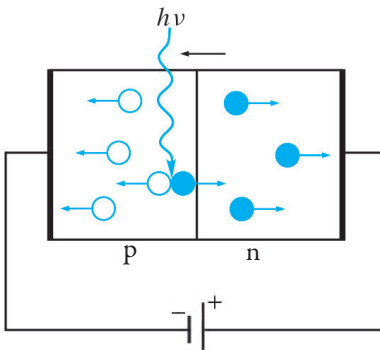
Taip veikia plačiausiai naudojamas šių dienų įtaisas. Tiesa, šnekamojoje kalboje tranzistoriumi neretai vadinamas portatyvinis radijo imtuvas, kurio, kaip ir kitų elektroninių prietaisų, pagrindinę dalį sudaro tranzistoriai.

SAULĖS ELEMENTAI

Per metus mūsų planeta gauna iš Saulės dešimt kartų daugiau energijos, negu jos slypi visose žinomose anglies, naftos ir gamtinių dujų atsargose Žemėje. Jas žmonija, matyt, išnaudos jau šiame amžiuje, o Saulė švies kaip švietusi dar ne vieną milijardą metų. Tad vienas iš svarbių žmonijai iškilusių uždavinių – išmokti našiai naudoti Saulės energiją.

Puslaidininkiai atvėrė galimybę saulės šviesą tiesiogiai paversti elektros srove – patogiausia energijos rūšimi. Tarkime, puslaidininkinis diodas yra uždarytas srovei – p sritis yra prijungta prie elektros šaltinio neigiamojo poliaus, o n sritis – prie teigiamojo poliaus (6.16 pav.). Apšvietus pn sandūrą fotonais, kurių energija yra pakankama nejudriems elektronams išmušti iš jų vietų, daugelis fotonų yra sugeriami puslaidininkyje, ir kiekvienas iš jų sukuria po du srovės nešiklius – elektroną ir skylę. Diodu ima tekėti srovė, ir kuo labiau jis yra apšviestas, tuo elektros srovė stipresnė.

Saulės elementai yra jungiami į modulius, o šie – į plokštes. Pirmiausia jos buvo pradėtos naudoti Žemės palydovuose ir erdvėlaiviuose, kur Saulės neužstoja jokie debesys, o elektros šaltinio kaina nėra labai svarbi. Dažniausiai



6.16 pav. Puslaidininkinio fotodiodo veikimas: fotonas išmuša elektroną iš jo vietos ir sukuria puslaidininkyje elektrono ir skylės porą. Elektronai ir skylės juda priešingomis kryptimis sukurdami elektros srovę.

saulės elementai gaminami iš silicio. Tai vienas iš labiausiai Žemės plutoje paplitusių cheminių elementų, bet jo randama tik junginiuose. Efektyviausi saulės elementai gaunami iš silicio kristalų, tačiau juos išauginti nėra lengva. Pigesni, bet mažesnio našumo elementai gaminami iš mažų silicio kristalėlių arba iš plonų jo plėvelių, kurios gaunamos nusodinimo būdu. Saulės elementai atkakliai tobulinami išrandant naujas technologijas bei pritaikant kitas medžiagas. Labai perspektyviais laikomi elementai iš perovsitų (tam tikrą struktūrą turintys metalo junginiai).

Saulės elektrinių plėtrą riboja ne tik aukštos kainos, bet ir nedidelis plokščių našumas. Elektra iš saulės sėkmingai konkuruoja su kitais elektros gavimo būdais tik pietų kraštuose, ypač dykumų regionuose, kur nuolat giedra, saulė kaitri, o žemė nėra brangi. Saulės modulis transformuoja į elektros energiją apie 20–25 proc. į jį krintančios spinduliuotės, o modulio galia yra tiesiogiai proporcinga jo plotui. Antai viena iš galingiausių tokių elektrinių *Topaz Solar Farm* (0,55 GW), veikianti Kalifornijoje (JAV), užima net 19 km² plotą (6.17 pav.). Yra taikomas ir kitas būdas – sukcentruoti saulės šviesą specialiais reflektoriais į gerokai mažesnę plotą.

Saulės elektrinės turi dar vieną didelį pranašumą – visiškai neteršia gamtos. Tad jos statomos ir šaltesnio klimato šalyse, tarp jų Lietuvoje. Pasaulyje tokiu būdu gaunama apie 3 proc. visos suvartojamos elektros energijos, o iki 2050 m. numatoma tą dalį padidinti iki 11 proc.

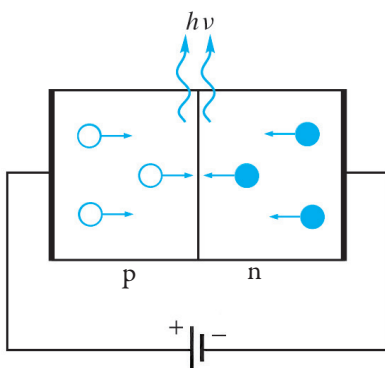


6.17 pav. Saulės elektrinė *Topaz Solar Farm* Kalifornijoje (JAV).

ŠVIESĄ SKLEIDŽIANTYS DIODAI

Fotonas puslaidininkyje sukuria elektrono ir skylės porą, tačiau galimas ir priešingas procesas: elektronui susidūrus su skylė, ji išnyksta ir yra išspinduliuojamas šviesos kvantas – fotonas (6.18 pav.). Kad toks procesas vyktų nuolat, reikia, kad elektronai iš n srities pereitų į p sritį, kur yra daug skylių, o skylės migruotų į n sritį, kur yra didelė tikimybė joms susidurti su elektronais. Tokį elektronų ir skylių judėjimą galima paskatinti veikiant pn sandūrą atitinkamos krypties elektriniu lauku. Taip gaunamas šviesos šaltinis, vadinamas šviesos diodu.

Šis puslaidininkinis įtaisas buvo išrastas dar XX a. pradžioje, bet ilgą laiką nenaudotas dėl mažo našumo. Tačiau jeigu kietojo kūno, ypač puslaidininkių, srityje yra aptikta įdomi galimybė, suformuluotas veikimo principas, tai daugelio mokslininkų pastangomis įmanoma labai patobulinti išradimą. Tad XX a. antrojoje pusėje įvyko proveržis – buvo sukurtos pigios ir gerų savybių LED lempos (santrumpa angliško pavadinimo *light-emitting diode*), jos dažnai vadinamos šviestukais. Tiesa jie, skirtingai nei kaitinamosios lempos, skleidžia tik vienos spalvos, gana siauro dažnių intervalo šviesą. Tačiau palaipsniui buvo išrasti šviesos diodai, generuojantys ne tik įvairius regimuosius, bet taip pat infraraudonuosius ir ultravioletinius spindulius. Antai iš galio fosfido gaminami žaliai šviečiantys diodai, raudoną šviesą skleidžia puslaidininkio AlGaAs diodai. Didinant galio kiekį jame,



6.18 pav. Šviesos diodo veikimas priešingas fotodiodo veikimui: elektronas, susidūręs su skylė, ją užpildo, ir yra išspinduliuojamas fotonas.

šviesos bangos ilgis didėja ir pereina į infraraudonųjų spindulių sritį. O mėlynos šviesos šaltiniui sukurti buvo panaudotas indžio galio nitridas. Žmogui įprasta baltoji šviesa yra gaunama sumaišius raudoną, žalią ir mėlyną diodų šviesą arba naudojant fluorescuojančiąsias medžiagas šviesos spalvai pakeisti

Šviestukai vartoja nedaug elektros energijos, yra ilgaamžiai, maži, tad plačiai taikomi įvairiose srityse. Jie šviečia kompiuterių, televizorių ir telefonų ekranuose, naudojami žibintuose ir šviesoforuose. Kaip elektros prietaisų indikatoriai, šviestukai parodo, kad prietaisas yra įjungtas. Taupiosios, arba LED, lempos jau išstūmė kaitinamąsias. Pastatų fasadus pagyvina iš šviestukų sukurtos reklaminės ir informacinės švieslentės.

INTEGRINIS GRANDYNAS – XX A. STEBUKLAS

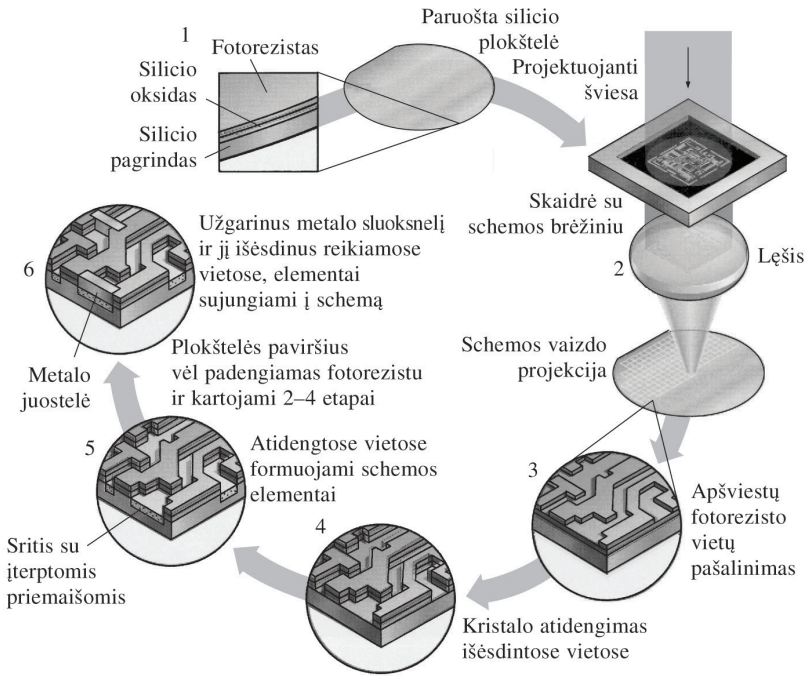
Kokiu būdu galima sukurti integrinį grandyną, susidedantį iš tūkstančių ar net milijonų miniatiūrinių elementų? Atrodo, tai gerokai sunkesnis uždavinys, negu pakaustyti mažytį šimtakojį.

Metalurgijoje pagrindinis metalas yra geležis, o mikroelektronikoje pagrindinė medžiaga yra puslaidininkis silicis, kurio atsargų Žemėje apstu. Tačiau žaliavos mikroelektronikos pramonei netrūksta, problema – išauginti taisyklingus ir grynus silicio kristalus, kuriame priemaišų būtų mažiau negu 0,0000001 proc. Net dėl menko defekto kristale gali būti suformuotas netikęs elementas ir, nors jis būtų vienas tarp daugelio gerų, integrinis grandynas veiks nepatikimai, tad jį teks išbrokuoti. Tad kristalo auginimas, kaip ir kitos grandyno gamybos operacijos, atliekamos itin sterilioje aplinkoje, o žmogų, kur tik įmanoma, stengiamasi pakeisti robotu, nes net kvėpuodamas žmogus gali sukelti nepageidaujamą taršą.

Išaugintas kristalas pjaustomas į 0,5–1 mm storio plokšteles. Tokia plokštelė kruopščiai valoma, poliruojama, kol gaunamas juodas, blizgus silicio diskas – integrinio grandyno pagrindas. Jį pakaitinus, paviršiuje susidaro plonas silicio oksido sluoksnelis, kuris saugo kristalą nuo mechaninių ar cheminių pažeidimų gaminant grandyną ir gali būti panaudotas kaip izoliacinis sluoksnis tarp atskirų grandyno elementų.

Po to ant kristalo reikia suformuoti būsimą integrinį grandyną ar jo dalį (6.19 pav.). Tuo tikslu plokštelės paviršius yra padengiamas fotorezisto

VI skyrius



6.19 pav. Pagrindiniai integrinio grandyno formavimo etapai: 1 – padengimas fotorezistu; 2 – grandyno brėžinio projektavimas į kristalą; 3 – apšviestų fotorezisto vietų pašalinimas; 4 – apsauginės silicio oksido plėvelės pašalinimas išėsdintose vietose; 5 – puslaidininkinių elementų formavimas; 6 – grandyno elementų sujungimas užgarinus metalo sluoksnį.

(šviesai jautrios medžiagos) sluoksniu ir apšviečiamas per specialią skaidrę su grandyno brėžiniu. Tada pašalinamos apšviestos fotorezisto vietos ir išėsdinama po jomis esanti silicio oksido plėvelė.

Atidengtose silicio kristalo vietose yra formuojami grandyno elementai. Elektroninio ir skylinio laidumo sritys sukuriamos įterpiant į silicį nedidelius priemaišų kiekius. Tai daroma veikiant atvirus kristalo plotelius jonų pluošteliu arba difuzijos būdu – padengiant kristalą atitinkamomis medžiagomis ir jas kaitinant (tai palengvina atomų migraciją). Pats

moderniausias būdas – palaipsniui užkloti reikiamus sluoksnius ant kristalo paviršiaus – vieną atomų eilę po kitos. Tai atliekama užgarinant medžiagas, t. y. nusodinant ant paviršiaus dujų ar skysčio daleles.

Aišku, neįmanoma iš karto suformuoti visų reikiamų grandyno elementų, tad nurodyti etapai yra kartojami iki dvidešimties kartų: vėl ir vėl plokštelės paviršius dengiamas fotorezistu, į jį projektuojamas gaminamų elementų vaizdas ir formuojami nauji grandyno elementai.

Pagaliau užgarinus ant grandyno ploną metalo sluoksnėlį ir išsėdinus jį visur, išskyrus tarpelius tarp elementų, jie be laidų sujungiami į vientisą įtaisą.

Tokiame integruojamame grandyne neįmanoma nieko pakeisti ar pataisyti. Tad patikrinus dešimt grandynų, devyni iš jų yra išbrokuojami, užtat vienas tampa pagrindine elektroninio prietaiso dalimi.

ŠIUOLAIKINĖS EKSPERIMENTINĖS FIZIKOS LIETUVOJE PRADININKAS

P. Brazdžiūnas ir A. Jucys – dvi ryškiausios asmenybės pokario Lietuvos fizikoje. Jie panašūs savo atsidavimu mokslui, principingumu ir nepaprastu darbštumu, nors buvo visiškai skirtingi savo aukštaitišku ir žemaitišku charakteriais, veiklos principais ir tikslais. Tai buvo du to laikotarpio mūsų fizikos poliai, du svarbiausi jos kristalizacijos centrai.

Povilas Brazdžiūnas gimė 1897 m., elektrono atradimo metais, nuošaliame Aukštaitijos viensėdyje, netoli Kupiškio, gausioje šeimoje. Nors jis suspėjo iki karo baigti gimnaziją, galimybės studijuoti aukštojoje mokykloje teko laukti iki 1920 m., kai Kaune buvo įsteigti Aukštieji kursai. 1925 m. P. Brazdžiūnui buvo įteiktas pirmasis fiziko diplomai Lietuvos universitete. Dar būdamas studentas, jis dirbo laborantu V. Čepinskio vadovaujamoje Fizikos katedroje; tiesą sakant, iš pradžių tik jie du ir tebuvo tos katedros darbuotojai. Kaip ir daugelis to meto jaunų dėstytojų, P. Brazdžiūnas parengė ir apgynė disertaciją iš eksperimentinės spektroskopijos užsienyje, Ciuricho universitete. Grįžęs į Kauną, jis ieškojo naujos tyrimų krypties, bet teko atsидėti labiau pedagoginei ir mokslo populiarinimo veiklai.

Po karo, Antanui Žvironui, vienam iš aktyviausių fizikų eksperimentatorių, patekus į sovietinį lagerį, P. Brazdžiūnas pasijuto atsakingas už



6.20 pav. Pirmieji fizikai ir matematikai, parengti Lietuvos universitete, su Matematikos ir gamtos fakulteto dekanu Zigmū Žemaičiu (1925 m.). Antras iš kairės – fizikas Povilas Brazdžiūnas.

eksperimentinės fizikos ateitį Lietuvoje. Jis išsikėlė sau tikslą formuoti pagrindines jos kryptis, ugdyti specialistus ir rūpintis fizikos mokslo bendrąja kultūra Lietuvoje. Šio tikslo jis labai atkakliai ir įžvalgiai, su tikru pasišventimu siekė visą gyvenimą.

Sunkiais pokario metais trūko mokslo prietaisų ir lėšų jiems įsigyti, tad eksperimentatoriai turėjo apsieiti be brangios ir sudėtingos aparatūros. Tai nebuvo lengva suderinti su P. Brazdžiūno polinkiu į naująją fiziką. Apie 1948 m. jis atkreipė dėmesį į pradedančią sparčiai vystytis puslaidininkių fiziką. P. Brazdžiūnas pasitarė su žymiais kietojo kūno fizikos specialistais Abramū Joffe (Abramas Jofė) bei Bencionu Vulu (Bencionas Vulas), ir šie pritarė jo pasirinkimui žadėdami pagalbą.

P. Brazdžiūnas mokėsi puslaidininkių fizikos pats ir kartu rengė pirmuosius specialistus. 1950 m. diplominius darbus iš šios srities apgynė Vytautas Tolutis ir Jurgis Viščakas, kurie ėmėsi puslaidininkių tyrimų P. Brazdžiūno vadovaujamoose padaliniuose Vilniaus universitete ir Mokslų akademijoje. Be to, prisimindamas gerą tarpukario tradiciją – tobulinti specialistus pagrindiniuose užsienio mokslo centruose, jis išsiuntė aspirantūron į Maskvą ir

Leningradą kelis jaunus fizikus, tarp jų Jurą Poželą, ką tik baigusį universitetą Maskvoje, – pas A. Joffę.

Maždaug po septynerių metų P. Brazdžiūnas, nusprendė, kad ir Mokslų akademijos institute, ir Vilniaus universitete susidarė stiprios puslaidininkų specialistų grupelės, kad šie tyrimai jau neužges, nes atsirado potencialių vadovų. Tad perdavė jiems vadovavimą, o pats ėmėsi kurti naujas kryptis.

Atėitis parodė, kad P. Brazdžiūnas tinkamai parinko ir pagrindinę kryptį, ir jos vadovus. 1967 m. Mokslų akademijoje buvo įkurtas atskiras Puslaidininkų fizikos institutas, kurio direktoriumi ilgus metus buvo J. Požela. Žinomu puslaidininkų fizikos centru tapo J. Viščako vadovaujama katedra universitete, prie jos buvo įkurta probleminė laboratorija.

Šeštojo dešimtmečio pabaigoje P. Brazdžiūnas organizavo Mokslų akademijos Fizikos ir matematikos institute Radioaktyviojo spinduliavimo sektorių, po kelerių metų Vilniaus universitete – Radiofizikos katedrą. Vėlgi buvo ugdomi tų sričių specialistai, jie siunčiami mokytis ir tobulintis į Rusijos pagrindinius mokslo centrus, o subrendus tyrimų vadovams, jiems kuriami nauji padaliniai. Vėliau P. Brazdžiūno iniciatyva Lietuvoje pradėta plėtoti ir lazerių fizikos kryptis; tiesa, jis pats jau nebesiėmė šių specialistų ugdymo, bet pasirūpino nusiųsti kelis studentus studijuoti lazerių fizikos į Maskvos universitetą.

Tik vienas P. Brazdžiūno sumanymas nepavyko – įkurti branduolio fizikos institutą su eksperimentiniu branduoliniu reaktoriumi. Toks reaktorius buvo pastatytas Latvijoje, ir vystyti šią daug lėšų reikalaujančią fizikos kryptį Lietuvoje pasirodė neperspektyvu. Rusijoje parengtiems specialistams iš Lietuvos teko panaudoti savo žinias kituose mokslo centruose.

P. Brazdžiūnas labai daug laiko skyrė bendriems fizikos reikalams. Jis parengė keturių dalių vadovėlį aukštosioms mokykloms „Bendroji fizika“, ilgus metus vadovavo Lietuvos fizikų draugijai, vienintelei SSRS, ir buvo mokslo žurnalo „Lietuvos fizikos rinkinys“ vyriausiasis redaktorius. Jam vadovaujant, buvo parengtas „Fizikos terminų žodynas“ ir pradėta rašyti „Lietuvos fizikos istorija“.

Visi vyresnieji fizikai su pagarba prisimena taurų, geranorišką, principingą, visada gerai nusiteikusį, orų profesorių. Kiekvienam jis surasdavo gerą žodį, pasiteiraudavo apie darbus, o prireikus, kuo galėdamas padėdavo. P. Brazdžiūnas visada nuoširdžiai džiaugdavosi savo mokinių pasiekimais – tai buvo ir jo paties pasiekimai.

VII

ŠIUOLAIKINĖ OPTIKA

Kvantinė ir netiesinė optika. Optika – viena iš seniausių fizikos dalių, ir XIX a. pabaigoje atrodė, kad jau yra nustatyti visi pagrindiniai jos dėsniai. Tačiau XX a. ši klasikinį mokslą teko papildyti dviem naujomis šakomis – kvantine ir netiesine optika.

Visi iki XX a. stebėti optiniai reiškiniai, išskyrus spektro linijas (jų prigimtį), buvo paaiškinti remiantis bangine šviesos teorija. Tačiau kvantinė mechanika įrodė, kad šviesa turi dvejopą prigimtį: priklausomai nuo eksperimento sąlygų, ją galima tirti kaip bangas arba kaip dalelių – fotonų srautą. Fotonai yra elementariosios dalelės, tad jų savybės dažniausiai tampa svarbios tiriant mikropasaulio reiškinius, ypač šviesos sąveiką su atomais bei molekulemis; žinoma, pasitelkus kvantinės mechanikos metodus. Taigi kvantinė optika – tai kvantinės mechanikos taikymas optiniams reiškiniams aprašyti. Tokiu būdu buvo išspręsta spektro linijų prigimties mįslė, paaiškinti įvairūs elementarieji procesai, kurie vyksta šviesai sąveikaujant su atomais. O jie lemia įvairius stebimus reiškinius. Pavyzdžiui, I skyriuje (skyrelis „Kvanto atradimas“) minimą fotoefektą, kai, ultravioletiniais spinduliais apšvietus cinko plokštelę, ji įgyja teigiamąjį elektros krūvį. Būtent atsižvelgus į kvantines šviesos savybes, buvo atrastas priverstinis spinduliavimas, kuris leido sukurti naujos rūšies šviesos šaltinį – lazerį.

Panašiai kaip optikai bendrą teorinį pagrindą suteikė elektromagnetinių bangų teorija, taip kvantinės optikos teorinis apibendrinimas yra kvantinė elektrodinamika – kvantinė elektromagnetinio lauko teorija. Gana sudėtingas jos matematinis aparatas yra naudojamas nagrinėjant ne tik optinius reiškinius, bet ir kitų elektromagnetinių bangų sukeltus reiškinius, kai yra svarbūs kvantiniai efektai.

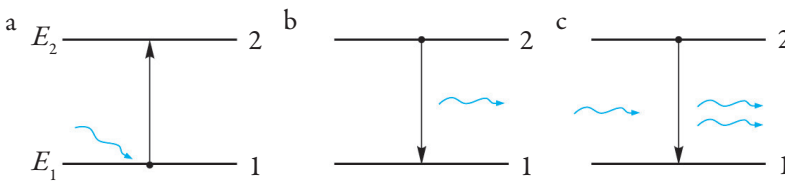
Antroji nauja optikos šaka – netiesinė optika – atsirado sukūrus naujos rūšies šviesos šaltinius – lazerius. Jie leido gauti elektrinius laukus, kurių stipris panašus kaip laukų atomuose ir molekulese. Tokiomis sąlygomis nustoja galiojusi klasikinės optikos prielaida, kad šviesos spinduliuotė,

sklisdama medžiagoje, nekeičia jos savybių. Intensyvi šviesa keičia jas, o tai savo ruožtu – sklindančią spinduliuotę. Veikiant kai kurias medžiagas didelės galios spinduliuote, lūžio rodiklis padidėja. Kadangi intensyviausia spinduliuotė yra pluoštelio centre, tai čia lūžio rodiklis padidėja daugiau negu pluoštelio kraštuose. Tad spindulių pluoštelis, sklisdamas tokioje medžiagoje, susiaurėja – susifokusuoja link centro. Antra vertus, stiprus šviesos laukas gali ir didinti lūžio rodiklį, tada stebimas išsiskleidžiantis spindulių pluoštelis.

Kitas svarbus netiesinės optikos reiškinys – spinduliuotės dažnio kitimas dėl jos sąveikos su medžiaga. Sugeriant fotoną $h\nu$, jis gali pasidalyti į du fotonus $h\nu_1$ ir $h(\nu - \nu_1)$; aišku, procesas turi tenkinti ne tik energijos, bet ir judėjimo kiekio tvermės dėsnius. Kristalai, kuriuose tas reiškinys stebimas, vadinami netiesiniais kristalais, o tokia fotonų sklaida – parametrine sklaida (nes, keičiant kristalo orientaciją ar temperatūrą, gaunama kito dažnio spinduliuotė). Buvo aptiktas ir priešingas reiškinys – šviesos dažnio padvigubėjimas ar net patrigubėjimas jai sąveikaujant su kristalu.

Būtent lazeris yra plačiausiai naudojamas šiuolaikinis spinduliuotės šaltinis, tad didžioji šio skyriaus dalis skiriama lazerių fizikai.

Kaip veikia lazeris? Kad suprastume jo veikimą, prisiminkime III skyriuje nagrinėjamus vandenilio atomo energijos lygmenis. Elektronas atome, vadinasi, ir visas daugiaelektronis atomas, gali turėti ne bet kokias energijos vertes, o tik tam tikras, nuo atomo sandaros priklausančias vertes, kurias patogiu vaizduoti kaip energijos lygmenis. 7.1 pav. dėl paprastumo parodyti tik du atomo energijos lygmenis.



7.1 pav. Šviesos sugertis (a), savaiminis (b) ir priverstinis (c) spinduliavimas.

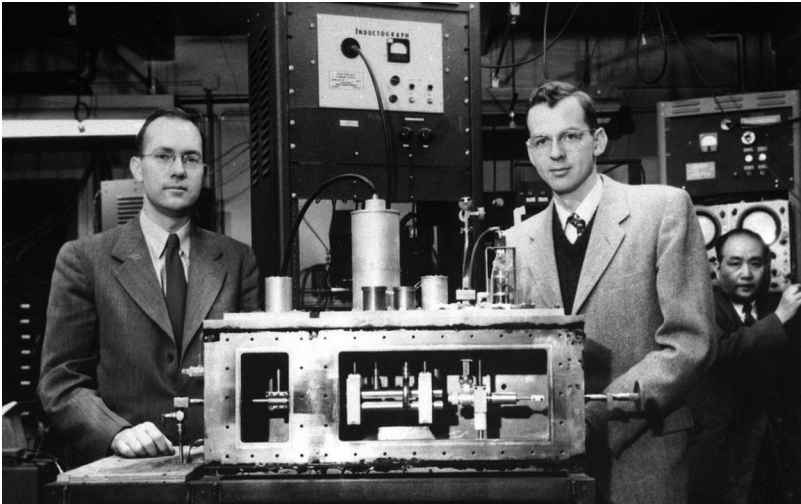
Paveikslėlyje parodyti tik du nagrinėjami atomo energijos lygmenys.

Rodyklė tarp lygmenų vaizduoja elektrono šuolį, kuriam vykstant atomas sugeria arba išspinduliuoja fotoną (jis pažymėtas vingiuota linija).

VII skyrius

Atomas, esantis lygmenyje 1, gali būti sužadintas į lygmenį 2, jeigu jį paveikia fotonas, kurio energija $h\nu$ lygi galinio ir pradinio lygmenų energijų skirtumui $E_2 - E_1$ (7.1 pav., a). Atomas, sužadintas į aukštesnį lygmenį 2, gali, priešingai, pats savaime grįžti į lygmenį 1 išspinduliuodamas fotoną. Šis turės tokią pat energiją kaip ir atomą sužadinęs fotonas, tačiau gali išlėkti kita kryptimi, su kitaip nukreiptu sukiniu. Toks spinduliavimas yra vadinamas savaiminiu (7.1 pav., b). A. Einšteinas 1916 m. teoriškai įrodė: jeigu sužadintojo atomo aplinkoje yra kitas fotonas, kurio energija lygi atomo šuolio į žemesnį lygmenį energijai, tai atomas linkęs išspinduliuoti lygiai tokį pat fotoną, t. y. to paties dažnio, ta pačia kryptimi ir su taip pat nukreiptu sukiniu, o fotoną atitinkanti banga turės tokią pat fazę (7.1 pav., c). Toks spinduliavimas vadinamas priverstiniu, arba stimuliuojuoju.

Deja, pritaikyti šį reiškinį pasirodė gana sudėtinga. Tik po 35 metų amerikietis Charlesas Townesas (Čarlzas Taunsas) ir rusų mokslininkai Aleksandas Prochorovas bei Nikolajus Basovas pasiūlė konkrečius būdus, kaip gauti priverstinį spinduliavimą, ir sukūrė pirmąjį jo generatorių centimetrinių radijo bangų (mikrobangų) diapazone, pavadintą *mazeriu* (santrumpa angliško pavadinimo *microwave amplification by stimulated emission of*



7.2 pav. C. Townesas (kairėje) su savo doktorantu prie vieno iš pirmųjų mazerių.

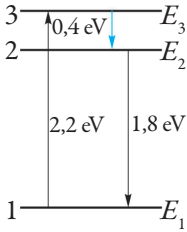
radiation – mikrobangų stiprinimas priverstiniu spinduliavimu). O 1960 m. amerikiečių fizikas Theodore'as Maimanas, (Teodoras Meimenas), panaudojęs rubino kristalą, sukonstravo pirmąjį naujos rūšies regimosios šviesos generatorių – lazerį (pavadinimas sudarytas pakeitus žodyje *mazeris* raidę *m* į angliško žodžio *light* (šviesa) pirmąją raidę *l*).

Norint praktiškai sukelti priverstinį spinduliavimą, reikia įvykdyti ne tokią jau lengvą sąlygą – sukurti vadinamąją užpildos apgrąžą: kada sužadintųjų atomų aukštesniame energijos lygmenyje 2, yra daugiau negu atomų žemesniame lygmenyje 1 (7.1 pav., c). Tačiau įprastinėmis sąlygomis esti priešingai; juk atomai, kaip ir bet kokie kiti fiziniai kūnai, yra linkę užimti būseną su žemesne energija. Tad atsiradę fotonai yra tuoj pat sugeriaami nesužadintų atomų, t. y. vyrauja sugertis ir priverstinis spinduliavimas nevyksta. Tik tuomet, kai aukštesniame lygmenyje 2 yra daugiau atomų negu žemesniame lygmenyje 1, išspinduliuotas fotonas sukelia tokių pat fotonų griūtį.

Beje, jeigu atomai turėtų tik du energijos lygmenis, lazerio nebūtų įmanoma sukurti, nes tokioje sistemoje negalima sužadinti daugumos atomų (kaip neįmanoma stabiliai pastatyti stalo su dviem kojomis). Kad lazeris galėtų veikti, reikia bent trijų energijos lygmenų, kaip ir stalui – bent trijų kojų.

Panagrinėkime pirmojo lazerio veikimą. Rubiną sudaro bespalvis aliuminio oksidas, o būdingą raudoną spalvą jam suteikia chromo priemaiša. Lazerio kūrėjai atkreipė dėmesį, kad chromas turi metastabilųjį lygmenį 2 (savaiminiai šuoliai iš jo į pagrindinį (žemiausią) lygmenį 1 yra beveik uždrausti), o virš jo – įprastinį, trumpai gyvuojantį lygmenį 3, kuriame atomai neužsibūna (7.3 pav.). Iš pastarojo atomai labiau linkę peršokti į lygmenį 2, o ne į pagrindinį lygmenį 1. Vadinas, apšvietus rubino kristalą šviesos blyksniais, kurių bangos ilgis apie 550 nm (tai atitinka 2,25 eV fotonų energiją), chromo atomai bus sužadunami į lygmenį 3; iš jo greitai peršoks į lygmenį 2 ir čia užsibus dėl draudimo savaiminiu būdu peršokti į pagrindinį lygmenį 1. Taigi atomų skaičius sužadintajame lygmenyje 2 viršys atomų skaičių lygmenyje 1, t. y. susidarys užpildos apgrąža – būtina sąlyga, kad vyktų priverstinis spinduliavimas. Apgrąžos sukūrimo procesas vadinamas kaupinimu.

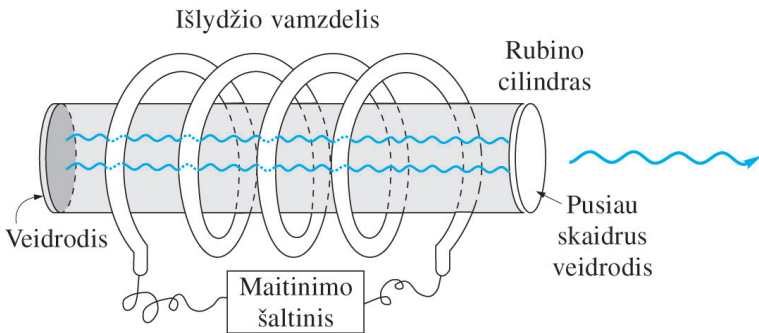
VII skyrius



7.3 pav. Chromo atomo energijos lygmenų, panaudotų rubino lazeriui sukurti, supaprastinta schema. Šalia rodyklių, vaizduojančių šuolius, nurodytos jų energijos.

Iš rubino kristalo buvo išpjautas maždaug 2 cm ilgio cilindras ir jis įtaisytas spiralinės pavidalo galingo išlydžio vamzdelio viduje (7.4 pav.). Išlydžio šviesa sužadina chromo atomus ir sukuria jų užpildos apgrąžą. Tuomet išspinduliuotas fotonas sukelia kristale daugelio tokių pat fotonų griūtį. Vis dėlto, stiprus priverstinis spinduliuavimas atsiranda tik išilgai cilindro ašies (7.5 pav.). Juk būtent šia kryptimi sklindantys fotonai nulekia ilgiausią kelią kristale, todėl sukuriamia daugiausia tokių pat fotonų. Šiam efektui sustiprinti cilindro galai daromi lygiagretūs vienas kitam ir padengiami sidabro plėvele. Fotonai atsispindi nuo tų veidrodžių ir daug kartų pralekia išilgai cilindro, skatindami vis naujų fotonų atsiradimą. Tam, kad jie galėtų palikti kristalą, vienas veidrodis daromas pusiau skaidrus arba su skylute centre.

Iš tikrųjų lazeriu sukuriamas ne vieno dažnio spindulys, o beveik vienodo dažnio spindulių pluoštelis (tiesa, jis matomas kaip plonytis spindulys, tad neretai vadinamas lazerio spinduliu). O įprastinę šviesą sudaro įvairaus



7.4 pav. Rubino lazerio sandara.

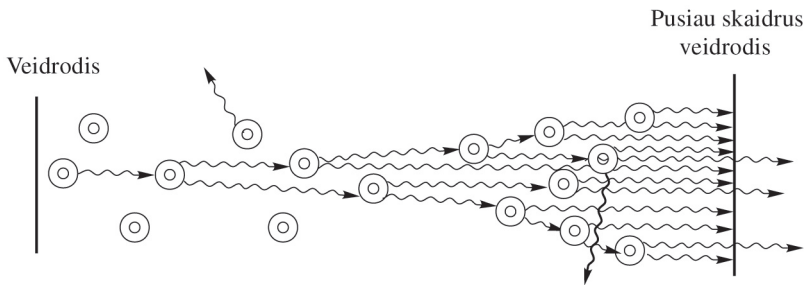
dažnio, krypties, sukinio orientacijos, ir fazės fotonų mišinys. Taigi lazerio šviesą galima palyginti su darniu kareivių būriu, o įprastinę šviesą – su minia. Darnus būrys visada gali daugiau nuveikti, tad nenuostabu, kad ir lazeriai netrukus buvo pritaikyti daugelyje sričių: tiksliems matavimams atlikti ir informacijai perduoti, mažoms skylutėms gręžti ir medžiagai įkaitinti bei grūdinti ir dar daug kam kitam.

Lazerių tipai. Skirtingiems tikslams reikalingi įvairios galios ir dažnio lazeriai. Priverstinį spinduliavimą galima sukelti ne tik kristaluose, bet ir skysčiuose, dujose bei plazmoje. Skiriasi kaupinimo būdai, užpildos apgrąžai sukurti naudojami atomų ar molekulių lygmenys, įrenginių dydis, betgi pagrindinis lazerio veikimo principas lieka toks pat: sudarius sąlygas, kad aukštesniame (paprastai – metastabiliajame) lygmenyje būtų daugiau mikrodalelių negu žemesniame lygmenyje, prasideda griūtinis tokių pat fotonų generavimo procesas.

Lazeriai skirstomi į nuolatinės veikos ir impulsinius. Pastarieji generuoja periodinius spinduliuotės impulsus. Yra sukurta lazerių, kurių impulsai trunka tik pikosekundes ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$) ar netgi femtosekundes ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$).

Labai skiriasi lazerių galia – nuo vato dalių iki didžiulės galios lazerių, kurių impulso galia didesnė negu visų JAV elektrinių galia (7.6 pav.).

Yra sukurta įvairių dažnių lazerių – ne tik regimosios šviesos, bet ir infra-raudonųjų, ultravioletinių, Röntgeno spindulių, visi jie vadinami bendru lazerio vardu, neišgalvojant kiekvienai elektromagnetinių bangų sričiai atskiro pavadinimo. Labai svarbus žingsnis buvo kintamojo dažnio lazerių sukūrimas (juk labai



7.5 pav. Griūtinis tokių pat fotonų susidarymas medžiagoje, esant užpildos apgrąžai.

VII skyrius

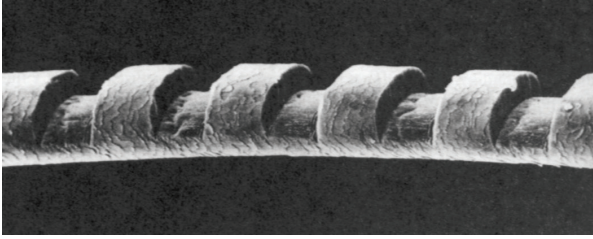


7.6 pav.
Galingiausias
XX a. optinis
lazeris *Nova*,
sukurta *Lawrence
Livermore National
Laboratory* (JAV).
Jo impulso galia
siekė 1500 TW.

nepatogu, kai dažnį galima keisti tik keičiant patį lazerį). Fotono dažnį viena-reikšmiškai lemia pradinio ir galinio lygmenų energijų skirtumas, o lygmenų energijas, vadinasi, ir lazerio dažnį galima šiek tiek keisti keičiant kristalo temperatūrą ir kitus parametrus. Pasirodo, kad organinių dažų molekulės turi daug artimų lygmenų, kurie sudaro išstis energijos juostas. Vykstant šuoliams iš tokios juostos, būtų generuojama įvairaus dažnio spinduliuotė, bet fizikai surado būdą, kaip lazeryje stiprinti vieno dažnio spinduliuotę ir palaipsniui keisti tą dažnį.

Lazerių profesijos. Siauras lazerio spindulių pluoštelis sklinda beveik neišplisdamas, o sutikęs kliūtį, nuo jos atsispindi irgi tvarkingai. Todėl lazerius galima panaudoti itin tiksliai atstumų matavimams – tiek tarp Žemės paviršiaus taškų, tiek tarp kosminių kūnų. Antai, *Apollo* astronautams palikus Mėnulyje specialų reflektorių, nuotolis iki jo buvo išmatuotas centimetro tikslumu. Beje, pritaikius šį būdą, sukurta naujos rūšies pasiklausymo aparatūra. Nukreipus lazerio spindulių pluoštelį į lango stiklą ir registruojant jo atspindį, galima klausytis pokalbių, vykstančių uždaroje patalpoje, – juk garso bangos sukelia silpnus stiklo virpesius, todėl atstumas nuo stebėtojo iki stiklo truputį keičiasi.

Naudojantis lazeriu, galima preciziškai gręžti skylutes (net mikrometro dydžio), suvirinti miniatiūrinės detales (ir sunkiai prieinamose vietose), pjauti



7.7 pav. Žmogaus plaukas, išpjaustytas lazerio spindulių pluošteliu.

metalą ir grūdinti metalines detales (įkaista tik metalo paviršius, tad dirbiny s nėra deformuojamas). Kompiuteriu valdomas spindulių pluoštelis sukerpa rūbus daug greičiau ir tiksliau negu geriausias sukirpėjas.

Lazerio spindulių pluoštelis naudojamas kaip chirurgo skalpelis. Jis sterilus, ne tik pjauna, bet kartu ir „pridegina“ pjūvį, užspaudžia kraujagysles, todėl labai sumažina kraujavimą. Tad lazeris plačiai taikomas akių chirurgijoje. Tuo būdu atplyšusią tinklainę galima pritvirtinti prie akies dugno nepažeidžiant akies lęšiuko, kuris yra skaidrus lazerio šviesai.

Didelės galios lazerio impulsais galima sukongcentruoti milžinišką energiją, įkaitinti medžiagą iki milijonų laipsnių temperatūros. Tad tuo pat metu kaip tokamakas, yra kuriamas ir lazerinis termobranduolinis reaktorius, kuriame lazerio spindulių pluošteliu apšvietus iš visų pusių deuterio ir tričio lašelius, įvyktų termobranduoliniai mikroprogimiai. (Svarbias sudėtingas problemas dažnai siekiama spręsti įvairiais keliais, kad, viename iš jų susidūrus su netikėtoms kliūtimis, būtų galima sėkmingai tęsti tyrimus.) Aišku, yra sukurtas ir lazerinis ginklas, efektyvesnis už fantastinį inžinieriaus Garino hiperboloidą.

Čia mes paminėjome tik keletą iš daugelio lazerio taikymų. Dar apie vieną iš jų, hologramos gavimą, pasakojama atskirame straipsnelyje.

RÖNTGENO SPINDULIŲ LAZERIS

Kuriant naujus lazerius, stengiamasi gauti vis aukštesnio dažnio spinduliuotę. Juk didesnės energijos fotonais galima stipriau veikti medžiagą; be to, tokių spindulių pluoštelis sklisdamas mažiau išplinta, juo galima tyrinėti smulkesnius objektus.

VII skyrius

Sukurti Röntgeno spindulių lazerį (trumpiau – rentgeno lazeris) ne taip jau paprasta. Visų pirma, norint padidinti fotono energiją šimtą kartų, reikia ir atomus sužadinti šimtą kartų didesne energija. Antra, tokios stipriai sužadintos atomų būsenos yra labai trumpaamžės, tad sukurti ir palaikyti užpildos apgrąžą yra nepaprastai sunku.

1981 m. *Lawrence Livermore National Laboratory* (JAV) sukurtas pirmasis rentgeno lazeris buvo gana neįprastas. Jį sužadino požeminis branduolinis sprogimas. Sprogimo epicentre buvo padėti strypai, pagaminti iš specialaus lydinio. Trumpą akimirką, prieš strypams išgaruojant, juose susidarė užpildos apgrąža ir buvo sugeneruotas Röntgeno spindulių impulsas, kurio galia siekė 10 TW (1 TW = 10^{12} W). Rentgeno lazeris iš anksto buvo nutaikytas į tam tikrą objektą ir jį sunaikino.

Vienkartinio veikimo rentgeno lazeris, kuriam kaupinti reikia atominės bombos sprogimo, aišku, nėra tinkamas problemos sprendimas. Dar po trejų metų toje pačioje laboratorijoje buvo sukurtas praktiškesnis rentgeno lazeris, kaupinamas jau ne branduoliniu sprogimu, o tuo metu galingiausiu pasaulyje regimųjų spindulių lazeriu *Nova*. Jo spindulių pluoštelį nukreipus į metalo (seleno, itrio ar molibdeno) foliją, ši akimirksniu virsdavo plazma, o atomai – sužadintais daugiakrūviais jonais. Neturint Röntgeno spindulių veidrodžio, stiprinimas vyko fotonams pralekiant išilgai sukurto plazmos stulpelio. Tokiu būdu pasisekė generuoti lazerio spinduliuotę, kurios bangos ilgis 20 nm (tai minkštieji, arba ilgųjų bangų, Röntgeno spinduliai, gretimi ultravioletiniams).

Vėliau buvo sukurtas netgi kintamojo dažnio rentgeno lazeris. Jame spinduliuotė yra gaunama kitu būdu, nenaudojant kaupinimo. Ją generuoja vienodos energijos elektronų pluoštelis judėdamas dideliu greičiu pro lygiais atstumais išdėstytus magnetus. Jie verčia elektronus svyruoti sinusoide ir skleisti tokių pat fotonų srautą. O tokio laisvųjų elektronų lazerio dažnis lengvai keičiamas didinant ar mažinant elektronų pluoštelio greitį.

KOSMINIS MAZERIS

Neretai paaiškėja, kad naujas mokslininkų išradimas jau seniai egzistuoja gamtoje. Atrodo, priverstiniam spinduliavimui atsirasti reikalingos ypatingos,

specialiai sukuriamos sąlygos, kurias gali realizuoti tik protingos būtybės. Tad, 1965 m. užregistravus neįprastus radijo signalus (poliarizuotąją spinduliuotę siaurame dažnių intervale), sklindančius iš kosminių dujų debesų, nebuvo išvelgta analogijos su mazeriu ir, neradus tinkamo paaiškinimo, spinduliuojantis objektas buvo pavadintas misteriumu. Tolesni tyrimai parodė, kad misteriumas yra paprasčiausias hidroksilas (OH grupė), tiktai stebima ne įprastinė šių molekulių, o hidroksilo mazerio spinduliuotė. Vėliau buvo aptikta nemažai kosminių mazerių, netgi po kelis tame pačiame tarpžvaigždiniame debesyje; jiems sukurti gamta panaudojo ne tik hidroksilą, bet ir vandens garus, silicio monoksidą, metanolį (CH_3OH) ir netgi labiausiai paplitusį Visatoje cheminį elementą – vandenilį.

Kokiu būdu dujų debesyje atsiranda kosminis mazeris?

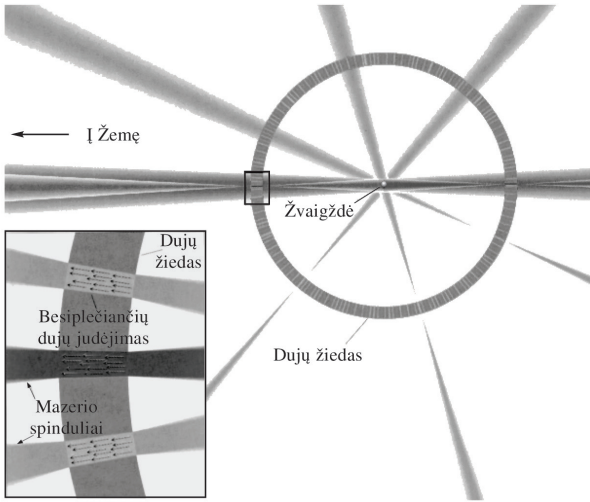
Užpildos apgražai susidaryti reikalingas ją sukuriantis energijos šaltinis. Kosminiai mazeriai dažniausiai veikia netoli senstančių žvaigždžių – raudonųjų milžinių. Tokioje žvaigždėje, gęstant ir vėl įsidedant branduolinėms reakcijoms, retkarčiais stipri smūginė banga nubloškia į erdvę išorinį žvaigždės sluoksnį. Šiame dideliu greičiu besiplečiančiame dujų žiede yra paprasčiausių molekulių. Svarbiausia – jos visos juda vienodu greičiu (kai molekulės juda įvairiais greičiais, jų spinduliuojamos šviesos dažniai šiek tiek skiriasi (prisiminkime Dopplerio efektą), tad vienos molekulės išspinduliuotas fotonas nebegali sukelti kitos sužadintosios molekulės priverstinio spinduliavimo).

Raudonoji milžinė skleidžia daug infraraudonųjų spindulių, kurie sužadina hidroksilo molekules. O užpildos apgražos, susidariusios retame dujų debesyje, nesuardo molekulių smūgiai, nes jos retai susiduria viena su kita.

Aišku, kosmose nėra veidrodžių, kurie prailgintų fotonų griūties kelią, betgi dujų debesies matmenys daug kartų viršija žemiškuosius atstumus, todėl, net esant labai retai medžiagai, yra įmanomas pakankamas stiprinimas. Stebima mazerio spinduliuotė sklinda maždaug iš 150 milijonų kilometrų dydžio srities (tai atitinka atstumą nuo Žemės iki Saulės).

Žemę pasiekia ne viso besiplečiančio žvaigždės apvalkalo – dujų žiedo – spinduliuotė, o sklindanti tik iš dviejų jo sričių (7.8 pav.). Viena iš tų sričių – judanti tiesiai į mus dujų žiedo dalis, antra – kitoje žvaigždės pusėje tolstanti sritis. Iš tikrųjų, daugelis stebimų mazerių yra išsidėstę poromis, iš

VII skyrius



7.8 pav. Kosminis mazeris susidaro besiplečiančiame dujų žiede, smūginės bangos išsviestame iš žvaigždės. Mazeris spinduliuoja visomis kryptimis, bet Žemę pasiekia radijo bangos tik iš dviejų žiedo sričių – artėjančios į Žemę ir tolstančios nuo jos.

kurių vienas tolsta nuo mūsų, o kitas – artėja į mus (tai galima nustatyti pagal Dopplerio efektą).

Kosminių mazerių buvo aptikta ir tarpžvaigždiniuose debesyse, kur formuojasi naujos žvaigždės. Čia taip pat sklinda smūginės bangos, o įsidedamos žvaigždės irgi skleidžia infraraudonuosius spindulius.

Kosminiai mazeriai suteikia įdomią galimybę tirti gėstančias ir gimstančias žvaigždes.

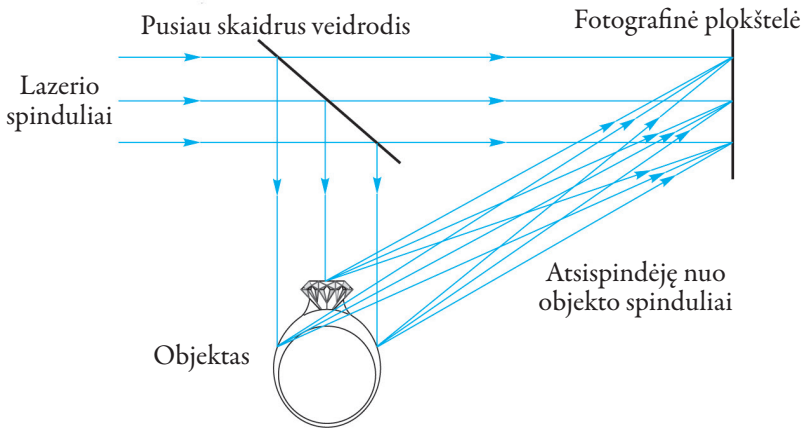


7.9 pav. Spiralinė galaktika M33, kurioje stebima daug kosminių mazerių.

HOLOGRAFIJA

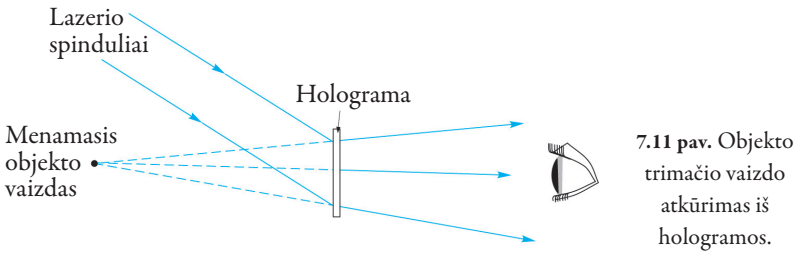
Lazeris leido įgyvendinti seną svajonę – užrašyti ir atkurti trimatį vaizdą. Skirtingai nuo anksčiau naudotos fotografinės plokštelės, kurioje būdavo užrašoma tik vaizdo projekcija į plokštumą, iš pirmo žvilgsnio panašioje hologramoje (gr. *holos* – visas) slypi trimatis nufotografuoto objekto vaizdas. Kaipgi įmanoma jį gauti?

Hologramos gavimo būdas nėra labai sudėtingas (7.10 pav.). Lazero spindulių pluoštelis išplečiamas ir pusiau skaidriu veidrodžiu yra padalijamas į du pluoštelius. Vienas iš jų krinta tiesiai į aukštos kokybės fotografinę plokštelę. Antrasis pluoštelis nukreipiamas į objektą ir, jo išsklaidytas, krinta į tą pačią plokštelę. Kadangi abiejų pluoštelių šviesos bangos yra iš vieno šaltinio, tai, joms užsiklojus, fotografinėje plokštelėje susidaro sudėtingas interferencinis vaizdas. Jame užfiksuotas objekto išsklaidytų bangų pokytis, palyginti su tiesiogiai į plokštelę krintančiomis bangomis. Hologramoje įrašoma visa informacija apie objekto išsklaidytas šviesos bangas (jų sklaidimo kryptį, amplitudę, fazę, bangos ilgį, poliarizaciją).



7.10 pav. Hologramos užrašymas. Lazero spindulių pluoštelis išskiriamas į du pluoštelius; vienas iš jų krinta tiesiai į fotografinę plokštelę, o kitas yra išsklaidomas fotografuojamo objekto ir taip pat krinta į plokštelę, sudarydamas kartu su pirmuoju pluošteliu interferencinį vaizdą.

VII skyrius



Aišku, išryškinius hologramą, joje neįmanoma, kaip įprastinėje nuotraukoje, įžiūrėti nufotografuoto objekto – matomas tik painus, abstrakcionistinis raštas. Vis dėlto tas raštas nėra atsitiktinis, tai užšifruotas daikto atvaizdas. Šifro raktas slypi toje pačioje lazerio šviesoje. Ja apšvietus hologramą, lazerio spinduliai yra išsklaidomi šviesių bei tamsių dėmelių rašto ir atkuriami spinduliai, atėję nuo objekto į hologramą tuo metu, kai buvo fotografuojama. Tokiu būdu ir susidaro trimatis daikto vaizdas (7.11 pav.). Jis matomas pro apšviestą hologramą tarsi pro langą. Pakreipus galvą, galima pažvelgti į objektą kiek kitu kampu, pavyzdžiui, pamatyti šone esančią detalę. Deja, ištiesus ranką, toje vietoje nieko neapčiuopiama.

Įdomu, kad, uždengę dalį hologramos, matysime tą patį vaizdą, tik jis bus ne toks ryškus: skirtingai negu įprastinėje fotografinėje plokštelėje, kiekvienoje mažoje hologramos dalyje slypi informacija apie visą vaizdą.

Holografinių nuotraukų seka sudarytų holografinį filmą. Vis dėlto dar būtina išspręsti kai kurias technologines problemas ir gerokai atpiginti hologramų gamybą, kad trimačiai vaizdai taptų mūsų gyvenimo kasdienybe.

ŠVIESOS IR SPALVŲ ŠOU

Naujus fizikų išrastus šviesos šaltinius ėmė plačiai naudoti menininkai, renginių organizatoriai. Galima sakyti, kad pastaraisiais dešimtmečiais meninė renginių raiška pasikeitė tiesiog neatpažįstamai. „Eurovizijos“, žiemos ir vasaros olimpinių žaidynių atidarymo bei uždarymo, kitų panašių renginių šviesos efektai žavi spalvų įvairove, vaizdų mastais, sparčia jų kaita. Švenčių metu nušvinta pastatų fasadai. Atsirado specialus pavadinimas

ŠIUOLAIKINĖ OPTIKA

šviesos ir spalvų šou. Netgi teatro spektaklių įprastines dekoracijas dažnai pakeičia vaizdų projekcijos. Nujos vizualinės priemonės pradėtos naudoti ir maldos namuose religinių apeigų metu.

Tiems šviesos efektams sukurti pasitelkiamos šiuolaikinės optikos priemonės: šviesos projektoriai, lazeriai, įvairiaspalvių šviestukų bei prožektorių sistemos. O juos visus valdo kompiuteris pagal sudarytą specialią programą. Šviesos efektai derinami su muzika.

Įvairiuose pasaulio miestuose rengiami šviesos festivaliai. Ta naujovė prigijo ir Vilniuje: nuo 2011 m. čia pradėtas organizuoti tarptautinis šviesų festivalis. Keletą metų šis renginys vyko vaizdingoje vietoje – ant Pilaitės piliakalnio ir prie jo esančioje dvarvietėje su tenykščiais vandens ir vėjo malūnais, tvenkiniais, upeliuku. Per dvi tris dienas Lietuvos ir kitų Europos šalių šviesos menininkai parengdavo kelias dešimtis švytinčių instaliacijų (medžiuose, tarp medžių, ant žemės, vandens); tam tekdavo nutiesti šimtus metrų elektros kabelių bei laidų. Šviesų fejerija prasidėdavo jau sutemus ir baigdavosi po vidurnakčio. Ji sutraukdavo minias žiūrovų, ne tik sostinės gyventojų, bet ir atvykusių iš kitur. Jie klaidžiodavo nuo vieno šviesos reginio prie kito, patys švytruodami čia pat įsigytais švytinčiais batais, kepurėmis ar lazdomis, o šventinę nuotaiką stiprino prie piliakalnio vykstantis koncertas. Fantastiški vaizdai tamsoje palikdavo neišdildomą įspūdį.



7.12 pav. Vienas iš įspūdingų reginių, sukurtas Šeštojo tarptautinio Vilniaus šviesų festivalio metu 2016 m. Įvairiomis spalvomis nušviestas Pilaitės piliakalnis ir tvenkinys.

Vėliau šviesų festivalis pradėtas rengti Vilniaus senamiestyje. Čia jis įgyja kitokio žavesio – įvairiomis spalvomis ir vaizdais sušvinta svarbiausi pastatai, istoriniai kiemai, skverai, Vilnios upė ir tiltai.

LAZERINIŲ TYRIMŲ CENTRAS VILNIAUS UNIVERSITETE

Kaip rašoma VI skyriuje, straipsnelyje „Šiuolaikinės eksperimentinės fizikos Lietuvoje pradininkas“, profesorius Povilo Brazdžiūno rūpesčiu XX a. septintojo dešimtmečio pradžioje keli Vilniaus universiteto studentai buvo nusiųsti į Maskvos universitetą studijuoti lazerių fizikos. Algis Piskarskas ir Evaldas Maldutis, ten baigę studijas, grįžo į Lietuvą, tęsė tos naujos krypties darbus ir, apgynę mokslų kandidato (dabar daktaro) disertacijas, įkūrė lazerių laboratorijas Vilniaus universitete ir Mokslų akademijos Puslaidininkių fizikos institute. Ypač nuosekliai ir sėkmingai lazerių fizika buvo plėtojama universitete, kur 1983 m. įkurtas Lazerinių tyrimų centras.

Dar studijų metais A. Piskarskas kartu su savo vadovu Sergejumi Achmanovu ėmėsi tyrinėti ką tik atrastą naują reiškinį – lazerio spinduliuotės parametrinę sklaidą (ji minima skyrelyje „Kvantinė ir netiesinė optika“) ir ją taikė spinduliuotės dažniui keisti. O savo disertacijoje A. Piskarskas pasiūlė naują parametrinio lazerio veikimo būdą, kuris leidžia gauti trumpus įvairaus dažnio impulsus. Tokių lazerių konstravimas, tyrimas ir taikymas tapo pagrindine Vilniaus universiteto lazeristų darbų kryptimi. Labai trumpais lazerio impulsais galima tirti labai sparčius procesus, vykstančius atskirose molekulėse ir ląstelėse. Lazerinių tyrimų centre buvo sukurti prietaisai, kurių dažnius galima keisti gana plačioje srityje, o jų impulsai trunka tik femtosekundes. 2014 m. čia pradėjo veikti 4 TW galios lazerinis kompleksas *Naglis*. Centre buvo pasiūlyta šviesos stiprinimo technologija, kuri pripažinta ir taikoma užsienio mokslo centruose.

Lazerinių tyrimų centro sėkmę nulėmė tiek pasirinkta perspektyvi tyrimų kryptis, tiek darbų kompleksškumas: čia kuriami ultrasparčiosios spektroskopijos metodai, konstruojami nauji prietaisai, lazeriai taikomi įvairioms praktinėms problemoms spręsti. Būtent universitete, kur susitelkę įvairių specialybių mokslininkai, yra lengviausia atlikti darbus kelių mokslų

ŠIUOLAIKINĖ OPTIKA

sandūroje. Stiprėjant bendradarbiavimui su chemikais ir medikais, centre atsirado lazerinės chemijos bei lazerinės medicinos grupės. Antra vertus, buvo imamasi ir taikomųjų problemų, svarbių Lietuvos ūkiui.

Sėkmingam moksliniam darbui būtini geri tarptautiniai ryšiai, taip pat ir galimybės jaunajai mokslininkų kartai tiesiogiai susipažinti su naujais kitų šalių mokslininkų rezultatais. Vilniaus universitete nuolat lankosi ir dirba kolegos iš įvairių užsienio šalių, o nemažai centro auklėtinių ir darbuotojų atlieka tyrimus užsienyje. Lazerinių tyrimų centras priklauso pagrindinių Europos lazerių mokslo centrų konsorciui *Laserlab-Europe*. Vilniuje kas trejetą metų organizuojamos tarptautinės jaunųjų mokslininkų mokyklos „Lazerių taikymas atomų, molekulių ir branduolio fizikoje“, keletą kartų vyko ir tarptautiniai simpoziumai „Ultraspartieji procesai spektroskopijoje“.

Dabar lazerių fizika – viena iš pagrindinių Lietuvos fizikos krypčių. Ji sėkmingai plėtojama ir Nacionaliniame fizinių ir technologijos mokslų centre. O susidarius glaudiems mokslo, studijų ir verslo ryšiams, Lietuvoje suklestėjo lazerių pramonė – svarbi aukštųjų technologijų kryptis. Lietuvos lazerių pramonė užima apie 10 proc. pasaulinės mokslinių lazerių rinkos.



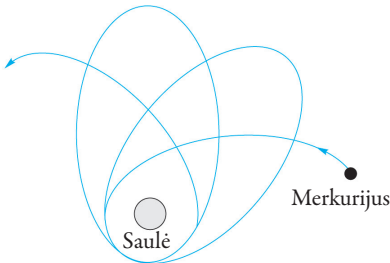
7.13 pav. Fizikai skirta 5 eurų lietuviška kolekcinė auksinė moneta. Joje pavaizduotas medžiagą veikiantis lazerio spindulys.

VIII

BENDROJI RELIATYVUMO TEORIJA IR KOSMOLOGIJA

Reliatyvumo teorijos sukūrimas. Pagal Newtono visuotinės traukos dėsnį, vienas kūnas patiria kito, net labai nutolusio kūno trauką akimirksniu (juk traukos jėga priklauso tik nuo sąveikaujančių kūnų masių ir atstumo tarp jų). A. Einsteinui įrodžius, kad joks fizinis poveikis, taigi ir trauka, negali sklirti greičiau už šviesą, tapo aišku, kad Newtono dėsnį reikia taisyti. Antra vertus, tos pataisos, bent jau Saulės sistemai, neturėjo būti reikšmingos. Juk astronomai, taikydami šį Newtono dėsnį dangaus kūnų judėjimui apskaičiuoti, gaudavo labai gerą sutapimą su stebėjimų duomenimis. Buvo tik vienas nepaaiškintas neatitikimas – artimiausios Saulei Merkurijaus planetos orbita sukosi aplink Saulę greičiau, negu turėtų sukstis dėl gretimų planetų poveikio (8.1 pav.).

Iš bendro dėsnio atskiras jo atvejis gaunamas vienareikšmiškai, betgi priešingas žingsnis – dėsnio apibendrinimas galimas įvairiais būdais. Kelią fizikui teoretikui nurodo nesutapimai su stebėjimais, o jų šiuo atveju beveik nebuvo. Vis dėlto A. Einsteinas, remdamasis savo genialia intuicija ir netgi estetiniais kriterijais, įstengė iš straublio galiuko atkurti dramblių – suformulavo bendrą visuotinės traukos teoriją, vadinamą bendrąja reliatyvumo teorija.



8.1 pav. Merkurijus skrieja aplink Saulę elipse, bet ta elipsė irgi sukasi aplink Saulę, tad Merkurijus juda sudėtinga trajektorija, primenančia rozetę (gėlės žiedo pavidalo ornamentas). Šį sudėtingą judėjimą tiksliai aprašė bendroji reliatyvumo teorija.

Bendrosios reliatyvumo teorijos idėjos. Bendroji reliatyvumo teorija naudoja sudėtingą matematinį aparatą, todėl čia nėra galimybės pateikti A. Einsteino gautos lygčių sistemos. Tad apsiribosime trumpa pažintimi su pagrindinėmis šios teorijos idėjomis.

Kaip žinome, kūno masė, kaip dydis, įeina į visuotinės traukos ir antrojo Newtono dėsnų išraiškas. Kuo didesnė kūno masė, tuo stipriau jis traukia kitus kūnus. Antra vertus, didesnės masės kūnas yra inertiškesnis – labiau priešinasi išoriniam poveikiui, keičiančiam kūno judėjimo greitį. Tiksliais eksperimentais buvo nustatyta, kad masė, esanti visuotinės traukos dėsnio išraiškoje (gravitacinė masė), lygi masei, kuri įeina į antrojo Newtono dėsnio formuluotę (inercinė masė). Būtent dėl tos lygybės Žemės traukos jėga vienodai pagreitina visus kūnus. Dirbtiniame Žemės palydove, nutrūkusiam lifte ar bet kokioje kitoje laisvai krantančioje atskaitos sistemoje visi daiktai krinta tokiu pat greičiu kaip ir sistema, todėl jie neslegia atramos ir, paleisti iš rankų, lieka kyboti toje pačioje vietoje, tarsi gravitacijos lauko nebūtų, – stebimas nesvarumas.

Anot A. Einsteino, gravitacinė ir inercinė masės yra ne tik lygios, bet ir ekvivalentiškos – tai pagrindinis bendrosios reliatyvumo teorijos principas. Fizikas, esantis laboratorijoje, kuri krinta su pagreičiu gravitacijos lauke, jokiais eksperimentais negali aptikti šio lauko egzistavimo. Vadinasi, gravitacijos lauką galima „išjungti“ nagrinėjant kūno judėjimą atskaitos sistemoje, judančioje su pagreičiu. Antra vertus, specialioji reliatyvumo teorija įrodė, kad erdvės ir laiko savybės priklauso nuo stebėtojo judėjimo greičio. Taigi gravitacijos laukas irgi turėtų keisti erdvės ir laiko savybes. Tokiu būdu A. Einsteinas palaipsniui priėjo prie išvados, kad masyvūs kūnai iškreivina aplinkinę erdvę ir tai pasireiškia kaip visuotinė kūnų trauka.

Iškreivinta tiesė yra kreivė, iškreivinta plokštuma (dvimatė erdvė) yra išgaubtas, įgaubtas ar kitoks kreivas paviršius. Įsivaizduoti iškreivintą trimatę (o tuo labiau – keturmatę) erdvę kur kas sunkiau, joje susikerta lygiagrečiosios tiesės, trikampio kampų suma tampa nelygi 180 laipsnių, o kūnas, judėdamas tiesiai pirmyn, gali sugrįžti į tą patį tašką. Plačiau apie tai rašoma atskirame straipsnyje „Kreiva erdvė“.

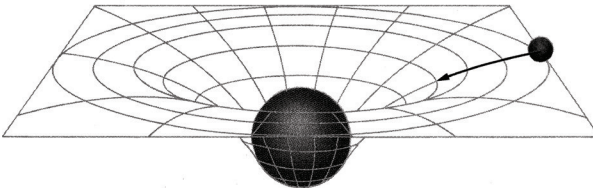
Kokiu būdu kūnas gali iškreivinti erdvę, vaizdžiai parodo tokia analogija: uždėjus ant ištempto elastingo audinio (dvimatė plokščia erdvė) svarelį,

audinys įdumba, t. y. dvimatė erdvė yra iškreivinama. Ant audinio esantis rutuliukas riedės link svarelio į susidariusią duobutę, tarsi svarelis trauktų jį (8.2 pav.). Analogiškai, masyvaus kūno sukeltas trimatės erdvės iškreivinimas pasireiškia kaip visuotinės traukos jėga.

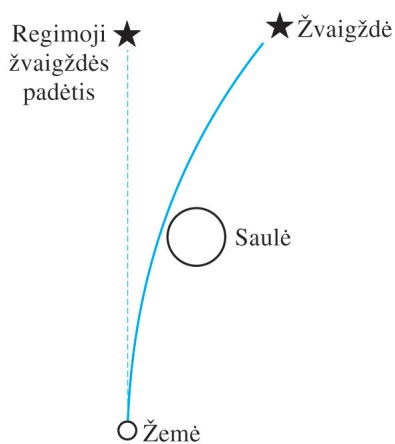
A. Einšteinas pavadino savo teoriją bendrąja reliatyvumo teorija, nes ji ne tik aprašo gravitaciją, bet ir apibendrina specialiąją reliatyvumo teoriją su pagreičiu judančioms atskaitos sistemoms bei atskleidžia naujas, su masyvių kūnų egzistavimu susijusias erdvės ir laiko savybes.

Bendroji reliatyvumo teorija tiksliai aprašė Merkurijaus orbitos kitimą. Vis dėlto nauja teorija būtų nedaug verta, jeigu ji tik paaškindytų žinomus reiškinius, bet neatkleistų naujų. Kadangi masyvūs kūnai iškreivina aplinkinę erdvę, tai žvaigždės šviesos spindulys, sklisdamas pro Saulę, turėtų nukrypti nuo tiesaus kelio. Šį efektą galima pastebėti tik visiško Saulės užtemimo metu – tuomet žvaigždės, matomos ties pačiu Saulės disko kraštu, turi atrodyti šiek tiek pasislinkusios (8.3 pav.). Britų astronomas Arthuras Eddingtonas (Artūras Edingtonas) 1919 m. surengė specialias ekspedicijas į Saulės užtemimo rajoną Brazilijoje ir Prinsipės salą netoli Afrikos. Tie stebėjimai patvirtino spindulio nuokrypį ir numatytą jo vertę.

Tačiau visuotinė trauka, arba gravitacija, palyginti su kitomis fundamentinėmis sąveikomis, yra daug silpnesnė, tad bendrosios reliatyvumo teorijos nebuvo galima visapusiškai ir dideliu tikslumu patikrinti stebint Saulės sistemą. Todėl keletą dešimtmečių buvo mėginama paneigti ar pataisyti šią neįprastą teoriją, siūlomi kitokie jos variantai. Tik atradus neutronines žvaigždes ir juodąsias skylės, kurios sukuria labai stiprius gravitacijos laukus,



8.2 pav. Masyvus svarelis, padėtas ant ištempto audinio (dvimatė plokščia erdvė), įlenkia jį, tad rutuliukas rieda į susidariusį įdubimą link svarelio.



8.3 pav. Žvaigždės šviesos spindulio nukrypimas, spinduliui sklindant pro Saulę.

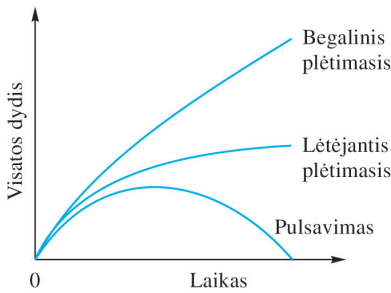
ši teorija buvo galutinai pripažinta. O 2016 m. pavyko užregistruoti ir jos numatytas gravitacines bangas.

Visatos modeliai. Praėjus metams po bendrosios reliatyvumo teorijos sukūrimo, A. Einšteinas 1917 m. ją pritaikė Visatai aprašyti. Jeigu tarp kosminių kūnų veikia tik visuotinė trauka, Visata turi keistis laikui bėgant. Vis dėlto mokslininkas nesiryžo atsisakyti įsigalėjusios nuomonės, kad Visata yra stacionari. Tad jis savo lygtyse pridėjo papildomą narį, atitinkantį nežinomos prigimties stūmos jėgą, kuri atsveria kūnų traukos jėgą. Tokiu būdu A. Einšteinas sukūrė uždaros, nekintamos Visatos modelį ir davė pradžią kosmologijai – mokslui, tiriančiam Visatą kaip visumą.

Kitą žingsnį žengė 1922 m. Aleksandras Fridmanas, rusų matematikas iš Petrogrado (iki tol taikęs matematinius metodus daugiausia meteorologijoje ir todėl beveik nežinomas fizikams). Susipažinęs su bendrąja reliatyvumo teorija, A. Fridmanas, nevaržomas pripažintų mokslo tiesų, ėmėsi matematiškai nagrinėti Visatos raidos galimybes.

Padaręs prielaidą, kad Visata dideliu mastu yra vienalytė (vienoduose milžiniškuose tūriuose yra vienodas galaktikų skaičius) ir izotropinė, A. Fridmanas įrodė, jog ji gali plėstis (panašiai kaip pripučiamas balionas) arba trauktis. Jeigu medžiagos tankis Visatoje yra pakankamai didelis, plėtimąsi, anot Fridmano, po

VIII skyrius



8.4 pav. Pagal bendrąją reliatyvumo teoriją, galimi įvairūs Visatos modeliai: ji gali pulsuoti (plėstis, o po to trauktis), plėstis be galo arba plėstis lėtėdama. Modelio tipas priklauso nuo medžiagos bei energijos tankio Visatoje ir joje veikiančių jėgų. Tik XX a. pabaigoje paaiškėjo, kad mūsų Visata plečiasi greitėdama, tad turėtų plėstis be galo.

kurio laiko pakeičia traukimas ir galop Visata susitraukia į labai mažą tūrį, matematinio požiūriu – į materialųjį tašką (8.4 pav.). Po to vėl galimas naujas plėtimasis. Šios išvados buvo tokios neįprastos, kad netgi A. Einšteinas jomis nepatikėjo ir įtarė A. Fridmaną padariusį klaidą. Vis dėlto, pats atlikęs skaičiavimus, Einšteinas pripažino nežinomo mokslininko gautų rezultatų teisingumą. Kitame straipsnyje Fridmanas teoriškai parodė, kad galimi ir du kitokie Visatos modeliai – bėgalinis plėtimasis ir lėtėjantis plėtimasis (8.4 pav.). Naudodamiesi bendrąja reliatyvumo teorija, įvairius Visatos modelius ėmė nagrinėti ir kiti mokslininkai.

Didysis sprogymas ir Visatos raida. Kokį modelį atitinka reali Visata, atsakyti galima tik remiantis astronominiais stebėjimais.

Astronomai, naudodamiesi Dopplerio efektu, geba nustatyti tolimų galaktikų greitį stebėjimo kryptimi. Jeigu galaktika tolsta nuo stebėtojo, tai registruojamas galaktikos šviesos dažnis sumažėja – spektro linijos pasislenka link raudonosios spektro srities. Jeigu galaktika artėja, jos šviesos dažnis, priešingai, padidėja ir spektro linijos pasislenka link violetinės spektro srities. Dar prieš A. Einsteino ir A. Fridmano atradimus astronomai buvo pastebėję, kad kitų galaktikų šviesa linkusi paraudonėti, bet tie matavimai nebuvo labai tikslūs ir apie juos nežinojo kosmologijos kūrėjai.

1929 m. amerikiečių astronomas Edwinas Hubble'as (Edvinas Hablas), apibendrinamas naujus stebėjimų duomenis (8.5 pav.), nustatė paprastą dėsnį – kuo toliau nuo mūsų yra galaktika, tuo didesniu greičiu ji tolsta:

$$v = Hl;$$

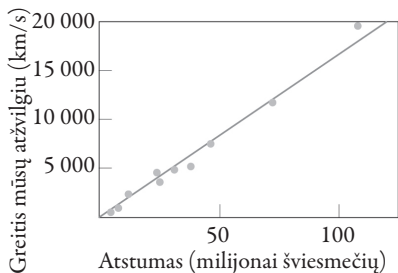
BENDROJI RELIATYVUMO TEORIJA IR KOSMOLOGIJA

čia v – galaktikos tolimo greitis stebėjimo kryptimi, H – konstanta, kuri buvo pavadinta Hubble konstanta, o l yra atstumas nuo stebėtojo iki galaktikos.

Dar 1927 m. belgų astronomas Georges’as Lemaître’as (Žoržas Lemetras) tolstančių galaktikų vaizdą paaiškino Visatos plėtimusi ir iškėlė hipotezę, kad kadaise Visata atsirado sproguis „pirmapradžiam atomui“, arba „kosminiam kiaušiniui“. Tą Didžiojo sprogo hipotezę 1946–1948 m. pagrindė JAV fizikas George’as Gamowas (Džordžas Gamovas), remdamasis bendrąja reliatyvumo teorija ir elementariųjų dalelių fizika. Vėliau, daugelio mokslininkų pastangomis, Didžiojo sprogo hipotezė virto nuoseklia, stebėjimais paremta teorija.

Taikant bendrąją reliatyvumo teoriją ankstyvosios Visatos raidai aprašyti, gaunama, kad, Visata atsirado iš pirminio singulariumo – begalinio tankio materialiojo taško. Deja, esant labai mažiems atstumams, ši teorija nustoja galiojusi, nes neatsižvelgia į kvantinius efektus. Tad atsakyti į klausimus, kokia buvo pradinė Visatos būseną ir kodėl įvyko Didysis sprogimas, turėtų dar bendresnė fizikos teorija, kurią tik mėginama kurti.

Taigi Visatos raida daugiau ar mažiau tiksliai yra aprašyta tik nuo 10^{-43} sekundės po Didžiojo sprogo. Trumpai ją galima apibūdinti taip. Netrukus po sprogo mažytę sekundės dalį vyko labai greitas Visatos plėtimasis – kosminė infliacija. Jai pasibaigus, bet Visatai toliau plečiantis bei vėstant, atsirasdavo ir išnykdavo įvairių elementariųjų dalelių, jos anihiliuodavo su antidalelėmis. Kažkodėl antidalelių susidarydavo truputį mažiau negu dalelių, tad galop liko tik dalelės. Apie dvidešimt minučių vyko branduolinės reakcijos, kurių metu atsirado šiek tiek helio branduolių.



8.5 pav. E. Hubble nustatytas tiesinis ryšys tarp galaktikos greičio mūsų atžvilgiu ir atstumo iki jos (paveikslėlis iš originalaus E. Hubble straipsnio).

VIII skyrius

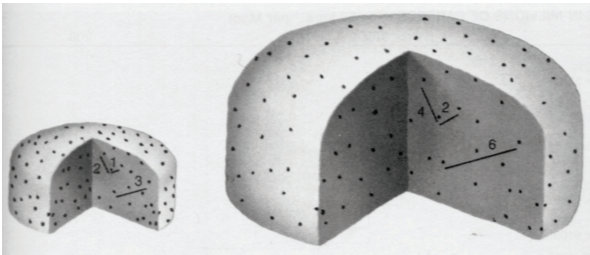
Praėjus maždaug keturiems šimtams tūkstančių metų po Didžiojo sprogo, vandenilio bei helio branduoliai prisijungė elektronus ir susidarė atomai. Dėl mažųjų kvantinės prigimties tankio nevienalytiškumų, atsiradusių tuoj po Didžiojo sprogo ir padidėjusių infliacijos metu, palaipsniui susiformavo dujų debesys, o vėliau pastarieji virto galaktikomis ir jų spiečiais. Ankstyvosios Visatos istorija plačiau aptariama straipsnyje „Pirmosios dvidešimt minučių“, o apie jos makrostruktūrą rašoma IX skyriuje.

Visatos plėtimąsi vaizdžiai iliustruoja kylančios pyrago tešlos su razinomis pavyzdys (8.6 pav.). Mūsų Galaktika, aišku, neužima išskirtinės vietos, toks pat Visatos plėtimosi vaizdas matomas iš bet kurios kitos galaktikos.

Dydis, atvirkštinis Hubble konstantai H , turi laiko dimensiją ir, padarius prielaidą, kad Visatos plėtimasis vyko pagal Hubble dėsnį esant pastoviai konstantos vertei, apytiksliai atitinka Visatos amžių. O tikslesnė jo vertė – $13,80 \pm 0,02$ milijardo metų – nustatoma atsižvelgiant į greitėjantį Visatos plėtimąsi.

1965 m. buvo aptikta kosminė foninė spinduliuotė – fotonai, išlikę iš to laikotarpio, kai Visata pasidarė skaidri šviesai (tai įvyko protonams bei helio branduoliams prisijungus elektronus ir susidarius atomams). Tos spinduliuotės tyrimai teikia svarbios informacijos apie ankstyvąją Visatą.

Kokia bus Visatos ateitis – ar ji plės be galo, ar tas plėtimasis lėtės ir Visata liks baigtinio dydžio, ar po kurio laiko ji pradės trauktis? Dvi astronomų grupės, ieškodamos atsakymo į tą klausimą, XX a. pabaigoje visą dešimtmetį stebėjo tolimiausius objektus, kurių standartinis šviesis yra žinomas (sprogstančias baltąsias nykštukes dvinarėse sistemose, minimas



8.6 pav. Kylant pyrago tešlai, kiekviena razina tolsta nuo bet kurios kitos razinos. Panašiai plečiasi ir Visata.

X skyriuje, skyrelyje „Audringa ir keista masyvių žvaigždžių raida“). Abi grupės nepriklausomai viena nuo kitos nustatė, kad Visatos plėtimasis greitėja (ir turėtų tęstis be galo).

Visuotinė trauka tarp kosminių kūnų stabdo plėtimąsi, vadinasi, turi veikti dar kažkokia mums nežinoma stūmos jėga (taigi į bendrosios reliatyvumo teorijos lygtis tenka grąžinti A. Einsteino pridėtą kosmologinę konstantą, kurios vėliau jis buvo pats atsisakęs). Su ta neaiškios prigimties jėga susijusi energija buvo pavadinta tamsiąja energija.

Kitas esminis XX a. antroje pusėje padarytas atradimas: Visatoje, be mums žinomos įprastinės medžiagos, iš kurios sudarytos žvaigždės ir kosminiai debesys, egzistuoja ir nežinomos prigimties tamsioji medžiaga. Ji nėra stebima jokiais elektromagnetinėmis bangomis, bet jos telkiniai galaktikų viduje bei aplinkui jas aptinkami iš tamsiosios medžiagos gravitacinio poveikio įprastinei medžiagai. (Plačiau apie tai rašoma straipsnelyje „Tamsioji medžiaga ir tamsioji energija“.)

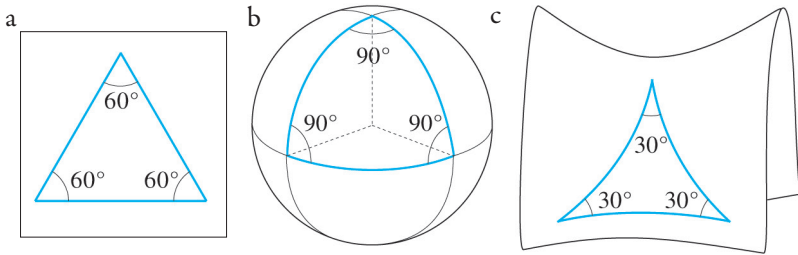
Mokslas kol kas negali atsakyti ir į klausimus apie Visatos kilmę: Kas sukėlė Didįjį sproginimą? Kokia Visata buvo tuoj po sproginimo? Labai mažais atstumais yra svarbūs kvantiniai efektai, o bendroji reliatyvumo teorija į juos neatsižvelgia. Reikėtų ją susieti su kvantine mechanika, bet tai, matyt, viena iš sunkiausiai išsprendžiamų XXI amžiaus fizikos problemų.

KREIVA ERDVĖ

Įsivaizduokime, kad egzistuoja dvimatės būtybės – atgiję knygos paveikslėliai ar kino juostos herojai. Tarp jų yra dvimačių fizikų, kurie aiškinasi juos supančio pasaulio savybes.

Paprasčiausia dvimatė erdvė – tai begalinė plokštuma. Joje galioja kadaise Euklido suformuluota geometrija, kurios mokomės vidurinėje mokykloje: lygiagrečiosios tiesės nesusikerta, trikampio kampų suma lygi 180 laipsnių ir t. t. Tokia erdvė vadinama euklidine (plokščia) (8.7 pav., a). Dvymatis pasaulis gali būti ir kitoks. Paprasčiausia uždara dvimatė erdvė – rutulio paviršius (8.7 pav., b). Ši erdvė baigtinė, nors ir neturi ribų: judant tiesiai pirmyn, po kurio laiko sugrįžtama į tą patį tašką. Laikantis įprastinio apibrėžimo, kad tiesė yra trumpiausia linija tarp dviejų taškų, rutulio paviršiuje tiesės bus

VIII skyrius



8.7 pav. Dvimatė euklidinė (plokščia) erdvė – plokštuma (a) ir neeuklidinės (kreivos) erdvės: rutulio paviršius (b), balno paviršius (c). Trikampio kampų suma lygi 180° euklidinėje erdvėje, bet yra didesnė už 180° rutulio paviršiuje ir mažesnė už 180° balno paviršiuje.

apskritimo lankai. Taigi čia neįmanoma išvesti dviejų lygiagrečių tiesių; o du keliautojai, einantys iš skirtingų pusiaujų taškų tiesiai į šiaurę, suartėja, tarsi juos trauktų kažkokia jėga. Rutulio paviršiuje nubrėžto trikampio kampų suma yra didesnė už 180 laipsnių. Galimos ir kitokios kreivos dvimatės erdvės (euklidinė erdvė yra vienintelė, o kreivų erdvių gali būti daugybė). Antai balno paviršiaus (neigiamojo kreivio) erdvėje (8.7 pav., c) trikampio kampų suma pasidaro mažesnė už 180 laipsnių, o lygiagrečiosios tiesės čia linkusios išsiskirti.

Kreivą dvimatę erdvę matematiškai apibendrinti trimačiam ir net n -mačiam atvejui nėra sudėtinga. Deja, žmogaus vaizduotei toks minties šuolis yra sunkiai įveikiamas. O ko negalime įsivaizduoti, to dažniausiai nenorime pripažinti.

Dar XIX a. matematikai – vokietis Carlas Friedrichas Gaussas (Karlus Frydrichas Gausas), vengras Jánosas Bolyai (Janošas Boljajis) ir rusas Nikolajus Lobačevskis – nepriklausomai vienas nuo kito padarė išvadą, kad galimos erdvės, kuriose negalioja Euklido geometrija. Bendrą tokių erdvių aprašymą išplėtojo C. F. Gausso tėvynainis Bernhardas Riemannas (Bernhardas Rymanas). Tačiau net matematikams, pripratusiems prie keistų abstrakčių objektų, kreivos erdvės atrodo gryna fantazija, nepritaikoma realiam pasauliui aprašyti (pats N. Lobačevskis savo veikalą pavadino *Voobražiamąja geometrija* („Įsivaizduojamoji geometrija“)). Taigi

A. Einšteinas, kurdamas bendrąją reliatyvumo teoriją, galėjo pasinaudoti jau suformuluota neeuklidine geometrija.

Gali kilti klausimas, kodėl mokslininkai tiek laiko, nepastebėjo, kad erdvė mūsų aplinkoje yra kreiva? Anot reliatyvumo teorijos, – kuo masyvesnis kūnas, tuo jis labiau iškreivina aplinkinę erdvę. Tačiau Žemės paviršiuje trikampio, kurio kraštinė yra 10 km, kampų suma skiriasi nuo 180 laipsnių tik 10^{-9} kampinės sekundės dalimi. Netgi prie pačios Saulės erdvė yra beveik euklidinė. Tačiau XX a. buvo atrasti itin mažų matmenų masyvūs kūnai – neutroninės žvaigždės ir juodosios skylės, kurių aplinkoje erdvės kreivis yra didelis ir lemia esmines šių objektų savybes (apie juos rašoma X skyriuje). Verta dar kartą pabrėžti, kad masyvūs kūnai keičia ir laiko tėkmę – jų aplinkoje laikas sulėtėja.

Astrofizikai geba įvertinti Visatos masę, o tai leidžia apskaičiuoti jos kreivį. Jis gaunamas artimas nuliui, taigi Visata dideliais atstumais yra beveik euklidinė (išimtis – minėtų masyvių kūnų aplinka).

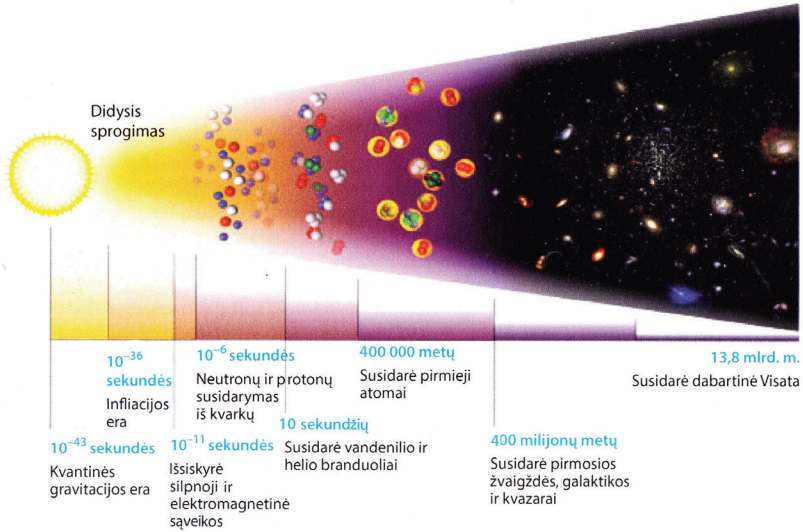
PIRMOSIOS DVIDEŠIMT MINUČIŲ

Remdamiesi bendrąja reliatyvumo teorija ir elementariųjų dalelių teorija, fizikai modeliuoja Visatos raidą netgi praėjus tik mažytėms sekundės dalims po Didžiojo sprogo. Aišku, tai sunkiau, negu archeologui iš radinių atkurti senovės civilizacijos istoriją, nors, antra vertus, pirminis plazmos kamuolys, sudarytas tik iš elementariųjų dalelių, yra paprastesnis objektas negu primityviausia civilizacija. O vietoj archeologinių radinių fizikai remiasi stebimomis Visatos savybėmis, kurios turi sutapti su išplaukiančiomis iš teorinio modelio. Toli gražu dar ne visa ankstyvosios Visatos raida, jos ypatybės yra atskleistos; čia apžvelgsime šiuo metu priimtą požiūrį.

Kaip minėta, bendroji reliatyvumo teorija negalioja pradinei Visatos būsenai ir pirmajam Visatos gyvavimo mirksniui iki 10^{-43} s (iki vadinamojo Plancko laiko). Tad ankstyvosios Visatos raida pradeda nagrinėti nuo šio momento (8.8 pav.). Tuo metu Visata buvo neįsivaizduojamai tanki (10^{96} kg/m³) ir įkaitusi iki nepaprastai aukštos temperatūros (10^{32} K).

Iš pradžių Visata plėtėsi vienodai visomis kryptimis ir joje veikė viena pirminė fundamentinė sąveika. Tačiau labai greitai iš jos atsiskyrė gravitacija,

VIII skyrius



8.8 pav. Visatos raida po Didžiojo sproginimo.

o po to ir stiprioji sąveika. Manoma, kad pastarasis virsmas, įvykęs praėjus vos 10^{-36} s po Didžiojo sproginimo, sukėlė nepaprastai spartų Visatos plėtimąsi, kuris vadinamas kosmine infliacija. Ji truko tik 10^{-33} s, bet lėmė dvi svarbias Visatos savybes: artimą nuliui erdvės kreivį ir pradinius nevienalytiškumus (jie tapo Visatos struktūros užuomazgomis, dėl to vėliau galėjo susidaryti galaktikos ir jų spiečiai).

Pasibaigus infliacijai, Visatą sudarė nepaprastai tanki bei karšta kvarkų ir gliuonų, gal ir kitų dalelių plazma. Joms dideliu greičiu susiduriant, susikurdavo dalelių ir antidalelių poros. Dėl neaiškios priežasties dalelių atsiradavo truputį daugiau. Dalelių energijoms mažėjant, elektrosilpnoji sąveika pasidalijo į silpnąją ir elektromagnetinę sąveikas. Praėjus maždaug 10^{-6} s, kvarkai ėmė jungtis į neutronus ir protonus bei jų antidaleles. Dar pažemėjus temperatūrai, dalelių ir antidalelių poros nebegalėjo susidaryti, tad vyravo jų anihiliacija. Jos metu atsirado daug fotonų, kurie nuolat sąveikavo su elektronais. O dėl minėto dalelių pertekliaus antidalelių Visatoje po vienos sekundės beveik nebeliko.

BENDROJI RELIATYVUMO TEORIJA IR KOSMOLOGIJA

Laikotarpiu nuo 10 sekundžių iki 20 minučių vyko atomų branduolių sintezė: neutronai ir protonai jungėsi į vandenilio izotopų branduolius, vėliau šie – į helio branduolius. Tos branduolinės reakcijos truko trumpai, nes, sumažėjus plazmos tankiui ir temperatūrai, jos tęstis nebegalėjo. Tačiau būtent tas laikotarpis nulėmė vandenilio ir helio vyravimą Visatoje: helio susidarė apie 25 proc., o vandenilio liko apie 75 proc. (visų atomų masės). O kitų lengvųjų cheminių elementų suspėjo susidaryti labai mažai. (Didesnis jų kiekis atsirado vėliau žvaigždžių gelmėse, o dar sunkesnių elementų – supernovos sprogo metu bei susijungiant dviem neutroninėms žvaigždėms.) Tad dabar Visatoje yra 74 proc. vandenilio, 24 proc. helio, ir tik 2 proc. – visų kitų cheminių elementų. Matyt, ankstyvojoje Visatoje susidarė ir paslaptinga tamsioji medžiaga, kurios yra gerokai daugiau negu įprastinės medžiagos (žr. straipsnelį „Tamsioji medžiaga ir tamsioji energija“). Tačiau, kol nėra atskleista tamsiosios medžiagos prigimtis, neįmanoma nustatyti ir jos atsiradimo priežasčių bei įtakos Visatos struktūrai.

Tolesnė Visatos raida vyko vis lėčiau. Tik praėjus maždaug keturiems šimtams tūkstančių metų, plazmos kamuolys atvėso tiek, kad atomų branduoliai prisijungė elektronus ir susidarė atomai. Nelikus laisvųjų elektronų, kurie nuolat sąveikavo su fotonais, Visata pasidarė skaidri šviesai ir spinduliuotė atsiskyrė nuo medžiagos. Tos iki šiol išlikusios (reliktinės) kosminės foninės spinduliuotės tyrimai teikia svarbios informacijos apie ankstyvąją Visatą.

Apie Visatos makrostruktūros formavimąsi, galaktikų, jų spiečių bei superspiečių ir žvaigždžių susidarymą rašoma tolesniuose skyriuose.

Beje, yra iškelta įdomi hipotezė, kad Didžiojo sprogo metu atsirado ne tik Visata, bet ir Antivisata. Pastaroji sudaryta iš antimedžiagos ir juda plėsdamasi laiku atgal. Tokiu atveju Didžiajam sprogimui, kaip bet kokiam fizikiniam procesui, galiotų bendras simetrijos principas (CPT simetrija): laiko krypties, erdvės inversijos ir dalelių antidalelėmis pakeitimas. Tačiau toks modelis stokoja teorinio pagrindimo.

RYŠYS TARP MIKROPASAULIO IR MEGAPASAULIO

Daug mažesnės už atomą elementariosios dalelės ir milijardus šviesmečių nusidriekusi dabartinė Visata. Kas bendro gali būti tarp šių priešybių? Regis,

jos turėtų paklusti skirtingiems dėsniams, kuriuos lemia skirtingos fundamentinės konstantos ir dydžiai. Vis dėlto priešybės susieina ne tik gyvenime, bet ir moksle.

Visų pirma, visi mus supančio pasaulio objektai yra sudaryti iš atomų ir elementariųjų dalelių. Aišku, keičiantis mastui, tampa svarbūs ir kiti gamtos dėsniai, kiekybė virsta nauja kokybe; pavyzdžiui, žmogaus ar netgi bakterijos biologinių savybių negalima tiesiogiai susieti su juos sudarančių dalelių savybėmis. Tačiau kai kurie dideli, netgi milžiniški, kūnai turi santykinai paprastą sandarą, o esminės jų savybės priklauso nuo mikrodalelių savybių. Antai maksimalus kalno aukštis Žemėje – beveik dešimt kilometrų – yra nulemtas atomų sąveikos jėgų ir gali būti išreikštas protono mase, gravitacijos konstanta bei atomų ryšio energija. Žvaigždės, nepaisant jų dydžio, irgi turi gana paprastą sandarą, tad kai kurios jų charakteristikos gali būti išreikštos jas sudarančių stabilių elementariųjų dalelių protono ir elektrono masėmis bei kitomis fundamentinėmis konstantomis.

Tuoju po Didžiojo sproginimo pati Visata buvo mikroobjektas. Didysis sproginimas, matyt, nulėmė elementariųjų dalelių savybes ir fundamentines sąveikas. Antra vertus, tolesnė Visatos raida priklausė nuo susidariusių elementariųjų dalelių; būtent todėl, remiantis elementariųjų dalelių fizika, yra įmanoma rekonstruoti netgi ankstyvosios Visatos istoriją. O dabartinės Visatos struktūrai (neatsižvelgiant į tamsiąją medžiagą ir tamsiąją energiją) paaiškinti užtenka tik pirmosios fundamentaliųjų dalelių kartos. Taigi mikropasaulis ir megapasaulis yra labai glaudžiai susiję.

Jeigu elementariųjų dalelių savybės būtų kiek kitokios, iš esmės pasikeistų ir Visatos vaizdas. Neutrono masė yra didesnė negu protono ir elektrono masių suma. Jeigu neutronas būtų vos dešimtąją procento dalimi lengvesnis, tuomet protonas taptų nestabilia dalele (sąveikaudamas su elektronu, virstų neutronu). Dėl tos priežasties atomai ir cheminiai elementai neegzistuotų, būtų susidariusios tik labai tankios neutroninės žvaigždės, susidedančios vien iš neutronų.

Panašių ryšių tarp elementariųjų dalelių savybių ir Visatos savybių mokslininkai nustatė gana daug. Tad kosmologijos specialistams reikia gerai išmanyti ne tik savo sritį, bet ir elementariųjų dalelių fiziką, o šios srities mokslininkai ne tik domisi astrofizika, bet ir sprendžia jos problemas. Tokie žymūs mokslininkai, kaip Vitalijus Ginzburgas, Andrejus Sacharovas,

Stevenas Weinbergas, Jakovas Zeldovičius ir kiti, garsėjo atradimais abiejose, iš pirmo žvilgsnio labai skirtingose fizikos srityse.

TAMSIOJI MEDŽIAGA IR TAMSIOJI ENERGIJA

Olandų astronomas Jacobusas Kapteynas (Jakobas Kapteinas), tirdamas žvaigždžių sukima aplink mūsų Galaktikos centrą, 1922 m. įvertino, kad didžiąją Galaktikos masės dalį sudaro ne žvaigždės, o nematoma „tamsioji medžiaga“. Tačiau jis taip vadino žinomą nešviečiančią medžiagą – tarpžvaigždines dujas, neįsidegusias ar jau užgesusias žvaigždes – ir manė, kad tos medžiagos kiekio pakanka trūkstantai masei paaiškinti.

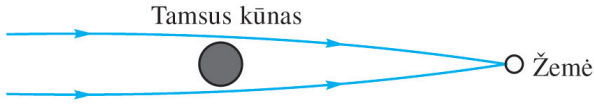
Po dešimtmečio JAV astronomas Fritzas Zwicky (Fricas Cvikis), tirdamas galaktikų spiečių, matomą Berenikės Garbanų žvaigždyne, nustatė, kad tos galaktikos juda dideliu greičiu skirtingomis kryptimis. Jis padarė išvadą, kad galaktikų masės turėtų būti daug kartų didesnės negu į jas įeinančių žvaigždžių ir tarpžvaigždinės medžiagos masės, antraip galaktikų spiečius gana greitai išsiskirstytų kosminėje erdvėje. F. Zwicky spėjo, kad egzistuoja dar nežinomos prigimties „tamsioji medžiaga“, taigi suteikė tai sąvokai naują prasmę.

Iš tikrųjų, galaktikos paprastai sudaro grupes ir spiečius (apie tai plačiau rašoma IX skyriuje). Vėlesni jų tyrimai patvirtino F. Zwicky gautą rezultatą: tik hipotetinė tamsioji medžiaga gali užtikrinti galaktikų spiečių stabilumą.

Sistemingi žvaigždžių greičio galaktikose matavimai įrodė tamsiosios medžiagos egzistavimą ir galaktikų viduje. O mažų galaktikėlių, besisukančių aplink galaktikas, judėjimas liudija, kad jas supa gana toli nusitęsiantys nematomi vainikai (halai). Aplink galaktikų spiečius irgi buvo aptikta tamsiosios medžiagos telkinių. Jie tarsi gravitaciniai lęšiai laužia tolimų objektų spindulius (8.9 pav.), ir vietoj vieno kvazaro ar galaktikos kartais matomi du visiškai vienodi objektai. Tie ir kiti duomenys neabejotinai įrodo tamsiosios medžiagos egzistavimą, netgi leidžia apskaičiuoti jos kiekį, kuris keletą kartų viršija įprastinės medžiagos kiekį Visatoje. Tačiau pati tamsioji medžiaga nėra stebima, nes ji nešviečia ir neskleidžia jokių elektromagnetinių bangų, o ją aptikti galima tik iš gravitacinio jos poveikio.

Taigi tamsioji medžiaga gali būti greta mūsų, netgi žmogaus kūne, o jis to neįjunta. Buvo svarstoma, gal iš tos medžiagos yra susidaręs nestebimas

VIII skyrius



8.9 pav. Nematomas masyvus kosminis kūnas gali, tarsi lęšis, fokusuoti už jo esančios žvaigždės šviesą.

sudėtingas pasaulis. Vis dėlto, veikiant tik vienai fundamentinei jėgai, tai nebūtų įmanoma. Tamsioji medžiaga turėjo atsirasti po Didžiojo sprogo ir ją, matyt, sudaro mums dar nežinomos masyvios elementariosios dalelės. Mokslininkai įvairiais būdais siekia atskleisti tos medžiagos prigimtį, todėl tikėtina, kad artimiausią dešimtmetį jos mįslė bus išspręsta.

Tačiau įrodžius, kad Visata plečiasi greitėdama, iškilo dar sudėtingesnė problema – tamsiosios energijos egzistavimas. Apie ją žinoma dar mažiau negu apie tamsiąją medžiagą. Nustatyta tik, kad ta energija yra pasiskirsčiusi tolygiai visoje Visatos erdvėje. Viena iš hipotezių teigia, kad tamsioji energija yra susijusi su vakuumu ir tai jo sąveikos su įprastine medžiaga energija.

Remdamiesi įvairiais kosmologiniais duomenimis, mokslininkai įrodė, kad tik 5 proc. stebimosios Visatos masės sudaro įprastinė medžiaga, o 27 proc. – tamsioji medžiaga ir net 68 proc. – tamsioji energija. Taigi mes gyvename pasaulyje, kurio tik maža dalis dar yra pažinta.

ANTROPINIS PRINCIPAS

Tyrinėdami Visatą, mokslininkai įžvelgė stebinančią dėsningumą: jos savybės ir raidos ypatumai yra ypač palankūs gyvybei Žemėje atsirasti ir vystytis iki aukščiausios jos formos – protingų būtybių.

Tam yra reikalingos ypatingos sąlygos: cheminių elementų įvairovė, anglies, kaip pagrindinės organinių molekulių sudedamosios dalies, pakankama gausa, tam tikra mažai kintanti aplinka ir temperatūra, skysto pavidalo vanduo. Tokioms sąlygoms atsirasti būtina, kad Visatos raidoje susidarytų atomai, susiformuotų masyvios žvaigždės, kuriose vyktų sunkesnių cheminių elementų sintezė, vėlesnių kartų ilgaamžės žvaigždės turėtų planetas...

Kaip jau buvo minėta, Visatos raidą lemia jos masė, elementariųjų dalelių savybės ir fundamentinės sąveikos.

BENDROJI RELIATYVUMO TEORIJA IR KOSMOLOGIJA

Jeigu Visatos tankis būtų gerokai mažesnis už esamą tankį, tai gravitacijos jėga negalėtų įveikti po Didžiojo sprogo išlakstančios medžiagos inercijos, tad galaktikos bei žvaigždės negalėtų susidaryti. Priešingai, jeigu tankis būtų gerokai didesnis už esamą, žvaigždės susidarytų, bet Visatos amžius taptų pernelyg trumpas gyvybei išsivystyti, juk net paprasčiausiems organizmams Žemėje atsirasti prirėkė 600 milijonų metų.

Kaip rašoma straiptelyje „Ryšys tarp mikropasaulio ir megapasaulio“, jeigu kai kurių elementariųjų dalelių savybės būtų truputį kitokios, nebūtų galėję susidaryti atomai ar prasidėti branduolių sintezė žvaigždėse. Jeigu gravitacijos jėga būtų stipresnė, sutrumpėtų žvaigždžių amžius ir jo nebepakaktų sunkesnių cheminių elementų sintezei.

Taigi Visata turėjo nueiti gana siaurą raidos kelią šių ir kitų apribojimų labirintu, kad mes galėtume egzistuoti. O juk paprastai iš daugelio variantų realizuojasi ne pats optimaliausias.

Mokslininkai savo nuostabą išreiškė suformulavę filosofinį principą, kuris vadinamas antropiniu principu (gr. *anthropos* – žmogus): „Visatos raida buvo ypač palanki gyvybei išsivystyti ir protingoms būtybėms atsirasti.“

O kai kurie mokslininkai, norintys iš karto atsakyti į svarbiausią klausimą, kodėl pasaulis yra sudarytas taip, o ne kitaip, formuluoja antropinį principą dar kategoriškiau: „Visata yra tokia, kokia yra, nes kitaip nebūtų stebėtojo, kuris galėtų tą Visatą matyti bei apie ją mąstyti ir iškelti šį klausimą.“

Galimą antropinio principo pagrindimą pateikė kosminės infliacijos teorija. Staigus Visatos plėtimosi metu galėjo susidaryti daug visatų (multi-visata), turinčių įvairias savybes, aprašomų skirtingais dėsniais. Gyvybei palankios tik kai kurios iš tų visatų, tarp jų yra ir mūsų.

Deja, daugelio visatų idėja paneigia galimybę paaiškinti mūsų Visatos savybes remiantis kuriama Visko teorija – bendriausiais fizikos dėsniais. Vadinasi, iš tokios teorijos negali išplaukti tik vienos unikalios visatos egzistavimas. Tad išeitų, jog mūsų Visatos atsiradimą lėmė ne griežti dėsniai, o atsitiktinumas.

ETNOKOSMOLOGIJA

Kosmologija, kaip pasaulio kilmės, sandaros ir raidos samprata, egzistavo nuo seniausių laikų, nors mokslu ji tapo tik XX a. Žmogui būdingas noras suvokti

pasaulio visumą, jo atsiradimą, tad įvairios tautos, remdamosi stebėjimais, bet labiau – analogijomis ir fantazija, turėjo susidariusios tam tikrą pasaulio vaizdinį. Jis buvo išreiškiamas sakmėmis ir mitais, veikė liaudies meną, tradicijas ir papročius. Šias savitas atskirų tautų kosmologijas, susijusias su pirmykštėmis religijomis, gerokai apnaikino ir transformavo įsigalėjusios pasaulinės religijos. Liaudies kosmologijos, arba etnokosmologijos, elementų užsiliko liaudies mene, papročiuose, tautosakoje, jie virto įprastiniais simboliais, tikroji jų prasmė primiršta. Dar vieną, galutinį smūgį etnokosmologijai sudavė šiuolaikinė civilizacija, kuri įgavo visuotinį pobūdį ir pakirto įvairias liaudies tradicijas.

Lietuvių tauta, ilgiau negu daugelis Europos tautų, išsaugojo savo etnokosmologijos elementus – net iki XX a. vidurio kai kuriose Lietuvos vietovėse buvo galima išgirsti iš kartos į kartą perduodamų sakmių apie pasaulio kilmę. Iš sakmių, dainų ir mįslių, taip pat iš liaudies papročių, tradicijų ir meno rekonstruoti senovės lietuvių Visatos modelį pamėgino etnografe Pranė Dundulienė knygelėje „Lietuvių liaudies kosmologija“. Tas mūsų paveldas vaizdžiai pristatytas Lietuvos etnokosmologijos muziejuje, kuris veikia šalia Molėtų astronomijos observatorijos.

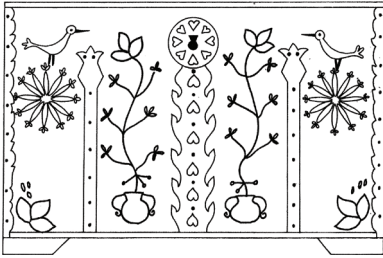
Čia tik trumpai apžvelgsime, kaip pasaulį įsivaizdavo senovės lietuviai.

Liaudies kosmologijoje, aišku, nerasime užuominos, kad pasaulis atsirado po sprogimo. Pradinė pasaulio būseną paprastai siejama su netvarka, tamsa, miglomis ir dumblynais.

Lietuviai, kaip ir kitos tautos, darnaus pasaulio atsiradimą dažniausiai kildino iš kiaušinio. Tą kiaušinį padėjęs kažkoks vandens paukštis ar gyvatė. Anot vienos senos sakmės, kosminį kiaušinį padėjo Mėnulyje tupėjusi milžiniška antis. Deja, jai išskridus iš lizdo ieškoti maisto, užėjusi liūtis, lizdas suiręs ir kiaušinis iš jo iškrięs. Krisdamas kiaušinis atsimušęs į debesį ir suskilęs į tris dalis: iš trynio atsiradusi Žemė, iš baltymo – vandenys, o iš kiauto – dangaus skliautas su žvaigždėmis.

Sakmės apie tai, kad pasaulį sukūrė karvelio pavidalo dvasia, klaidžiojusi tamsybėse po dumblynus, arba Dievas, padedamas velnio Liucino, yra laikomos vėlesnėmis.

Žemė vaizduotasi plokščia, apdengta akmeniniu dangaus kupolu. Žvaigždės – tai skylutės tame kupole, pro kurias sklinda virš kupolo esanti šviesa. Vienoje iš sakmių bylojama, kad kupolas buvęs per mažas Žemei uždengti, todėl Dievas ją suspaudęs ir atsiradę kalnai.



8.10 pav. Pasaulio stulpas, pavaizduotas ant kraitinės skrynios (Tirkšliai, Mažeikių r.).

Dangaus kupolas ties Šiaurine žvaigžde esąs paremtas stulpu ar stipinu, apie kurį kupolas sukasi. Tas Pasaulio stulpas buvo laikomas ne tik dangaus ašimi, bet ir pasaulio vienybės simboliu (8.10 pav.), nes jungė Žemę su dangumi ir požemio pasauliu. Anot XVII a. Prūsijos etnografo Mato Pretorijaus, senovės baltų šventyklose stovėdavęs didelis medinis stulpas (matyt, simbolizuojantis Pasaulio stulpą), o prie jo – didžiulis akmuo. Vėliau tie šventieji stulpai transformavosi į koplytstulpius.

Pasaulio stulpo variantas, o gal vėlesnis išplėtotas jo pavidalas, yra Gyvybės medis. Jį garbino daugelis ne tik Europos, bet ir Azijos bei Amerikos tautų.

Gyvybės medis viršūne remiaš dangų, šakomis apglobiaš visą pasaulį, o šaknimis siekiaš Žemės gelmes. Jo viršūnėje vaizduojami Saulė, Mėnulis ir žvaigždės, o iš po šaknų trykšta gyvybės vanduo. Medį saugo ožiai, jaučiai ar kitokie gyvūnai dvyniai (8.11 pav.).



8.11 pav. Gyvybės medis, kurį saugo du elniai. Žemaitiško rankšluosčio ornamentas (XVIII a. pab. – XIX a. pr.).

VIII skyrius

Etnokosmologija padeda suprasti senovės žmonių pasaulėjautą, jų žinių lygį, atskleidžia tautosakos ir tautodailės simbolių prasmę. Antra vertus, liaudies kosmologija vaizdžiai parodo, kad net visos tautos patirtis bei intuicija, neparemtos mokslo faktais, yra bejėgės išvelgti ar nuspėti pasaulio sandaros ypatumus; jos tik suteikia nežinomybei mūsų įprastinės realybės pavidalą.

IX

VISATOS MAKROSTRUKTŪRA IR JOS SUSIDARYMAS

Galaktikų grupės, spiečiai ir superspiečiai. Po Didžiojo sprogmio susidaręs elementariųjų dalelių kamuolys per milijardus metų virto labai sudėtinga dabartine Visata, stebinančia savo objektų ir formų įvairove. Kokių būdu įvyko šis, tikimybių teorijos požiūriu neįtikimas perėjimas nuo chaotiškos prie sudėtingą struktūrą turinčios sistemos? Fizikos dėsniais ir astronominiais stebėjimais grindžiamas mokslas palaipsniui atkuria Visatos formavimosi eigą. Deja, šie tyrimai, vieni iš įdomiausių šiuolaikiniame moksle, vyksta dar labai trumpą laiką, o problema yra itin sudėtinga. Tad šiame skyriuje supažindinama ne su galutine teorija, o tik su jos apmatais bei hipotezėmis. Tačiau tai ne mažiau įdomu.

Fizikams, skirtingai nuo matematikų, teorijos kūrimą labai palengvina tai, kad ieškomas rezultatas neretai būna žinomas iš stebėjimų, reikia tik jį pagrįsti teoriškai. Todėl pirmiausia trumpai apžvelkime dabartines žinias apie Visatos sandarą.

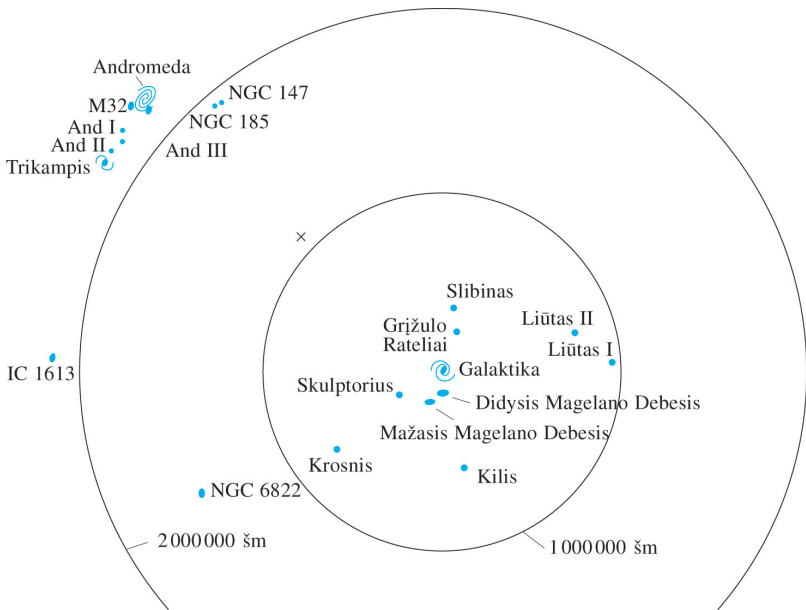
Dar 1609 m. Galileo Galilei, naudodamasis savo paties sukonstruotu žiūronu-teleskopu, nustatė, kad per visą dangų nusidriekiantis Paukščių Takas yra milžiniška žvaigždžių sistema; ji buvo pavadintas Galaktika. Pamažu astronomai suprato, kad visos danguje matomos žvaigždės, tarp jų ir mūsų Saulė, priklauso tai sistemai. O XVIII a. viduryje vokiečių filosofas Immanuelis Kantas (Immanuelis Kantas) iškėlė hipotezę, kad neryškios mažos dėmelės, matomos dangaus skliaute tarp žvaigždžių, yra milžiniški nutolę „pasauliai“ – panašios į Paukščių Taką žvaigždžių sistemos. Ši hipotezė tapo mokslo tiesa tik XX a. Dabartiniu įvertinimu, stebimojoje Visatoje egzistuoja keli šimtai milijardų galaktikų.

Galaktikos dažnai sudaro grupes, tokioje grupėje paprastai būna po kelias didesnes ir keliolika ar net keliasdešimt mažesnių galaktikų, ji nusitęsia keletą milijonų šviesmečių.

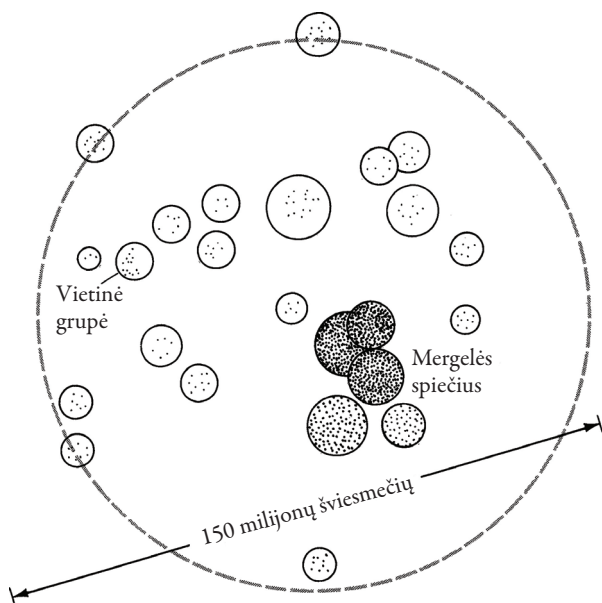
IX skyrius

Mūsų Galaktika priklauso Vietinei grupei (9.1 pav.) Į ją įeina apie penkiasdešimt galaktikų, tarp jų savo dydžiu išsiskiria mūsųškė, taip pat Andromedos ir Trikampio galaktikos. (Tikrinius pavadinimus turi tik kai kurios išskirtinės galaktikos, o kitos žymimos raidėmis ir skaičiais, sutrumpintai nurodančiais astronominio katalogo pavadinimą ir objekto numerį jame; pavyzdžiui, M32 – tai galaktika, kuri astronomo C. Messier (Š. Mesjė) sudarytame kataloge yra pažymėta 32 numeriu.) Vienos iš artimiausių mums galaktikų yra Didysis Magelano Debesis bei Mažasis Magelano Debesis, jas galima įžiūrėti ir plika akimi (žr. 9.9 pav.). Vietinės grupės galaktikos įvairiais greičiais skrieja aplink grupės masės centrą.

XX a. antroje pusėje, patobulinus galaktikų stebėjimo ir tyrimo metodus, paaiškėjo, kad galaktikų grupės kartais sudaro didesnius sambūrius – spiečius, o šie – superspiečius. Vietinė grupė įeina į Mergelės superspiečių (9.2 pav.),



9.1 pav. Vietinė galaktikų grupė, kuriai priklauso mūsų Galaktika (parodytos tik didesnės galaktikos). Kryžiu pažymėtas grupės masės centras.

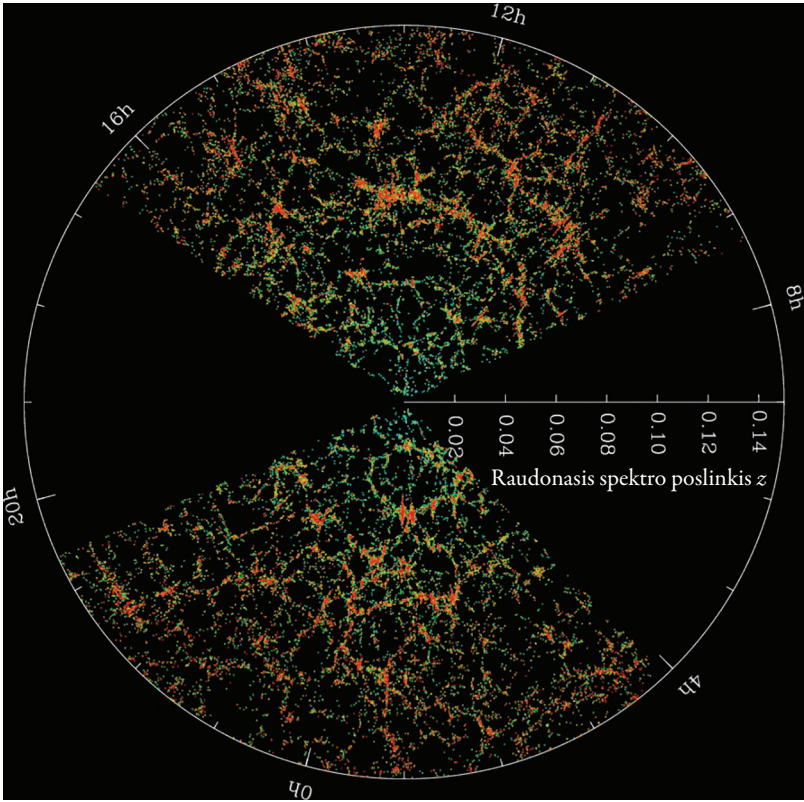


9.2 pav. Mergelės galaktikų superspiečius. Skritulėliai žymi didesniąsias galaktikų grupes, o taškeliai – ryškesnes galaktikas.

o šis savo ruožtu – į dar didesnę Laniakėjos superspiečių, apimančią apie pusantro šimto tūkstančių galaktikų. Kai kurie superspiečiai turi pailgų „siūlų“ bei „sienų“ pavidalą, tęsiasi iki 150 milijonų šviesmečių ir sudaro sienelės milžiniškų ertmių, kuriose beveik nėra galaktikų (9.3 pav.). Tačiau milijardo šviesmečių atstumais Visatą galima laikyti vienalyte.

Galaktikų grupės yra stipriai tarpusavio traukos jėgomis susijusios sistemos, antra vertus, galaktikų spiečių ir superspiečių matmenys didėja plečiantis Visatai.

Visatos makrostruktūros formavimasis. Visatos makrostruktūros užuomazgomis tapo mažyčiai tankio nevienalytiškumai ankstyvojoje Visatoje. Anot dabar vyraujančios hipotezės, tie pirminiai nevienalytiškumai atsirado dėl kvantinių fliuktuacijų, nulemtų neapibrėžtumo principo. Jie



9.3 pav. Galaktikų išsidėstymas Visatoje. Pateiktas vaizdas apima 10 proc. dangaus skliauto. Spalvoti taškėliai – atskiros galaktikos, esančios iki 2 milijardų šviesmečių atstumu (pažymėta apie 2 milijonus galaktikų).

padidėjo kosminės infliacijos metu ir vėliau augo, traukdami aplinkines daleles. Galbūt svarbų vaidmenį formuojantis sutankėjimams suvaidino tamsioji medžiaga ar po Didžiojo sprogo atsiradusios pirminės juodosios skylės.

Teoretikai nagrinėja ir kitus gana keistus ankstyvosios Visatos darinius. Vienas iš jų – vadinamosios kosminės stygos, labai ploni, bet ilgi erdvėlaikio defektai, kurie galėjo susidaryti ankstyvojoje Visatoje išsiskiriant

fundamentinėms sąveikoms. Pagal kosminių stygų teoriją, šie dariniai gali judėti erdvėje, susipinti vienas su kitu, sudaryti kilpas. Pastarosios traukdamosi spaudė kosmines dujas į gniužulus, iš kurių atsirado žvaigždės.

Pagal labiausiai išplėtotą vadinamąjį „blynų“ modelį, tankio nevienalytiškumų raida vyko taip. Didesnio tankio sritis ėmė labiau traukti aplinkinę medžiagą, ir kuo daugiau jos pritraukdavo, tuo stipresnė darėsi toji trauka. Tokiu būdu besiplečiantis kosminis kamuolys pasidalijo į daugelį dujų debesų, o šie traukėsi į savo centrus. Dažniausiai debesis sukosi, kaip įprasta kosmose; medžiagos tankiui didėjant, sukimasis vis greitėjo dėl judėjimo kiekio momento tvermės. Kryptimis, statmenomis debesies sukimosi ašiai, dujų traukimąsi lėtino jų inercija, o ašies kryptimi jis vyko sparčiau, tad debesis įgijo plokščio „blyno“ pavidalą. Į „blynus“ krito aplinkinė medžiaga, jie susidurdavo tarpusavyje, kildavo smūginės bangos, sukuria, medžiaga nevienodai įkaidavo. Vykstant tiems sudėtingiems procesams, „blynai“ pasidalijo į mažesnius medžiagos gniužulus – protogalaktikas; iš jų ilgainiui susidarė galaktikos. Patys „blynai“ virto galaktikų grupėmis ir spiečiais, o superspiečių formavimąsi lėmė „blynų“ susidūrimai. Tiesa, pastaruoju metu plėtojama hipotezė, kad Visatos struktūra formavosi kitaip: iš pradžių susidarė mažesni už galaktikas dujų telkiniai, o po to jie jungėsi į vis didesnius.

Kosminės tuštumos, kuriose beveik nėra galaktikų, galėjo atsirasti vykstant susispaudžiančios medžiagos sproгимams. Tačiau jie turėjo išblaškyti ir kosminę foninę spinduliuotę, o ji iš tikrųjų yra beveik vienoda visomis kryptimis. Iškelta kol kas spekuliatyvi hipotezė, kad superspiečių „siūlų“ ir sienų susidarymui turėjo įtakos anksčiau atsiradę tamsiosios medžiagos dariniai. O gal kosminės tuštumas sukūrė aplinkiniai spiečiai ir superspiečiai, kurie iš ten ištraukė medžiagą?

Prieš nagrinėdami galaktikų susidarymą, apžvelkime gausius jų stebėjimų duomenis.

Galaktikų įvairovė. Astronomijoje naudojama XX a. pradžioje E. Hubble'o pasiūlyta galaktikų klasifikacija. Pagal formą ir kitas savybes jos skirstomos į tris dideles klases: elipsines, spiralines ir netaisyklingąsias galaktikas.

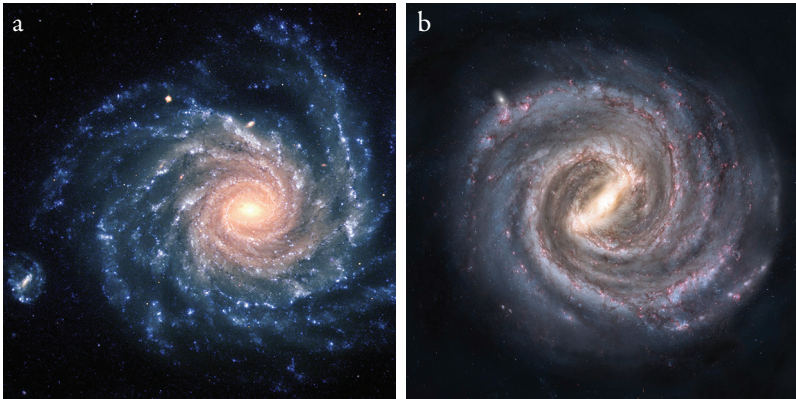


9.4 pav. Elipsinės galaktikos. Matyti ir galaktikos palydovės – nykštukinės galaktikos (mažos baltos dėmelės).

Elipsinės galaktikos – tai elipsoido pavidalo žvaigždžių sistemos (9.4 pav.). Jų dydis – nuo nykštukių (kosminiu mastu) iki supermilžinių. Žvaigždžių tankis elipsinėse galaktikose didesnis negu spiralinėse ar netaisyklingosiose galaktikose, tad, išskyrus pačias artimiausias elipsines galaktikas, jose teleskopais pavienių žvaigždžių išvelgiama mažai arba jos visiškai neišskiriamos. Vis dėlto iš šių galaktikų spektrų galima pasakyti, kad jas sudaro senos ir vidutinio amžiaus žvaigždės. Elipsinėse galaktikose tarpžvaigždinių dujų ir dulkių debesų, iš kurių gali formuotis naujos žvaigždės, yra belikę mažai. Tokioje galaktikoje žvaigždės juda aplink jos centrą netvarkingai, įvairiomis kryptimis. Daugiausia elipsinių galaktikų stebima galaktikų grupių centruose ir kitose didesnio tankio srityse.

Spiralinės galaktikos yra plokščio disko pavidalo. Jos dažniausiai turi centrinį telkinį ir aplink jį besisukančias spirales vijas (9.5 pav.). Vienose šios klasės galaktikose vijos menkai išsiskiriančios, o kitoms būdingos ryškios, plačios vijos ir mažas ar net neįžiūrimas centrinis telkinys. Kai kurios spiralinės galaktikos (tarp jų ir Paukščių Takas) turi skersę – per centrą nusitęsusią žvaigždžių juostą, nuo kurios galų driekiasi dvi vijos (9.5 pav., b).

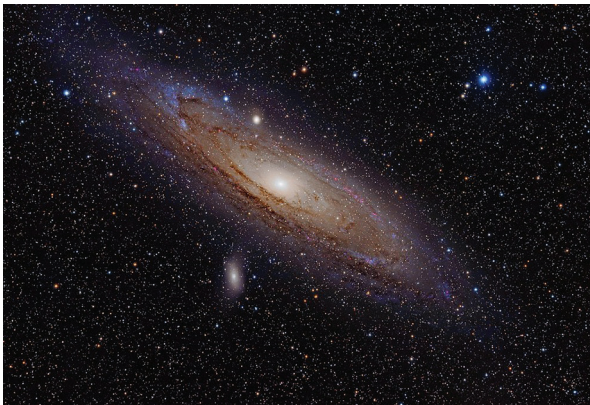
Viena iš didžiausių Vietinės grupės spiralinių galaktikų yra mūsų Paukščių Takas, arba tiesiog Galaktika. Savo dydžiu ir forma ji panaši į savo kaimynę – Andromedos galaktiką (9.6 pav.), tik mūsų Galaktika yra ryškesnė spiralinės vijos. Aišku, mūsų Galaktika yra geriausiai ištirta, tad panagrinėkime jos sandarą (9.7 pav.).



9.5 pav. Spiralinės galaktikos. Antroji galaktika turi skersę (b).

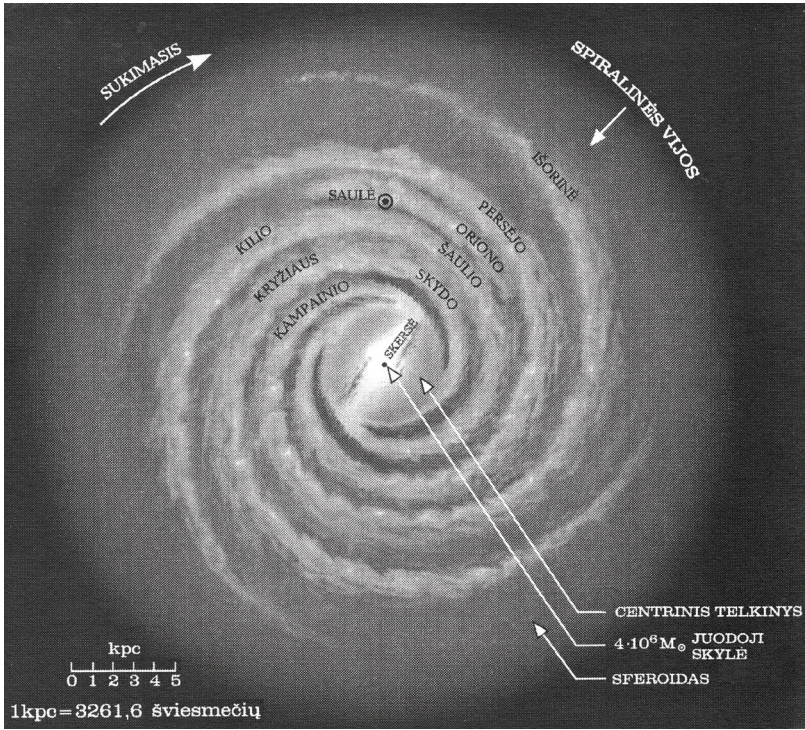
Šviečiančiose vijose vyrauja karštos, jaunos žvaigždės bei supermilžinės, o tarp vijų žvaigždžių yra mažiau ir jos ne tokios šviesios. Spiralinės vijos išsidėsčiusios ploname diske ir iš lėto sukasi aplink centrą. Jį sudaro daug tankesnis ir storesnis pailgas žvaigždžių telkinys – skersė. O pačiame Galaktikos centre, kurį gaubia dujų ir dulkių debesis, slypi didelės masės juodoji skylė.

Aplink diską iš visų pusių yra išsidėstę kamuoliniai žvaigždžių spiečiai, susidedantys iš tūkstančių, kartais net milijono žvaigždžių (9.8 pav.), taip



9.6 pav.
Andromedos galaktika, kuri dydžiu ir forma yra panaši į mūsų Galaktiką.

IX skyrius



9.7 pav. Mūsų Galaktikos sandara.

pat pavienės žvaigždės. Spiečiai su tomis žvaigždėmis sudaro Galaktikos sferoidą, jie skrieja aplink Galaktikos centrą įvairiomis kryptimis ir retkarčiais kerta diską.

Be to, Galaktiką, kaip ir kitas galaktikas, supa nematomas, bet aptinkamas pagal savo gravitacinį poveikį tamsiosios medžiagos vainikas, kurio masė gerokai didesnė negu visų žvaigždžių masė.

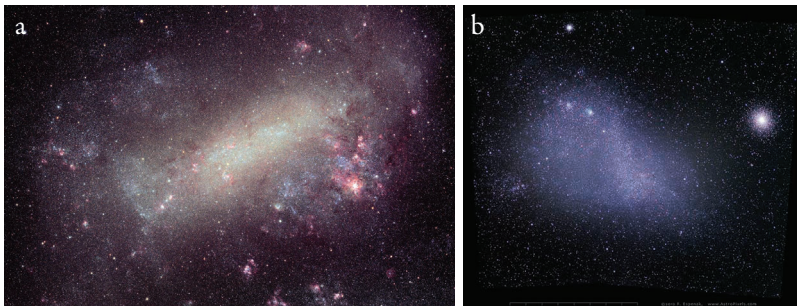
Kaip liudija žvaigždžių spektrai, kamuoliniuose spiečiuose vyrauja labai senos žvaigždės, kurių amžius siekia 10–13 milijardų metų. Galaktikos spiralinėse vijose esančių žvaigždžių amžius neviršija 9–10 milijardų metų, o daugelis yra dar jaunesnės ar net neseniai įsidedusios. Centrinis telkinys sudarytas iš įvairaus amžiaus žvaigždžių.



9.8 pav. Kamuolinis žvaigždžių spiečius M92 Heraklio žvaigždynė, sudarytas iš maždaug šimto tūkstančio senų žvaigždžių. Tokie spiečiai iš visų pusių supa mūsų Galaktikos diską.

Netaisyklingosios galaktikos – tai nesimetriškos formos, padrikos žvaigždžių sistemos, neturinčios ryškaus centro. Tokie yra, pavyzdžiui, Didysis ir Mažasis Magelano Debesys (9.9 pav.). Astronomai juokauja, kad šiai klasei priskiriamos visos galaktikos, nepatenkančios į kitas dvi klases. Netaisyklingosiose galaktikose žvaigždžių tankis yra nedidelis, bet gausu tarpžvaigždinės medžiagos, todėl ten formuojasi daug naujų žvaigždžių.

XX a., pradėjus stebėti Visatą ne tik regimųjų, bet ir Röntgeno, infraraudonųjų, gama ir kitokių spindulių srityse (žr. straipsnelį „Įvairių bangų



9.9 pav. Netaisyklingųjų galaktikų klasei priskiriamos vienos iš artimiausių Paukščių Takui galaktikų – Didysis Magelano Debesis (a) ir Mažasis Magelano Debesis (b).

astronomija“), buvo aptikta neįprastų galaktikų ir į jas panašių objektų, dažnai vadinamų pekuliosiosiomis galaktikomis (lot. *peculiaris* – ypatingas, nepaprastas, išskirtinis). Kartais tokios galaktikos priklauso kuriai nors tradicinei E. Hubble'o pasiūlytos klasifikacijos klasei, tik pasižymi keistomis savybėmis, kaip antai neįprasta spinduliuote.

Pirmiausia reikėtų paminėti susiduriančias arba stipriai sąveikaujančias galaktikas (9.10 pav.). Anksčiau buvo manoma, kad tokie susidūrimai yra labai retas, išimtinis reiškinys, bet stebėjimai šią nuomonę pakeitė, – matyt, galaktikos susidarė grupėmis o, veikiamos tarpusavio traukos, juda gana dideliais greičiais, be to, kiekvienos jų dydis, įskaitant nematomą vainiką, keliskart viršija regimąjį. Tad tikimybė galaktikai per milijardus metų susidurti su kita galaktika nėra jau tokia menka. Didelės galaktikos neretai turi savo palydoves – mažesnes galaktikas (žr. 9.4 pav.), kurias anksčiau ar vėliau „praryja“ (astronomai tai vadina galaktikų kanibalizmu). Matyt toks grobis ne kartą atiteko ir mūsų Galaktikai. O po pustrėčio milijardo metų ji turėtų įtraukti artėjantį prie jos Didįjį Magelano Debesį.

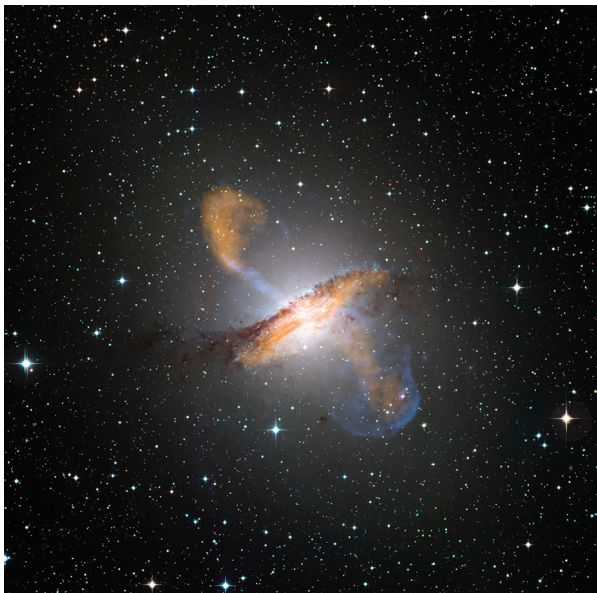


9.10 pav. Dvi susiduriančios galaktikos, vadinamos Antenomis, Varno žvaigždyne.

VISATOS MAKROSTRUKTŪRA IR JOS SUSIDARYMAS

XX a. antroje pusėje buvo aptiktos galaktikos su aktyviais branduoliais arba, trumpiau – aktyviosios galaktikos. Tai dažniausiai būna milžiniška spiralinė ar elipsinė galaktika, iš kurios centro sklinda galinga spinduliuotė (net nustelbianti tos galaktikos žvaigždžių šviesą) – ne tik regimoji, bet ir Röntgeno, infraraudonoji, radijo ir kitokia. Ši spinduliuotė nuolat netvaringai kinta. Tai reiškia, kad jos šaltinis yra labai mažas – ne didesnis, negu atstumas, kurį šviesa nusklinda per tą pokyčio laiką (antraip spinduliuotė iš atskirų šaltinio dalių užsiklotų ir suvienodėtų). Be to, iš tokios galaktikos centro į priešingas puses kartais trykšta dvi siauros, bet labai galingos ir greitos plazmos čiurkšlės (9.11 pav.). Jos perveria galaktiką ir platėdamos nusitęsia toli už jos ribų. Lėtėdamos elektringosios dalelės skleidžia elektromagnetines bangas, paprastai – radijo dažnių diapazone. Dėl to galaktikos su čiurkšlėmis buvo pavadintos radiogalaktikomis.

O XX a. septintajame dešimtmetyje buvo atrasti dar keistesni objektai – kvazarai (santrumpa angliško pavadinimo *quasi-stellar radio source* – kvazižvaigždinis radijo šaltinis). Dauguma kvazarų yra labai nutolę



9.11 pav.
Artimiausia
mums aktyvioji
galaktika –
Kentauro A. Iš jos
centro, statmenai
diskui, sklinda dvi
galingos plazmos
čiurkšlės.

nuo mūsų Galaktikos, bet skleidžia radijo ir kitokiomis bangomis nepaprastai daug energijos – net kaip trilijonas žvaigždžių. Antra vertus, kvazaro aktyvioji sritis neviršija Saulės sistemos dydžio – tai liudija spartus kvazaro spinduliuotės kitimas. Jo portretas panašus kaip aktyviosios galaktikos (9.11 pav.): kvazarui irgi būdingos dvi „ausys“, kurias sudaro į šalis trykštančios plazmos čiurkšlės, išsiskleidžiančios į didžiulius plazmos debesis. Remiantis aktyviųjų galaktikų ir kvazarų spinduliuotės panašumu bei aptikus aplink kai kurius kvazarus galaktikas, nustatyta, kad jie yra branduoliai labai aktyvių galaktikų, egzistavusių ankstyvosios Visatos laikotarpiu (juk mus pasiekianti tolimų kvazarų šviesa yra išspinduliuota prieš milijardus metų). Apie šiuos objektus išsamiau rašoma straipsnelyje „Kvazarų atradimas ir tyrimai“.

Iš daugelio hipotezių, aiškinančių tokių galaktikų branduolių ir kvazarų prigimtį, laiko išbandymą sėkmingai išlaikė tik viena, teigianti, kad šie objektai yra gigantiškos masės juodosios skylės.

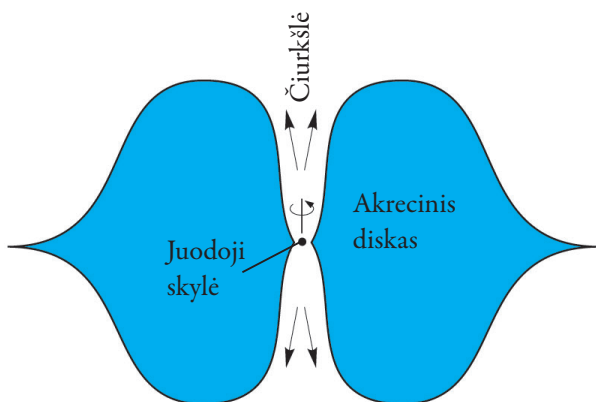
Juodoji skylė – itin keistas objektas, kurio egzistavimas ir savybės išplaukia iš bendrosios reliatyvumo teorijos. Juodąja skykle virsta didelės masės žvaigždė savo gyvavimo pabaigoje (X skyrius, skyrelis „Audringa ir keista masyvių žvaigždžių raida“). Tokia žvaigždė, gėstant joje branduoliniams reakcijoms, sprogska kaip supernova, o jos geležinė šerdis, veikiamą gravitacijos jėgos, ima trauktis į centrą. Kai šerdies spindulys pasidaro mažesnis už dydį, vadinamą gravitaciniu spinduliu, to objekto trauka tampa tokia stipri, kad netgi šviesa nebegali iš jo ištrūkti, – jis tampa juodąja skykle. Pavadinimas nurodo pagrindinę tokio objekto savybę – jis viską tik traukia į save, bet nieko nepaleidžia iš savo nagų. O galaktikų raidos pradžioje jų centruose, kur medžiagos tankis buvo didžiausias, juodosios skylės, matyt, susiliedavo viena su kita, įsiurbdavo visus aplinkinius objektus, tad susidarė milijonų ar net milijardų Saulės masių juodosios skylės. Vis dėlto šis modelis sunkiai paaiškina gigantiškos masės juodųjų skylių gana greitą susiformavimą.

Jeigu aktyviosios galaktikos branduolys ar kvazaras yra toks objektas, kodėl jis, užuot slėpėsis, elgiasi priešingai – skleidžia labai stiprią spinduliuotę ir plazmos čiurkšles? Prieštaravimą nesunku paaiškinti – spinduliuoja ne pati juodoji skylė, o į ją krintanti aplinkinė medžiaga, kurios gausu galaktikos centre. Ta medžiaga paprastai sukasi, todėl ji su pagreičiu spirale

VISATOS MAKROSTRUKTŪRA IR JOS SUSIDARYMAS

krinta į juodąją skylę ir sudaro aplink ją vadinamąjį akrecinį diską (lot. *accretio* – padidėjimas). Disko dalelės, judėdamos didžiu greičiu, susiduria tarpusavyje, subyra į elektringąsias daleles, šios sukuria labai stiprius elektrinį ir magnetinį laukus, tad plazmos diskas, ypač vidinė jo dalis skleidžia įvairias elektromagnetines bangas. Be to, besisukančio akrecinio disko sukurtas magnetinis laukas fokusuoja elektringąsias daleles į čiurkšles, sklindančias išilgai disko sukimosi ašies (9.12 pav.).

2019 m. pirmą kartą pavyko gauti supermasyvios juodosios skylės tiesioginį vaizdą. Tiesa, tai nėra jos nuotrauka regimaisiais spinduliais, o užregistruota radijo bangomis. Vaizdai sukurti buvo panaudotas aštuonių tarpusavyje sujungtų radioteleskopų, esančių įvairiuose žemynuose, tinklas, pavadintas *Event Horizon Telescope* (Įvykių horizonto teleskopas). O kompiuteris radijo portretą pavertė spalvotu vaizdu (intensyvesnę spinduliuotę atitinka ryškesnės spalvos) (9.13 pav.). Gautas vaizdas patvirtina teorinę išvadą, kad iš juodąją skylę supančios erdvės srities, kurios riba vadinama įvykių horizontu, nebegali ištrūkti net elektromagnetinės bangos, tad toje vietoje yra matoma tik juoda dėmė. Ji buvo vaizdžiai pavadinta juodosios skylės šešėliu. O ryškus žiedas aplink tą šešėlį – akrecinis diskas (į juodąją skylę su pagreičiu spirale krintanti ir intensyvią radijo bei kitokią spinduliuotę skleidžianti medžiaga). Už šią unikalią nuotrauką jos autoriai – tarptautinis mokslininkų kolektyvas – buvo apdovanoti Alberto Einsteino medaliu.



9.12 pav.
Aktyviosios galaktikos branduolio su juodąja skylė ir akreciniu disku modelis.



9.13 pav. Supermasyvios juodosios skylės M87 galaktikoje vaizdas. Tamsi dėmė jo centre – 6,5 milijardo Saulės masių juodoji skylė iki jos įvykių horizonto. Ryškus žiedas – akrecinis diskas aplink juodąją skylę.

Galaktikų susidarymas. Galaktikos susidarė praėjus vos 300–500 milijonų metų po Didžiojo sproginimo. Tai liudija jose aptinkamos labai senos žvaigždės, kurių amžius artimas Visatos amžiui. Be to, šios tolimiausios galaktikos turi panašias savybes kaip ir artimos galaktikos.

Visos galaktikos, kurių struktūrą galima įžiūrėti, susideda iš žvaigždžių; tai liudija, kad žvaigždėdara dujų ir dulkių debesyje, medžiagai pasiekus tam tikrą tankį, yra dėsningas procesas. Ji, matyt, sužadina supernovų sproginimų ir kitų audringų kosminių procesų sukeltos galingos smūginės bangos, kurios sukuria medžiagos sutankėjimus. O kuo labiau didėja augančio kosminio gniužulo masė, tuo stipresnė tampa jo trauka ir tuo daugiau jis pritraukia naujos aplinkinės medžiagos. Slegiamai medžiagai gniužulo centre smarkiai įkaitus, čia prasideda branduolinės reakcijos – žvaigždė įsidega.

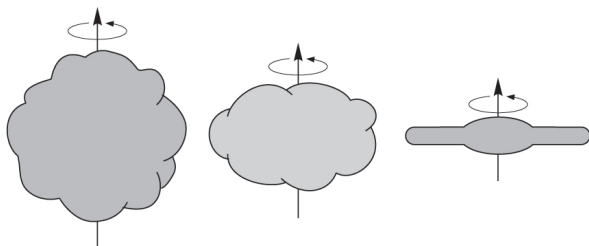
Visų pirma susipažinkime su pagrindine, geriausiai išplėtota galaktikos susidarymo teorija. Didžiulio dujų debesies viduryje medžiaga susispaudė greičiausiai ir ėmė formuotis galaktikos centras. Čia atsirado pirmosios masyvios žvaigždės. O kuo didesnės masės žvaigždė, tuo spartesnė jos raida ir tuo greičiau ji baigia savo gyvavimą sprogdama kaip supernova. Būtent protogalaktikos centre pirmiausia atsirado juodosios skylės, jos susiliedavo viena su kita, į save įtraukdavo aplinkinę medžiagą, ir taip susidarė vis augančios

masės centrinė juodoji skylė. O aplink ją ir jos veikiama formavosi galaktika. Daugelio supernovų sproginiai sukėlė sparčią žvaigždėdarą kitose galaktikos vietose. Be to, sproginimų išblaškyta pirmosios kartos žvaigždžių medžiaga papildė sunkiaisiais cheminiais elementais tarpžvaigždines dujas ir iš jų vėliau susidarė žvaigždės.

Elipsinės galaktikos, matyt, susiformavo iš dujų ir dulkių debesų, kurie sukosi labai lėtai, o spiralinės galaktikos – iš debesų, kurie sukosi greičiau. Kūnui traukiantis, jo sukimasis dėl judėjimo kiekio momento tvermės dėsnio greitėja (tuo lengva įsitikinti, jei sukdamiės staiga pritrauksime rankas prie liemens). Be to, besisukantis debesis susiploja į diską (9.14 pav.) – juk dalelės, sukdamosi iš inercijos priešinasi traukos jėgai, o sukimosi ašies kryptimi jos laisvai krinta į centrą. Vienos iš seniausių mūsų ir kitų spiralinių galaktikų žvaigždžių atsirado dar tada, kai galaktikos nebuvo susiplojusios, todėl tos žvaigždės telkiasi sferoide, o vėliau susidariusios žvaigždės jau koncentruojasi ploname diske.

Paprasčiausia hipotezė, aiškinanti spiralinės galaktikos vijų prigimtį, teigia, kad tai yra medžiagos sutankėjimai, susidarę besisukančiame dujų diske. Tačiau tuomet vijos turėtų išplisti ir ilgainiui išnykti. Tačiau panašias vijas turi tiek tolimos galaktikos, kurias mes matome daug jaunesnes, tiek artimos galaktikos. Astrofizikai linkę manyti, kad spiralinių vijų atsiradimo priežastis – galaktikos diske spirale besisukančios tankio bangos. Šios bangos neperneša medžiagos, tik suformuoja tarpžvaigždinės medžiagos sutankėjimus ir sužadina naujų žvaigždžių susidarymą; o nuolat įsižiebiančios žvaigždės ir sukuria vijos vaizdą.

Galaktika, turinti skersę, galbūt susidaro susidūrus dviem galaktikoms – toks rezultatas buvo gautas šių vyksmą modeliuojant kompiuteriu

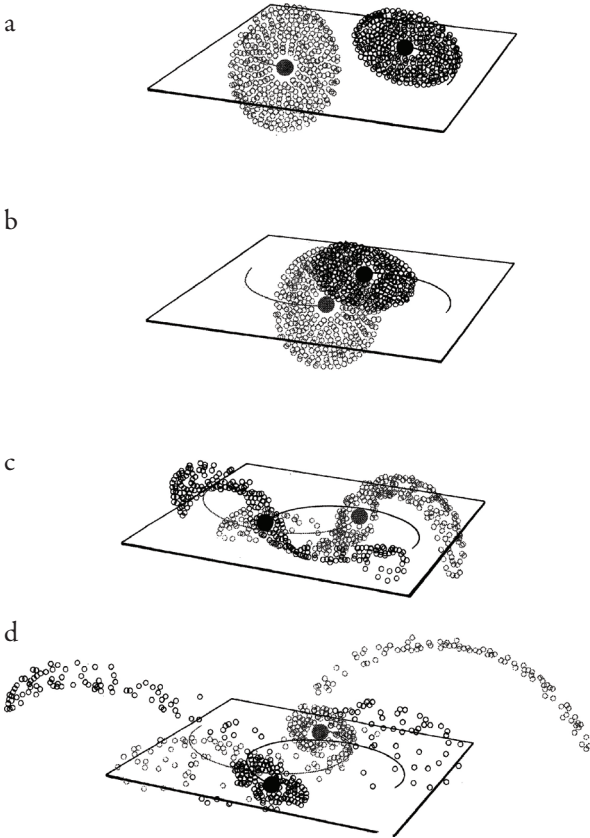


9.14 pav.
Besisukantis kosminis dujų ir dulkių debesis traukdamasis susiploja į diską.

(9.15 pav.). Anot kitos hipotezės, skersė formuojasi pačioje galaktikoje į jos centrą nesimetriškai krintant aplinkinei medžiagai.

Galaktikos, ypač jos centro, formavimuisi galėjo turėti įtakos ir paslaptinga tamsioji medžiaga. Juk tikėtina, kad ją sudaro masyvios dalelės, tad jos galbūt greičiau nei įprastiniai atomai sudarė telkinius. O toks didesnis telkinys tapo galaktikos centro užuomazga.

Visiškai kitaip galaktikų formavimąsi apibūdina hipotezė, teigianti, kad galaktikos susidarė aplink pirmines juodąsias skyles, atsiradusias tuoj po Didžiojo sprogo. Ta hipotezė remiasi tolimiausių galaktikų ir kvazarų



9.15 pav. Galaktikos, turinčios skersę, susidarymas susidūrus dviem galaktikoms (modeliuota kompiuteriu).

stebėjimais. Juk sunku paaiškinti, kaip per milijardą metų ar dar trumpesnę laikotarpį, vykstant laipsniškam centrinės juodosios skylės augimui, galėjo atsirasti net kelių milijardų Saulės masių supermasyvi juodoji skylė. Anot tos hipotezės, laikotarpiu 10^{-6} –1 s po Didžiojo sprogdimo kvarkams jungiantis į masyvesnes daleles, atsirado jų sutankėjimų, o iš jų susidarę didesni objektai virto pirminėmis juodosiomis skylėmis. Jos toliau augo traukdamos aplinkinę medžiagą, bet tai vyko skirtinga sparta. Mažesnės juodosios skylės liko vienišos (galbūt jos sudaro dalį tamsiosios medžiagos), o masyviausios tapo galaktikų centrais.

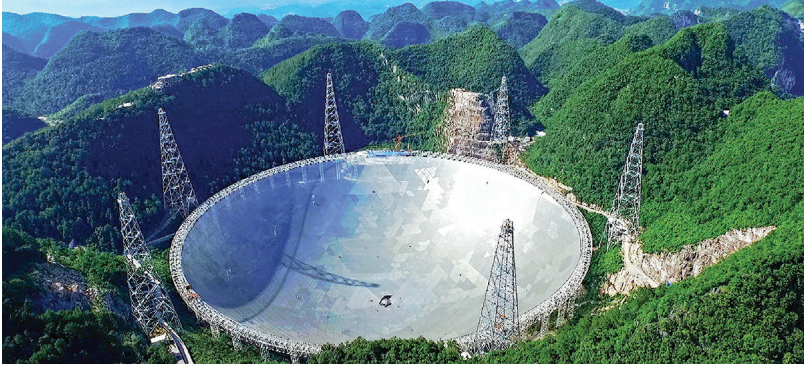
ĮVAIRIŲ BANGŲ ASTRONOMIJA

XX a. buvo toks pat svarbus Visatos tyrimams, kaip didžiųjų geografinių atradimų amžius – Žemės pažinimui. Revoliuciją astronomijoje nulėmė tiek sukurtos šiuolaikinės fizikos dalys – reliatyvumo teorija, atomo branduolio fizika ir elementariųjų dalelių fizika, – leidusios suprasti Visatoje vykstančius procesus, tiek įvairių bangų astronomijos atsiradimas.

Ilgus amžius dangus buvo stebimas tik regimųjų spindulių srityje, ir atrodė, kad tai yra tikrasis pasaulio vaizdas. XX a. paaiškėjo, kad jis atitinka tarsi vaizdą pro siaurą langą. Ėmus stebėti Visatą įvairių elektromagnetinių bangų diapazonuose, atsivėrė lyg nauji langai, atskleidžiantys netikėtą Visatos objektų bei reiškinių įvairovę.

1930 m., mėginant išsiaiškinti, kas sukelia radijo triukšmus, trukdančius tolimajam radijo ryšiui, buvo nustatyta, kad pagrindinis jų šaltinis yra... Paukščių Takas, tiksliau, centrinė jo dalis. Deja, tas paskelbtas faktas nesukėlė astronomų susidomėjimo. Tik po Antrojo pasaulinio karo buvo suprasta, kad Žemės atmosferos skaidrumas ne tik regimajai šviesai, bet ir 1 mm–20 m radijo bangoms suteikia papildomą galimybę tirti Visatoje vykstančius procesus. Buvo pradėtos statyti vis didesnės radijo antenos – radioteleskopai kosminiams signalams priimti (9.16 pav.). Vėliau tuos teleskopus imta jungti vieną su kitu, – kompiuteriu sumuojant viena laikius jų signalus, galima padidinti prietaisų skiriamąją gebą, tarsi veiktų vienas didesnis teleskopas.

Radijo dangus atrodo visiškai kitaip negu regimasis dangus. Labai ryškia žvaigždę ar galaktiką gali būti sunku stebėti radijo bangomis ir,



9.16 pav. Vienas didžiausių 500 m skersmens FAST radioteleskopas, pradėjęs veikti 2017 m. Guindžou provincijoje Pietvakarių Kinijoje.

priešingai – kai kurie vos šviečiantys optiniai objektai pasirodo esą labai stiprūs radijo šaltiniai. Neretai iš esmės pasikeičia ir pačios galaktikos vaizdas; kaip buvo minėta, būtent radijo dažnių diapazone išryškėja plazmos čiurkšlės iš aktyviosios galaktikos branduolio.

Naudojantis radioteleskopais, buvo atrasti kvazarai ir foninė spinduliuotė, kosmose aptikti mazeriai ir gana sudėtingos molekulės. Radijo bangomis galima tirti labiausiai paplitusio Visatoje cheminio elemento – vandenilio pasiskirstymą, nes pagrindinė jo spektro linija yra 21 cm bangos ilgio.

Žemės atmosfera taip pat iš dalies praleidžia šiluminę, arba infraraudonąją, spinduliuotę. Deja, registruoti tolimų dangaus kūnų šiluminę spinduliuotę kliudo kita priežastis – ją skleidžia ir pats Žemėje esantis infraraudonųjų spindulių teleskopas. Tad tikslūs Visatos stebėjimai infraraudonųjų bangų diapazone tapo galimi tik 1983 m. paleidus kosminį palydovą *Infrared Space Satellite* su specialiu teleskopu, atšaldytu iki skystojo helio temperatūros. Infraraudonoji astronomija leidžia tirti silpnai įkaitusias dujas ir objektus, kurie visiškai ar beveik neskleidžia regimosios šviesos. Tokiems objektams priklauso, pavyzdžiui, besiformuojančios, dar tik įsidegančios žvaigždės. Antra vertus, infraraudonieji spinduliai, kurie yra didesnio bangos ilgio už regimuosius, lengviau prasiskverbia per dujų ir smulkių dulkių debesis. Būtent pradėjus stebėjimus šiame bangų

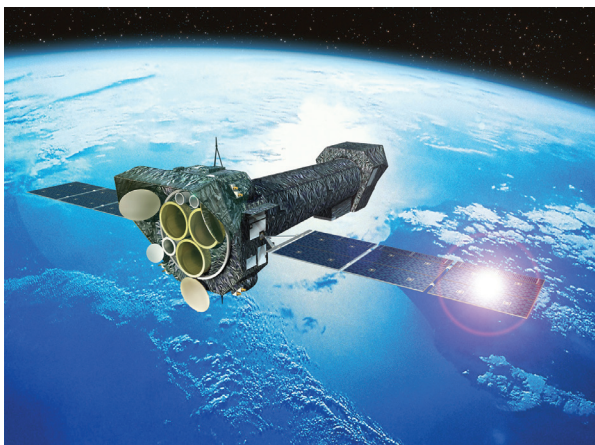
VISATOS MAKROSTRUKTŪRA IR JOS SUSIDARYMAS

diapazone, tapo įmanoma pažvelgti, kas dedasi paslaptingame mūsų Galaktikos centre.

Röntgeno spinduliai, gyvųjų organizmų laimei, visiškai neprisiskverbia per Žemės atmosferą. Tad rentgeno astronomija atsirado kartu su raketine technika. 1948 m. į stratosferą iškelta raketa padarius pirmąsias dangaus rentgeno nuotraukas, paaiškėjo, kad stipriausias šių spindulių kosminis šaltinis, kaip ir buvo tikėtasi, yra Saulė. Tačiau antras labai stiprus šaltinis aptiktas Skorpiono žvaigždynė. Vėliau nustatyta, kad ten esanti neutroninė žvaigždė siurbia medžiagą iš savo artimos kaimynės, o intensyvią spinduliuotę sukelia dideliu greičiu į neutroninės žvaigždės paviršių smogiančios dalelės. Trečias atrastas šaltinis buvo garsusis Krabo ūkas, kuris, kaip paaiškėjo, yra prieš tūkstantmetį stebėtos supernovos sproginimo debesis. Taigi rentgeno astronomija atskleidė neramią Visatą, joje vykstančius labai audringus procesus ir sproginimus.

Pastaruoju metu sparčiai plėtojama gama astronomija, kurios metodais registruojami dar didesnės energijos kosminiai gama spinduliai. Žemę retkarčiais pasiekia gama spinduliuotės žybsniai – trumpi, pavieniai jos impulsai. Jie siejami su masyvios žvaigždės kolapsu jai virstant juodąja skylė. Kitas galimas gama spindulių šaltinis – dviejų neutroninių žvaigždžių susijungimas.

O neutrininė astronomija kol kas žengia pirmuosius žingsnius, – tai ateities astronomija. Registruojami neutriniai suteiktų unikalios informacijos

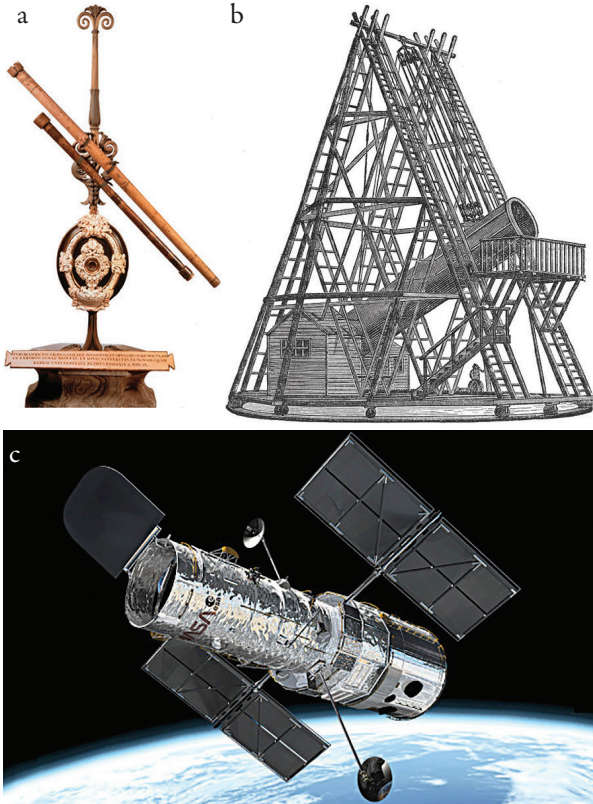


9.17 pav. Rentgeno kosminis teleskopas *XMM-Newton*. Jį sukūrė ir iškėlė į orbitą aplink Žemę Europos kosmoso agentūra 1999 m. Sparnai – teleskopą maitinantys Saulės elementai.

IX skyrius

apie ankstyvąją Visatą, taip pat apie procesus, vykstančius žvaigždžių gelmėse, iš kur išstrūkti gali tik šios labai skvarbios dalelės.

Be abejo, XX a. sparčiai tobulėjo ir tradicinė optinė astronomija, kuri tebėra pagrindinė astronomų akis. Hubble kosminis teleskopas pranoksta Williama Herschelio (Viljamas Heršelis) naudotą teleskopą panašiai, kaip šis – Galileo Galilei sukonstruotą žiūroną-teleskopą.



9.18 pav. Teleskopo prototipas – G. Galilei žiūronas-teleskopas, sukonstruotas 1609 m. (a), W. Herschelio teleskopas (XIX a. pr.) (b) ir Hubble kosminis teleskopas, iškeltas į orbitą aplink Žemę 1990 m. (c).

KVAZARŲ ATRADIMAS IR TYRIMAI

Saulė skleidžia tik mažą savo energijos dalį radijo bangomis, taigi atrode įtikima, kad ir kitos žvaigždės nėra intensyvūs radijo šaltiniai. Todėl astronomai gerokai nustebo, kai 1960 m. vienas iš kosminių stiprių radijo šaltinių buvo sutapatintas su blausia žvaigždele. Atsargumo dėlei jis buvo pavadintas kvazižvaigžde – kvazaru. Užregistravus jo spektro linijas, jų nepavyko priskirti nė vieno žinomo cheminio elemento linijoms. O netrukus buvo atrasta ir daugiau panašių objektų.

Kvazarų spektro mįslę įspėjo Maartenas Schmidtas (Martenas Šmitas) iš Palomaro observatorijos: nežinomos linijos pasirodė besančios paties žinomiausio elemento – vandenilio – linijos, bet gerokai pastumtos link ilgųjų bangų srities. Vadinasi, jeigu tą poslinkį lemia didelis kvazarų greitis mūsų atžvilgiu dėl Visatos plėtimosi ir jiems galioja Hubble dėsnis, tai kvazarai turi būti nepaprastai toli – už kelių milijardų šviesmečių. Tokiu atveju jie yra patys galingiausi spinduliai Visatoje.

Astronomai, metę savo įprastinius darbus, ėmėsi ieškoti naujų kvazarų ir tirti jų savybes. Aptiktų kvazarų skaičius netrukus pasiekė kelias dešimtis (dabar jų žinoma apie du šimtus tūkstančių). Daugelio iš jų raudonasis poslinkis dar didesnis, taigi jie yra dar toliau. Įdomiausia, kad kvazarų spinduliuotė netvarkingai kinta kelių mėnesių ar netgi valandų laikotarpiu; tai reiškia, kad kvazarai negali būti didesni, negu atstumas, kurį šviesa nusklinda per tą laiką. Atrodė neįtikima, kad toks objektas gali išspinduliuoti per sekundę daugiau energijos, negu Saulė per milijoną metų. Tad buvo atkakliai mėginama paaiškinti kvazarų raudonąjį poslinkį ne dideliu greičiu mūsų atžvilgiu, o kitomis priežastimis ir tuo būdu juos iš Visatos pakraščių „atkelti į normalius atstumus“. Gal labai tankiame žvaigždžių spiečiuje vyksta grandininis žvaigždžių sprogimų procesas? Gal ten anihilioja medžiaga su antimedžiaga? Deja, tos išmoningos hipotezės neišlaikė kritikos, be to, stebėjimai parodė, kad kai kurie kvazarai įeina į grupes galaktikų, turinčių panašų raudonąjį poslinkį.

Dabar yra pripažintas vienintelis kvazaro modelis – itin masyvi juodoji skylė galaktikos centre, į kurią dideliu greičiu krinta aplinkinė medžiaga, sudarydama akrecinį diską (žr. 9.12 pav.). Tas modelis paaiškina visas stebimas kvazarų savybes: mažus matmenis, labai stiprią spinduliuotę įvairiomis

bangomis (medžiagai krintant į juodąją skylę, gali išsiskirti iki 40 proc. rimties energijos), netvarkingą spinduliuotės kitimą (medžiaga chaotiškai krinta į skylę), plazmos čiurkšlių susidarymą. Šie objektai buvo aktyvūs, kai galaktikų centruose telkėsi daug dujų ir dulkių. O išnaudojęs medžiagos atsargas savo aplinkoje, kvazaras apimsta, tapdamas mažiau aktyviu galaktikos branduoliu.

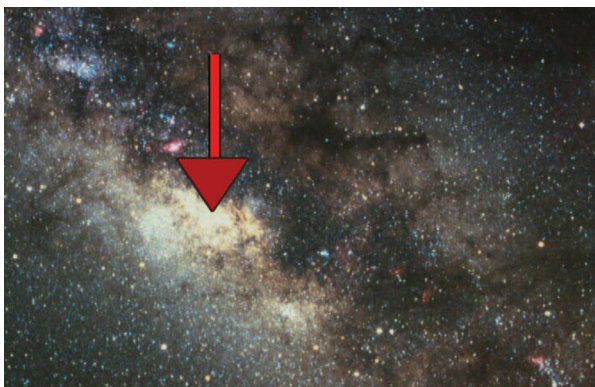
Ir dabar kvazarai lieka vieni iš paslaptiniausių objektų Visatoje. Koku būdu pirmieji milžiniškos masės kvazarai galėjo susidaryti net nepraėjus milijardui metų po Didžiojo sprogo? Kodėl galingos plazmos čiurkšlės būdingos tik kai kuriems kvazarams? Kaip jie veikė tolesnį savo galaktikų vystymąsi?

Neįmanoma kvazarų mįslių, neįmanoma suprasti galaktikų raidos.

KAS YRA MŪSŲ GALAKTIKOS CENTRE?

Galaktikos centras yra Šaulio žvaigždyno kryptimi, maždaug už 27 000 šviesmečių nuo Saulės. Toje vietoje Paukščių Takas atrodo šviesiausias ir plačiausias (9.19 pav.). Deja, paties centro negalima matyti per jį slepiančius dujų ir dulkių debesis. Tačiau Röntgeno spinduliai, infraraudonieji spinduliai, radijo bangos prasiskverbia per tuos debesis ir liudija, kad centre yra ypatingas objektas.

Kaip minėta, pirmasis kosminis radijo šaltinis buvo aptiktas centrinėje Paukščių Tako dalyje. Vėliau patikslinta, kad šis stiprus šaltinis yra pačiame



9.19 pav.
Paslaptingasis mūsų Galaktikos centras, kur slėpi keturių milijonų Saulės masių juodoji skylė.

Galaktikos centre ir labai mažo dydžio. Taip spinduliuoja plazmos srautai, besisukantys dideliu greičiu, bei magnetiniame lauke stabdomi elektronai.

Galaktikos centrą supa kamuolinis žvaigždžių spiečius. Didelis jų sukimosi greitis liudija, kad centre slypinčio kompaktiško objekto masė lygi maždaug 4,3 milijono Saulės masių. Vadinasi, tai supermasyvi juodoji skylė, nors ir mažesnės masės negu esančios aktyviosiose galaktikose. 2016 m. japonų astronomai paskelbė, kad jie Galaktikos centre aptiko antrąją juodąją skylę. Jos masė tik keliasdešimt tūkstančių Saulės masių ir ji, matyt, sukasi aplink pagrindinę juodąją skylę.

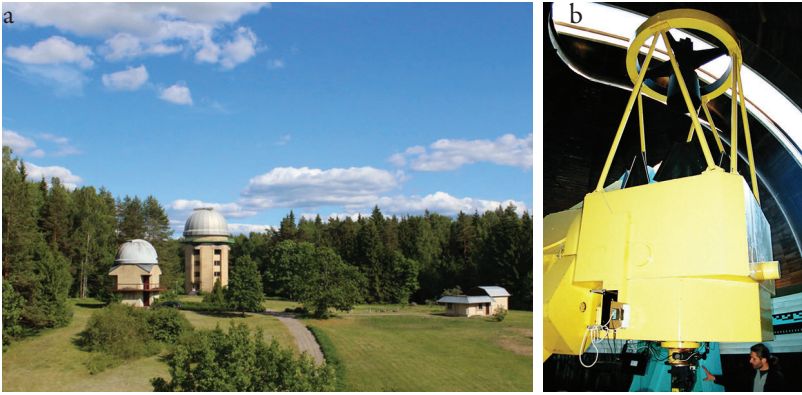
Paukščių Take esančios gyvybės laimei, galaktikos branduolys nėra aktyvus. Tačiau jis kada nors gali pritraukti artimiausią žvaigždę. Ši būtų suardyta ir dalis jos medžiagos kristų į juodąją skylę, kurios aktyvumas stipriai išaugtų. Aišku, būtų įdomu stebėti juodojo milžino pabudimą, bet geriau jis tesnaudžia, netrikdydamas mūsų Galaktikos.

GALAKTIKOS TYRIMAI LIETUVOJE

Vykstant plentu Vilnius–Utena, už Molėtų atkreipia dėmesį kelio rodyklė „Observatorija“. Pasukus tuo keliuku ir pavažiavus keletą kilometrų, išnyra aukšti Etnokosmologijos muziejaus bokštai, o vėliau – ir observatorijos kupolai. Ant Kaldinių kalvos prie Želvų ežero, labai vaizdingoje vietoje, yra įsikūrusi Molėtų astronomijos observatorija (9.20 pav., a). Senoji Vilniaus universiteto Astronomijos observatorija buvo pačiame mieste, jo šviesos ir užterštas oras ėmė trukdyti stebėjimams, tad 1969 m. šioje nuošalioje Molėtų rajono vietovėje buvo pradėta statyti nauja šiuolaikinė observatorija. Dabar pagrindiniame jos bokšte veikia 165 cm skersmens teleskopas reflektorius (9.20 pav., b), o kitame bokšte ir paviljone yra dar du mažesni teleskopai.

Lietuvos klimatas nėra palankus dangaus stebėjimams, tad dažnai mūsų astronomai vyksta į kitų šalių observatorijas.

Pagrindinė Vilniaus astronomų tyrimų kryptis – mūsų Galaktikos sandara, jos žvaigždžių savybės. Žvaigždės tiriamos dviem būdais: matuojama jų spinduliuotė, pereinanti per įvairių spalvų filtrus, arba registruojami žvaigždžių spektrai. Pirmąjį būdą išplėtojo Vytautas Straizys, kuris pasiūlė naudoti septynių filtrų fotometrinę sistemą. Matavimo duomenys



9.20 pav. Molėtų astronomijos observatorija ant Kaldinių kalvos prie Želvų ežero (a) ir jos 165 cm skersmens teleskopas (b).

analizuojami kompiuteriu ir apskaičiuojamos žvaigždžių charakteristikos. Vėliau Gražina Tautvaišienė pradėjo žvaigždžių spektrų tyrimus, kurie reikalauja tikslesnių stebėjimų, bet teikia išsamesnės informacijos.

Daugiausia dėmesio skiriama žvaigždėms su ypatingomis savybėmis: seniausiomis, turinčioms anomalią cheminę sudėtį, nykštukėms. Juk būtent jų tyrimai atskleidžia mažiau žinomus Galaktikos formavimosi ypatumus. Antai kai kurios žvaigždės, matyt, anksčiau priklausė nykštukinėms galaktikoms, „prarytom“ Galaktikos; tai mėginama nustatyti tiriant tų žvaigždžių cheminę sudėtį. Vilniaus astronomai dalyvauja tarptautiniame projekte *Gaia*, kurio tikslas – sukurti Paukščių Tako ryškiausių žvaigždžių trimatį žvaigždėlapi. Kazimiero Černio grupė vykdo kometų, asteroidų ir kitų prie Žemės orbitos priartėjančių objektų paiešką ir stebėjimus. Vlodo Vansevičiaus grupė nagrinėja žvaigždėdaros ir žvaigždžių sistemų susidarymo procesus, o Arūno Kučinsko – atlieka žvaigždžių atmosferų modeliavimą.

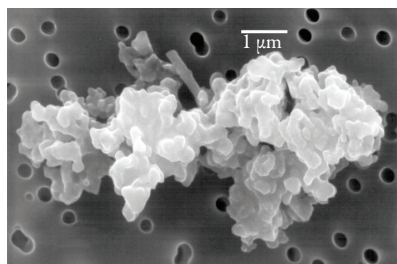
X

ŽVAIGŽDŽIŲ RAIDA

Žvaigždžių susidarymas ir jose vykstančios branduolinės reakcijos. Žvaigždės susidarė ne tik formuojantis galaktikoms, bet ir vėliau; naujos žvaigždės įsideda ir dabar. Žvaigždėdaros procesas prasideda, kai didžiuliam kosminiame dujų ir dulkių debesyje dėl smūginės bangos ar kitų priežasčių atsiranda maždaug kelių šviesos mėnesių skersmens sutankėjimas, o jo gravitacijos jėga pasidaro pakankama aplinkinių dalelių chaotiškam judėjimui įveikti. Didėjant sutankėjimo masei, jo trauka vis stiprėja. Antra vertus, besitraukiantis kamuolys vis greičiau sukasi, nublokšdamas nuo savęs dalį medžiagos atgal į erdvę. Dujoms susispaudžiant, jų atomai vis dažniau ir vis didesniu greičiu susiduria tarpusavyje, tad medžiaga įkaista, ypač centrinė besiformuojančios žvaigždės (protožvaigždės) dalis; iš jos retkarčiais išsiveržia plazmos pliūpsniai.

Hubble kosminis teleskopas 1995 m. pirmą kartą leido stebėti paslaptingą žvaigždžių formavimąsi. Protožvaigždės regimųjų spindulių dar neskleidžia, užtat matyti ryškūs plazmos srautai, taip pat kosminių debesų kraštai, apšviesti aplinkinių žvaigždžių. (10.2 pav.)

XX a. pradžioje atradus branduolines reakcijas, fizikai suprato, kad būtent jos yra tas mįslingas žvaigždžių energijos šaltinis, neišsenkantis milijardus metų. Juk kosminiai debesys, iš kurių formuojasi žvaigždės, sudaryti



10.1 pav. Kosminė dulkė (labai padidinta, tikrieji jos matmenys yra apie 10 μm).



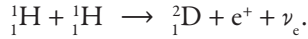
10.2 pav. Erelis ūke, dujų ir dulkių debesyse įsidedančios naujos žvaigždės (nuotrauka gauta Hubble kosminiu teleskopu).

daugiausia iš vandenilio. Protožvaigždė tampa tikra žvaigžde, kai temperatūra jos centre pasiekia apie 10 milijonų laipsnių ir įsideda termobranduolinė vandenilio virtimo heliu reakcija. Saulės masės žvaigždė susiformuoja maždaug per keturiasdešimt milijonų metų.

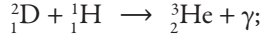
Tiesa, vandenilio virtimo heliu reakcija pasidaro galima tik vandenilio branduoliams suartėjus iki labai mažo atstumo. Tačiau vandenilio branduoliai – protonai, turintys vienodą elektros krūvį, labai stipriai stumia vienas kitą, tad ši reakcija turėtų prasidėti daug aukštesnėje temperatūroje. Tik apie 1930 m. buvo suvokta, kad protonai, kaip mikrodalės, gali suartėti pereinami per elektrinį barjerą tarsi tuneliu (apie tokį efektą rašoma III skyriuje, straipsnyje „Tunelinis reiškinys“). Tad žvaigždei įsidedti pakanka gerokai mažesnės temperatūros.

Susijungdami du vandenilio branduoliai virsta deuterio branduoliu, be to, atsiranda pozitronas e^+ ir neutrinai ν_e :

ŽVAIGŽDŽIŲ RAIDA



Susidariusiam deuteriui jungiantis su vandeniliu į helio izotopą ${}^3\text{He}$, išspinduliuojamas gama kvantas:



o du tokie helio branduoliai sudaro sunkesnę helio izotopą:



Vykstant šiai reakcijų grandinėlei, išnyksta keturi vandenilio branduoliai ir atsiranda vienas helio branduolys, be to, išsiskiria gana didelis energijos kiekis (27 MeV). Kai žvaigždėje yra anglies, azoto ir deguonies priemaišų, kurios veikia kaip katalizatoriai, vyksta šiek tiek kitokia reakcijų grandinė.

Helio branduoliai turi dvigubai didesnę elektros krūvį negu protonai, todėl heliui virsti beriliu reikalinga dar aukštesnė temperatūra. Ji pasiekama po to, kai žvaigždės šerdyje baigiasi vandenilio atsargos ir, vėstančiai plazmai neįstengiant atsverti gravitacijos jėgos, žvaigždė ima trauktis į centrą. Susispausdama medžiaga įkaista, ir prasideda helio jungimosi reakcija. Du helio branduoliai virsta nestabiliu ${}^8\text{Be}$ branduoliu, o šis, prieš suskildamas, kartais spėja pasigauti trečią helio branduolį, ir susidaro anglis ${}^{12}\text{C}$. Retesniu atveju du helio branduoliai virsta kito berilio izotopo branduoliu ${}^7\text{Be}$, o šis prisijungia protoną, ir taip atsiranda boro izotopas ${}^8\text{B}$. Tokiu būdu žvaigždėse palapsniui vyksta vis sunkesnių cheminių elementų sintezė; tačiau, didėjant nukleonų skaičiui branduoliuose, mažėja išsiskiriančios energijos kiekis. Sunkesnių už geležį elementų sintezei jau reikalinga papildoma energija, tad tokie cheminiai elementai susidaro kitu būdu – sprogstant masyviai žvaigždei kaip supernovai, taip pat susijungiant dviem neutroninėms žvaigždėms.

Verta paminėti, jog toli gražu ne kiekvienai protožvaigždei lemta tapti žvaigžde. Jeigu protožvaigždės masė mažesnė negu 0,08 Saulės masės, tai, medžiagai traukiantis, temperatūra, reikiama helio sintezei prasidėti, nėra pasiekama (tačiau gali vykti branduolinės reakcijos dalyvaujant deuteriui ar

ličiui, kurioms užtenka žemesnės temperatūros; vis dėlto jos netrukus gęsta, nes šių medžiagų protožvaigždėje yra mažai). Tokia neįsisižiebusi žvaigždė yra vadinama *rudąja nykštuke*. Ją sunku stebėti, nes beveik neskleidžia regimosios šviesos, tik infraraudonuosius spindulius. Manoma, kad rudųjų nykštukių Galaktikoje yra daugiau negu įprastinių žvaigždžių.

Saulės masės žvaigždės raida. Žvaigždės raida priklauso nuo jos masės – kuo ji didesnė, tuo aukštesnė temperatūra susidaro žvaigždės gelmėse ir tuo sparčiau vyksta branduolinės reakcijos, atsiveria kitokios jų galimybės. Tad mažos ir didelės masės žvaigždžių likimai yra skirtingi.

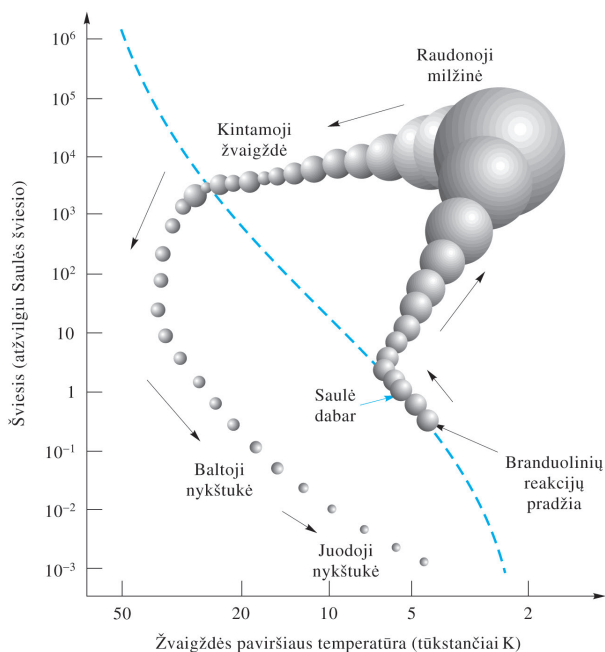
Žmogus, tarsi vienadienė plaštakė, mato tik akimirką žvaigždės raidoje. Laimė, Galaktikoje yra daug įvairaus amžiaus žvaigždžių. Antra vertus, bendras žvaigždės savybes, jos kitimą gerai aprašo paprasti modeliai (juk žvaigždė – gana vienalytis plazmos kamuolys). Taigi yra sukurti patikimi žvaigždžių raidos scenarijai.

Pagrindinės žvaigždės charakteristikos yra jos paviršiaus temperatūra, kurią nusako žvaigždės spalva, ir šviesis – energija, kurią žvaigždė išspinduliuoja per 1 sekundę (kadangi žvaigždės yra nutolusios nuo Saulės įvairiais atstumais, tai norint nustatyti šviesį, reikia išmatuoti ne tik stebimą žvaigždės ryškį (spindesį) bet ir atstumą iki jos). Tos dvi žvaigždžių charakteristikos panaudotos sudarant pačią žinomiausią astronomijoje – Hertzsprungo ir Russello diagramą (Hercšprungo ir Raselo diagrama), arba HR diagramą, pavadintą jos autorių vardais (10.3 pav.). Kiekvieną stebimą žvaigždę toje diagramoje galima pažymėti tašku, o panašias žvaigždes atitinka gretimi taškai. Dauguma žvaigždžių diagramoje išsidėsto išilgai punktyrinės kreivės. Tai pagrindinė žvaigždžių seka, jai nepriklauso tik protožvaigždės bei vėlyvųjų stadijų žvaigždės.

Kai žvaigždėje prasideda helio sintezės reakcija, ji atsiduria toje kreivėje (tuo aukščiau, kuo didesnė žvaigždės masė, taigi ir jos temperatūra). Vėliau, vandeniliui virstant heliu, žvaigždė vis labiau įsideda, kyla jos temperatūra ir didėja šviesis, tad žvaigždė iš lėto kyla pagrindine seka aukštyn. Taigi naudojantis HR diagrama, galima tirti ne tik žvaigždžių tipus, bet ir jų raidą.

Panagrinėkime Saulės raidą (ji būdinga bet kokiai panašios masės žvaigždei).

ŽVAIGŽDŽIŲ RAIDA



10.3 pav.
Hertzsprungo ir Russello diagrama (supaprastinta) ir žvaigždės, kurios masė artima Saulės masei, raida.

Saulės protožvaigždė virto tikra žvaigžde prieš 4,57 milijardo metų, jos tuometinė padėtis sekoje, prasidėjus branduolinėms reakcijoms, nurodyta strėliuke. Dabar Saulė yra pasislinkusi diagramoje į viršų, betgi jos vandenilis toli gražu nėra išseikvotas, tad dar maždaug 2–3 milijardus metų vyks lėta Saulės raida išilgai pagrindinės sekos.

Baigiantis vandenilio jungimosi reakcijoms žvaigždės šerdyje, ši ima trauktis (nes sintezės produktų slėgis nebeatsveria traukos jėgų), o medžiagai spaudžiantis, jos temperatūra pakyla. Žvaigždės šerdžiai labai įkaitus, staiga prasideda helio jungimosi reakcijos. Dėl to įkaista toliau esantis vandenilio sluoksnis, tad branduolinės reakcijos sklinda link žvaigždės išorės. Ši ima plėstis, jos šviesis stiprėja, ir žvaigždė nukrypsta nuo pagrindinės sekos, kildama diagramoje į viršų. Per maždaug pusę milijardo metų žvaigždės skersmuo išauga kelis šimtus kartų ir ji tampa raudonąja milžine.

Taigi tolimoje ateityje Saulė gerokai išsiplės ir spinduliuos daugiau energijos. Iš pradžių ji sudegins Merkurijų, vėliau – Venerą; deja, ateis ir mūsų

planetos eilė: raudonajai milžinei plečiantis link Žemės, ji ims degti ir virs plazmos kamuoliu, o likučiai sukris į Saulę. Tokia liūdna perspektyva visiškai pagrįsta, laimė, tai įvyks dar labai greitai.

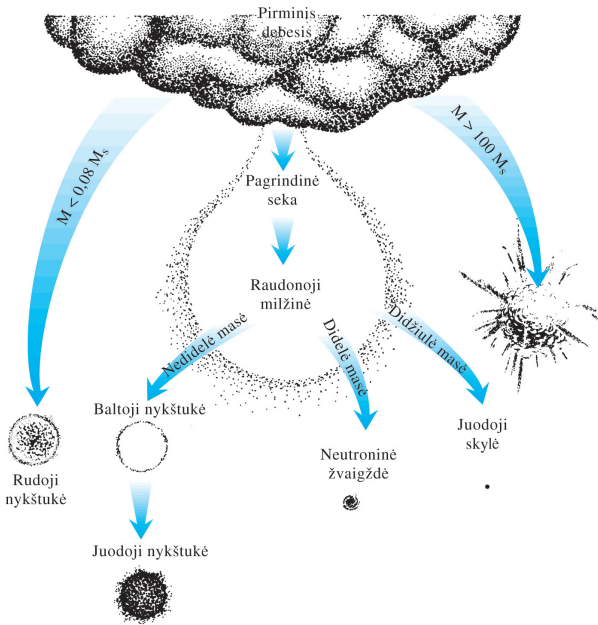
Helio virtimas sunkesniais cheminiais elementais nevyksta tolygiai – sintezės sparta labai priklauso nuo temperatūros. Taigi žvaigždė išgyvena neramų kelių milijonų metų periodą, dar labiau išsipučia. Branduolinėms reakcijoms priartėjus prie paviršiaus, žvaigždės šviesis dėl nestabilios sintezės pradeda pulsuoti – ji kurį laiką tampa kintamąja žvaigžde. Galų gale išoriniai žvaigždės sluoksniai neatlaiko galingo jos spinduliuotės poveikio ir išsisklaido į visas puses, sudarydami burbulo pavidalo ūką aplink žvaigždę. Likusi žvaigždės dalis, palaipsniui tęstant branduolinėms reakcijoms, virsta maždaug Žemės dydžio labai tankia žvaigždute, kuri vadinama baltąja nykštuke. Ji sudaryta daugiausia iš anglies ir deguonies, nes kitų sunkesnių cheminių elementų tokios masės žvaigždėje negali atsirasti – tam reikalinga aukštesnė temperatūra jos šerdyje nėra pasiekama. Ilgainiui žvaigždutė atvėsta ir tampa nešviečiančia juodąja nykštuke.

Panašiai, bet daug sparčiau, evoliucionuoja žvaigždė, kurios masė keletą kartų didesnė už Saulės masę.

Audringa ir keista masyvių žvaigždžių raida. Jeigu protožvaigždės masė viršija 100 Saulės masių, tai jos centras labai greitai bei stipriai susispaudžia ir įkaista, vandenilio jungimosi reakcija prasideda taip audringai, kad supermasyvi žvaigždė susprogsta ir jos medžiaga išsisklaido į visas puses (10.4 pav.).

Jeigu protožvaigždės masė yra mažesnė negu 100, bet didesnė nei 8 Saulės masės, susidariusi žvaigždė irgi neišvengia katastrofos, tačiau nuspelno keisto likimo. Tokia žvaigždė gana greitai evoliucionuoja į supermilžinę su geležine šerdimi. Susidarant dar sunkesniems elementams, energija yra sugerama, o ne išskiriama, tad termobranduolinės reakcijos tęsta. Šerdis, veikiamą savo pačios gravitacijos jėgos, ima staiga trauktis. Tai sukelia ir žvaigždės išorinių sluoksnių kritimą į šerdį. Medžiagai į ją atsitrenkiant, kyla nepaprastai galinga smūginė banga ir prasideda milžiniškas termobranduolinis sproginimas. Beveik visas žvaigždės apvalkalas išsisklaido į visas puses 5000–8000 km/s greičiu. Tai vadinama supernovos sproginimu, nes ji spindesiu gali pranokti visą savo galaktiką. Jeigu tai įvyksta Paukščių Take, danguje staiga sužimba nauja labai ryški žvaigždė. Istoriniais laikais šis retas dangaus

ŽVAIGŽDŽIŲ RAIDA



10.4 pav.
Žvaigždžių likimai, priklausomai nuo jų masės (išreikšta Saulės masės (M_{\odot}) vienetais).

reiškinys plika akimi buvo stebėtas tik keletą kartų. Antai kinų metraščiai 1054 m. aprašė suspindusią naują žvaigždę Tauro žvaigždyne. Ji buvo matoma netgi dieną ištisas 23 paras. Ilgainiui toje vietoje susidarė Krabo ūkas – į visas puses plintantis žvaigždės sprogo debesis (10.5 pav.). O nelabai seniai, 1987 m., astronomai labai susidomėję stebėjo supernovą, sužibusią kaimyninėje galaktikoje – Didžiajame Magelano Debesyje.

Vis dėlto ne visos astronomų stebimos supernovos turi tokią prigimtį. Pasirodo, sprogti gali ir nedidelės masės geštanti žvaigždė – baltoji nykštukė. Tai įmanoma, jeigu ji sudaro glaudžią dvinarę sistemą su raudonąja milžine. Pastaroji lengvai netenka savo išorinio sluoksnio medžiagos, kuri krinta į nykštukę. Kai šios masė viršija maždaug 1,5 Saulės masės, nykštukė, veikiamą savo gravitacijos jėgos, ima staiga trauktis į centrą ir taip pat sprogsta kaip supernova, o jos medžiaga išblaškoma po erdvę. Toks sprogimas mažiau galingas (nors stebimas dažniau) nei masyvios žvaigždės, tad šioje knygoje tik pastarąjį vadinsime supernovos sprogimu.

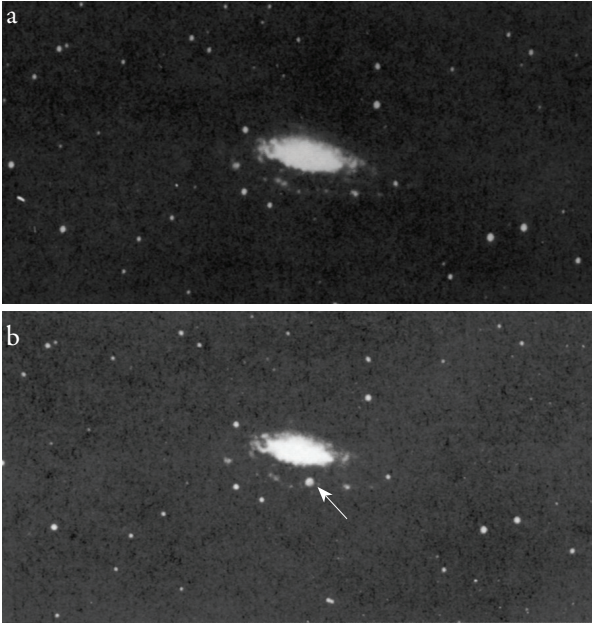


10.5 pav. Krabo ūkas, kuris susidarė sprogus supernovai, stebėtai 1054 m. Žvaigždės liekana virto neutronine žvaigžde, kuri buvo aptikta ūko centre užregistravus jos, kaip pulsaro, siunčiamus signalus.

Abiejų tipų supernovų sproginiai išsklaido jų metu bei žvaigždžių gelmėse susidariusius įvairius cheminius elementus po kosminę erdvę ir taip papildo jais tarpžvaigždinę medžiagą, iš kurios formuojasi naujos žvaigždės. Visi mes esame sudaryti iš tokių sproginų produktų, arba kitaip – iš žvaigždžių dulkių.

Ilgą laiką daugelis astronomų manė, kad po grandiozinio masyvios žvaigždės sproginio jos šerdies nebelieka. Tačiau 1967 m. buvo aptikti pulsarai – žvaigždės, skleidžiančios didelio dažnio periodinius radijo impulsus. Po labai atkaklių ir dramatiškų tyrimų (apie juos pasakojama straipsnelyje „Pulsarai – greitai besisukančios neutroninės žvaigždės“) buvo nustatyta, kad pulsaras yra vos 20–30 km skersmens neutroninė žvaigždė – supernovos liekana. Pasirodo, sproginio metu elektronai yra išspaudžiami į branduolius ir protonai, sąveikaudami su elektronais, sudaro neutronus. Tad žvaigždės šerdis virsta didžiuliu neutronų kamuoliu. Pulsaro spinduliuotė sklinda iš

ŽVAIGŽDŽIŲ RAIDA



10.6 pav. Supernova, stebėta 1959 m. galaktikoje NGC 7331: (a) galaktikos vaizdas prieš žvaigždės sproгимą; (b) – vaizdas po sproгимo, didžiausio supernovos ryškio metu (supernova nurodyta strėliuke).

jo magnetinių polių, ir, jam greitai sukantis apie savo ašį, siauras spindulių pluoštas, lyg prožektorius, periodiškai švytuoja per dangų.

Neutroninės žvaigždės hipotezė buvo patvirtinta atradus pulsarą Krabo ūko centre.

Teoriškai nustatyta, kad neutroninės žvaigždės masė negali viršyti maždaug trijų Saulės masių. Jeigu, sproguj supernovai, lieka dar masyvesnis objektas, tai jo traukiamasis nesibaigia neutronine žvaigžde: netgi stiprioji sąveika negali atsispirti milžiniškai visuotinės traukos jėgai, ir žvaigždės liekana virsta juodąja skylė. Taigi galimos ne tik supermasyvios juodosios skylės galaktikų centruose, bet ir kelių ar keliolikos Saulės masių juodosios skylės, kaip masyvių žvaigždžių raidos paskutinis etapas.

Kaip rašoma praeitame skyriuje, juodoji skylė beveik neturi stebimų savybių, ją galima aptikti tik iš jos gravitacijos lauko. Tad tokių objektų, susidarančių sprogstant supernovoms, paieškos būtų ilgai užsitęsusios, jeigu maždaug pusė žvaigždžių neįeitų į dvinares ir net daugianares sistemas.

Tokios žvaigždžių sistemos susiformuoja iš dujų ir dulkių debesies, kuriame atsiranda keli lygiaverčiai traukos centrai. Tad susidaro dvi, o retkarčiais ir daugiau artimų žvaigždžių, besisukančių aplink bendrą masės centrą. Viena iš jų gali virsti juodąja skylė. O jeigu jos kaimynė yra netoliese ir lengvai netenka savo medžiagos, tai aplink juodąją skylę susidaro spirale į ją krįtančių dalelių diskas. Pastarąjį, kaip ir aktyviosios galaktikos branduolį, įmanoma pastebėti iš neįprastos jo spinduliuotės.

Pirmuoju kandidatu į juodąsias skyles tapo labai stiprus Röntgeno spindulių šaltinis dvinarėje sistemoje Skorpiono žvaigždyne, tačiau tai pasirodė esanti tik neutroninė žvaigždė (Sco X-1). Tad pirmąją pripažinta juodąja skylė tapo Cyg X-1 (apie ją pasakojama straipsnyje „Juodųjų skylių paslaptys“). Vėliau buvo aptikta ir daugiau ryškių Röntgeno spindulių šaltinių dvinarėse sistemose. Astronomai labai atidžiai tyrė jų spinduliuotę įvairiomis bangomis, tikrino ir kitas hipotezes, bet dauguma kandidatų į juodąsias skyles atlaikė visus patikrinimus. Tad optimistai teigia, kad yra atrasta dešimtys juodųjų skylių, o skeptikai dar palieka kelių procentų kitokio jų interpretavimo galimybę.

Planetų susidarymas. XXI a. pradžioje planetos buvo aptiktos prie daugelio artimiausių žvaigždžių. Tai įrodo, kad planetos yra būdingas žvaigždėdaros padarinys. Kadangi Saulė yra eilinė žvaigždė, tai jos planetų sistemos pavyzdys leidžia išvelgti bendrus dėsningumus.

I. Newtonui įrodžius, kad danguje, kaip ir Žemėje, galioja tie patys mechanikos dėsniai, iškilo problema, jais remiantis, paaiškinti Saulės sistemos kilmę. XVIII a. viduryje filosofas Immanuelis Kantas iškėlė hipotezę, kad Saulės sistema atsirado iš anksčiau toje vietoje buvusio dujų debesies. Jis traukdamasis ėmė sukintis ir susiplojo į diską. Telkinio centre įsidėgė Saulė, o dėl sukimosi atitrūkusi medžiaga sudarė planetas. Po keturiasdešimties metų matematikas, fizikas bei astronomas Pierre'as Simonas de Laplace'as (Pjeras Simonas de Laplasas) išplėtojo detalesnę Saulės sistemos susidarymo modelį; jis teigė, kad sukosi jau pradinis debesis. (10.7 pav.).

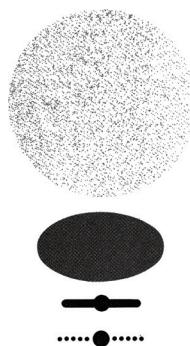
ŽVAIGŽDŽIŲ RAIDA

Kaupiantis žinioms apie Saulės sistemą, ši hipotezė buvo tikslinama ir plėtojama, nors iki šiol nėra virtusi išsamia vienareikšme teorija.

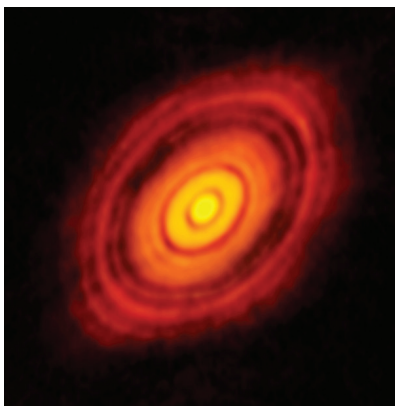
Saulės sistema pradėjo formuotis prieš 4,6 milijardo metų, t. y. praėjus maždaug 9 milijardams metų po Didžiojo sprogo, milžiniškame dujų ir dulkių debesyje. Jame buvo ne tik vandenilio ir helio, bet ir šiek tiek įvairių sunkesnių cheminių elementų, kurie susidarė ankstesniųjų kartų masyviose žvaigždėse bei jų sprogo metu.

Kaip liudija seniausiuose meteorituose randami radioizotopai, būtent netoli to debesies sprogo supernova ir sukėlė jame žvaigždėdarą. Sklindant galingai smūginei bangai, atsirado medžiagos sutankėjimų, kurie tapo gravitacinės traukos centrais. Manoma, kad vienu metu debesyje pradėjo formuotis koks tūkstantis ar daugiau žvaigždžių.

Iš vieno tokio tankėjančio telkinio ir pradėjo formuotis mūsų Saulės sistema. Kuo daugiau jis pritraukdavo aplinkinės medžiagos, tuo labiau stiprėjo jo trauka, tad palaipsniui tas telkinys apėmė maždaug trijų šviesmečių dydžio dujų ir dulkių debesies dalį. Didėjant medžiagos tankiui, dėl dalelių smūgių kilo telkinio temperatūra, ypač jo centre, kur ėmė formuotis protožvaigždė. O jos



10.7 pav. Saulės ir jos planetų susidarymas iš besisukančio kosminio dujų ir dulkių debesies (supaprastinta schema).



10.8 pav. Planetų sistemos formavimas prie žvaigždės Tau HL Tauro žvaigždynė. Šią žvaigždę supa dar tik dujų ir dulkių žiedai, iš kurių vėliau susidarys planetos.

traukiama aplinkinė medžiaga vis greičiau sukosi (dėl turėto pradinio judėjimo kiekio momento bei jo tvėrmės) ir susiplojo į diską. Vykstant dalelių susidūrimams, įvairiose jo vietose irgi atsirado medžiagos gniužulų. Prisijungdami savo kelyje pasitaikančius kitus kūnus, gniužulai didėjo iki šimtų metrų ar net kelių šimtų kilometrų skersmens planetesimalių. O kai kurios iš jų ilgainiui virto dar masyvesnėmis protoplanetomis – pirminėmis planetomis. Manoma, kad jų buvo susidarę gerokai daugiau, negu dabar esama Saulės planetų; matyt, apie 50–100. Tačiau, vykstant protoplanetų tarpusavio susidūrimams bei joms sąveikaujant su žvaigžde, išliko tik jų mažuma. Saulė tikra žvaigžde tapo maždaug per 40 milijonų metų, o jos planetų sistema galutinai susiformavo per šimtą milijonų metų. To neramaus laikotarpio metu mūsų Žemė susidūrė su mažesne planeta Tėja ir iš medžiagos, išsviestos to smūgio metu, susidarė Mėnulis.

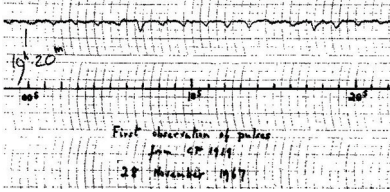
Vis dėlto Saulės sistemoje, o ypač jos pakraščiuose, liko daugybė mažesnių kosminių kūnų. XX a. pabaigoje buvo nustatyta, kad Saulės sistema tęsiasi toli už Neptūno, kuris skrieja nutolęs nuo Saulės vidutiniškai per 30 av (astronominio vienetu (av) vadinamas vidutinis atstumas nuo Žemės iki Saulės). Maždaug iki 50 av driekiasi Kuiperio juosta (Keiperio juosta), kurioje atrastos kelios nykštukinės planetos, dar kitaip – planetėlės (joms priskirtas ir Plutonas). Manoma, kad šioje juostoje yra dar daug planetėlių ir tūkstančiai asteroidų, kurių dydis viršija šimtą kilometrų.

Tikėtina, kad Saulės sistema nesibaigia ir Kuiperio juosta – dar toliau, milžiniškoje srityje (2000–100 000 av), egzistuoja pirminių mažųjų kosminių kūnų debesis, vadinamas Oorto debesiu. Jame gali būti apie milijardą planetesimalių, kurios sudarytos daugiausia iš sušalusių į ledą vandens, amoniako ir metano (kartais iš ten atlekia kaip kometos). O 2016 m. gauta netiesioginių duomenų, kad Oorto debesyje galimai skrieja ir devintoji Saulės planeta.

PULSARAI – GREITAI BESISUKANČIOS NEUTRONINĖS ŽVAIGŽDĖS

Žinomo anglų astronomo Antony Hewisho (Antonis Hiuišas) grupė 1967 m. ieškojo naujų kvazarų. Jo doktorantė Jocelyn Bell (Džoselina Bel) pastebėjo keistą radijo šaltinį, kuris siuntė labai dažnus impulsus stebėtinai vienodais laiko tarpais – kas 1,33728 s (10.9 pav.). Signalai buvo tokie

ŽVAIGŽDŽIŲ RAIDA



10.9 pav. Pirmo atrasto pulsaro signalai (kintamo intensyvumo, bet pasikartojantys vienodais laiko tarpais).

neįprasti ir mįslingi, kad A. Hewishas su J. Bell nutarė kurį laiką neskelbti apie atradimą, netgi nepranešė kolegoms. Atrodė, kad kosmose neįmanomi tokie greiti, galingi ir taip tiksliai pasikartojantys gamtiniai procesai. Tad buvo įtarta, kad signalus siunčia kosminė, labai išsivysčiusi civilizacija. Objektas buvo užkoduotas raidėmis LGM-1 (santrumpa angliškų žodžių *little green men* – maži žali žmogiukai).

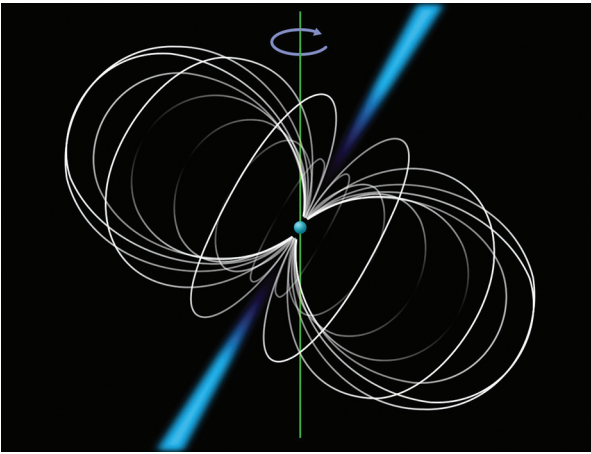
Per tris savaites įtemptų paieškų buvo aptikti dar trys panašūs objektai, siunčiantys taip pat tiksliai pasikartojančius impulsus, o vėliau, į tyrimus įsitraukus ir kitoms mokslininkų grupėms, mįslingų šaltinių skaičius dar išaugo. Galaktikoje negalėjo būti tiek supercivilizacijų, nukreipusių savo antenas į Žemę, tad objektai buvo pervadinti pulsarais ir imta ieškoti jų signalų gamtinės priežasties.

Pulsarų mįslę pavyko išspręsti tik aptikus pulsarą Krabo ūke, kuris yra 1054 m. stebėtos supernovos sprogimo pasekmė. Prisiminta, kad po neutrono atradimo kai kurie teoretikai numatė neutronines žvaigždes, sudarytas beveik vien iš neutronų, o vėliau kiti teoretikai netgi įtarė, kad toks objektas gali atsirasti masyvos žvaigždės sprogimo metu (teoretikai daug ką išgalvoja, bet tik nedaugelis jų hipotezių pasitvirtina).

Dabar jau yra žinoma apie du tūkstančius pulsarų ir yra sukurtas gana išsamus jų modelis, paaiškinantis visus spinduliuotės ypatumus. Pulsaras – tai 20–30 km skersmens neutroninė žvaigždė. Didžioji jos dalis susideda iš neutronų, susitelkusių tarsi į milžinišką atomo branduolį. Tiesa, pačiame centre, gali būti dar tankesnė, iš kvarkų sudaryta šerdis. O neutroninės žvaigždės paviršius dengia kieta geležies ir kitų elementų atomų branduolių pluta. Žvaigždė netgi turi retą, vos dešimčių centimetrų ar net milimetrų, storio atmosferą, kurią sudaro elektronai, neutronai, jonai ir kitos dalelės.

Sunkio jėga tokios tankios žvaigždės paviršiuje net 10^{11} kartų viršija mums įprastą sunkio jėgą, taigi žmogus ten svirtų milijardus tonų, tad jis, deja, niekada negalės apsilankyti neutroninėje žvaigždėje. Tiesą sakant, jos peizažas turėtų būti labai nykus, kalnai ten gali siekti tik keletą centimetrų aukščio.

Kitos dvi būdingos pulsaro savybės – itin greitas sukimasis ir nepaprastai stiprus magnetinis laukas, kurių vertės daug kartų padidėja susitraukus žvaigždei. Be to, žvaigždės paviršių dengiantys atomų branduoliai sukuria stiprų elektrinį lauką. Jo veikiami, elektronai, esantys minėtame plonyčiame atmosferos sluoksnyje, toldami su pagreičiu nuo žvaigždės magnetinių polių, abiem magnetinės ašies kryptimis generuoja siaurą spinduliuotės pluoštelį (10.10 pav.). Žvaigždžių (kaip ir planetų) magnetiniai poliai paprastai nesutampa su jų ašigaliais, tad, pulsarui sukantis, jis skleidžia du siaurus, kūgio pavidalo spindulių pluoštus iš savo magnetinių polių sričių. Taigi pulsaro



10.10 pav. Pulsaro spinduliuotės schema. Rutuliukas centre – neutroninė žvaigždė, žalia linija – jos sukimosi ašis, kreivės – magnetinio lauko linijos, mėlyni pluošteliai – žvaigždės magnetinės ašies kryptimis sklindanti spinduliuotė. Neutroninei žvaigždei sukantis, tie spindulių pluoštai švytuoja ratu ir, jeigu kliudo Žemę, čia registruojami periodiniai radijo impulsai.

ŽVAIGŽDŽIŲ RAIDA

spinduliuotė yra stebima tik siauroje srityje, kurią siekia tie pluoštai. Tai paaiškina, kodėl po kai kurių stebėtų supernovų sprogimo nepavyko aptikti pulsarų – jų spindulių pluoštai tiesiog nekliudo Žemės.

Greičiausiai sukasi jauna neutroninė žvaigždė – apsisuka net keletą šimtų kartų per sekundę. Vėliau jos kampinis greitis po truputį lėtėja, nes žvaigždė spinduliuodama netenka energijos. Tad pulsaro amžius nėra ilgas – apie 10 milijonų metų, vėliau neutroninė žvaigždė apimsta.

Už pulsarų atradimą ir tyrimus J. Bell buvo suteiktas daktaro laipsnis, o jos vadovas A. Hewishas pelnė Nobelio premiją.

JUODŪJŲ SKYLIŲ PASLAPTYS

Kiekviena, netgi pati keisčiausia, idėja paprastai turi savo priešistorę. Tad ir mintis, kad gali egzistuoti tokios nepaprastai masyvios bei tankios žvaigždės, iš kurių traukos lauko negalėtų ištrūkti joks kūnas, netgi šviesa, buvo kilusi dar XVIII a. pabaigoje anglų gamtininkui bei dvasininkui Johnui Michellui (Džonas Mičelas) ir keleriais metais vėliau prancūzų mokslininkui P. S. Laplace'ui. Tačiau ta hipotezė Laplace'ui pasirodė sunkiai įtikima, tad jos nebeminėjo savo garsaus veikalo *Exposition du système du monde* („Pasaulio sistemos išdėstymas“) vėlesniuose leidimuose.

Griežtai ir nuosekliai žvaigždės kolapsą 1917 m. pagrindė vokiečių astrofizikas Karlas Schwarzschildas (Karlas Švarcšildas), remdamasis ką tik surasta bendrąja reliatyvumo teorija. Deja, netgi A. Ensteinui atrodė, kad nestebima miniatiūrinė žvaigždė nėra realus objektas.

K. Schwarzschildas apskaičiavo, iki kokio dydžio turi susitraukti žvaigždė, kad ji virstų juodąja skylė. Kuo mažesnis žvaigždės spindulys, tuo stipresnis jos traukos laukas ir tuo didesnį greitį turi įgyti kūnas, idant įveiktų žvaigždės trauką. Pavyzdžiui, tas pabėgimo greitis iš Saulės lygus 618 km/s (iš Žemės – tai antrasis kosminis greitis 11,2 km/s). O iš neutroninės žvaigždės gali pasprukti tik dalelės, įgijusios milžinišką 10 000 km/s greitį. Kai, žvaigždei traukiantis, pabėgimo greitis padidėja iki šviesos greičio, žvaigždė tampa neįveikiamais spąstais bet kokiai dalelei, taigi ir fotonui, – t. y. ji virsta juodąja skylė. Tai įvyksta žvaigždės spinduliui sumažėjus iki vadinamojo Schwarzschildo spindulio R_s :

$$R_s = 2G \frac{M}{c^2};$$

čia M yra žvaigždės masė, G – gravitacijos konstanta, o c – šviesos greitis.

Schwarzschildo spindulys Saulei yra maždaug 3 km, t. y. ji virstų juodąja skylė tik jos tūriui sumažėjus 10^{16} kartų! Tačiau mūsų Saulei tai negresia.

Pagal bendrąją reliatyvumo teoriją, masyvi juodoji skylė labai iškreivina aplinkinę erdvę, o įvykių eiga priklauso nuo stebėtojo padėties. Hipotetiniam stebėtojui, kuris traukiasi kartu su žvaigžde (ir stebuklingai išlieka nesudraskytas gigantiškų jėgų), atrodo, kad ir pasiekusi gravitacinį spindulį žvaigždė kolapsuoja toliau, kol virsta singuliariumu tašku (tiesa, artėjant prie tos ribos, bendroji reliatyvumo teorija nustoja galioti, tad žvaigždės galinė būseną nėra aiški). O stebėtojui iš šalies atrodo, kad žvaigždės traukimasis lėtėja jai mažėjant iki gravitacinio spindulio ir ji tarsi sustingsta, pasiekusi tą ribą.

Juodųjų skylių teoriją išplėtojo Stephenas Hawkingas (Stivenas Hokingas), žymus fizikas teoretikas, kuris didžiąją savo gyvenimo dalį buvo sunkios ligos prikaustytas prie neįgaliojo vežimėlio. Jis įrodė, kad juodosios skylės nėra absoliučiai juodos. Labai stipriame tokio objekto traukos lauke gimsta dalelių ir antidalelių poros; jeigu viena poros dalelė įkrinta į juodąją skylę, tai antroji gali pasprukti iš jos nagų. Dėl to pavienės juodosios skylės energija, taigi ir jos masė, po truputį mažėja – šis keistas objektas tarsi „garuoja“. Anot S. Hawkingo pasiūlytos teorijos, juodoji skylė garuoja tuo sparčiau, kuo mažesnė jos masė. Tad nedidelės masės juodosios skylės, galbūt susidariusios Didžiojo sprogo metu, turėjo išnykti. Tokių juodosios skylės kvantinį garavimą galima laikyti juodosios skylės spinduliavimu.

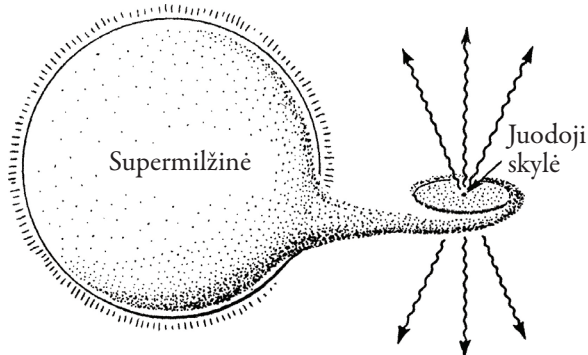
Aptikti pavienę skylę iš jos kvantinio garavimo nepaprastai sunku. Laimė, žvaigždės dažnai gimsta poromis, tik ne identiškomis dvynėmis, o skirtingos masės, tad jų raida esti nevienoda. Masyvesnei žvaigždei virtus juodąja skylė, jos kaimynė vis dar gali būti raudonoji milžinė. Šioji lengvai netenka savo medžiagos, kuri krinta į juodąją skylę ir sudaro akrecinį diską aplinkui ją (be abejojimo, daug mažesnę ir retesnę negu aplink juodąją skylę galaktikos centre: IX skyrius, straipsnelis „Kvazarų atradimas ir tyrimai“). Tokią keistą dvinarę sistemą galima atpažinti iš neįprastos jos spinduliuotės.

ŽVAIGŽDŽIŲ RAIDA

Labai ryškus Röntgeno spindulių šaltinis 1964 m. buvo aptiktas Gulbės žvaigždyne ir pavadintas Cyg X-1. Jis iš pradžių buvo sutapatintas su mėlyna supermilžine, kurios masė yra apie 30 Saulės masių. Šios žvaigždės spektro linijų dažnis periodiškai – kas 5–6 dienos – truputį kinta, ir tai liudija, kad ji sudaro dvinarę sistemą su kita žvaigžde. Šioji ir yra ryškus Röntgeno spindulių šaltinis, o spartus jo spinduliuotės kitimas reiškia, kad tas šaltinis yra labai mažas. Apskaičiuota jo masė prilygsta maždaug 15 Saulės masių, tad tai negali būti neutroninė žvaigždė (pastarosios masė neviršytų 3 Saulės masių). Remiantis tokiais samprotavimais, padaryta išvada, kad dvinarės sistemos nematomas narys Cyg X-1 yra juodoji skylė. Taigi ji tapo pirmąja įteisinta juodąja skylė.

Visus šios dvinarės sistemos spinduliuotės ypatumus gerai paaiškina modelis, pavaizduotas 10.11 pav. Juodoji skylė skrieja netoli supermilžinės ir siurbia jos medžiagą. Ši, spirale krisdama į juodąją skylę, labai stipriai įkaista ir skleidžia Röntgeno spinduliuotę. Kritimas vyksta chaotiškai, tai lemia spartų ir netvarkingą spinduliuotės kitimą.

Tiesa, tokiu mažu masyviu kūnu, „vagiančiu“ medžiagą iš greta esančios milžinės ar supermilžinės, gali būti ir neutroninė žvaigždė. Tačiau jei šio objekto masė didesnė nei trys Saulės masės, tuomet tik juodosios skylės egzistavimas dvinarėje sistemoje paaiškina visus stebėjimų duomenis.



10.11 pav. Dvinarės žvaigždžių sistemos Gulbės žvaigždyne modelis: juodoji skylė Cyg X-1 siurbia iš savo kaimynės supermilžinės medžiagą, kuri, spirale krisdama į skylę, skleidžia intensyvius Röntgeno spindulius.

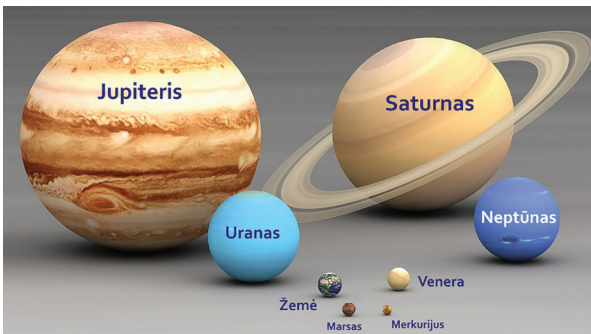
Taigi juodosios skylės yra įteisintos astronomijoje panašiai, kaip nestebimi kvarkai – elementariųjų dalelių fizikoje. O 2020 m. britų matematikui ir fizikui Rogeriui Penrose'ui (Rodžeris Penrouzas) už griežtą įrodymą, kad juodosios skylės susidarymas išplaukia iš bendrosios reliatyvumo teorijos, buvo paskirta Nobelio fizikos premija.

SAULĖS PLANETOS IR PLANETĖLĖS

Saulės planetos sudaro dvi grupes: arčiau šviesulio – tankios, nedidelės (Merkurijus, Venera, Žemė, Marsas), o toliau nuo jo – mažo tankio didžiosios planetos (Jupiteris, Saturnas, Uranas ir Neptūnas) (10.12 pav.). Tokių jų išsidėstymą nesunku paaiškinti. Arčiau žvaigždės, esant aukštesnei temperatūrai, lakios vandens ir metano molekulės negalėjo kondensuotis, tad artimesnės Saulei planetos susidarė daugiausia iš aukštą lydymosi temperatūrą turinčių metalų, kaip antai geležis, nikelis, aliuminis, bei silikatų.

Dujų ir dulkių debesyje šių medžiagų nebuvo daug, tai lėmė mažą planetų dydį. O nutolusios planetos formavosi daugiausia iš vandenilio ir helio. Taigi jos turi storą šių dujų apvalkalą ir tik santykinai nedidelį masyvų branduolį.

Lengvai suprantamas ir planetų judėjimo aplink Saulę dėsningumas: kuo arčiau jos yra planeta, tuo greičiau ji sukasi aplink šviesulį ir tuo trumpesni planetos metai. Merkurijui jie trunka tik 88 Žemės paras, o Neptūnui tęsiasi net 165 mūsų metus.



10.12 pav. Saulės sistemos planetos.

Daugelį kitų žinių apie Saulės planetas pavyko gauti tik naudojantis bepiločiais erdvėlaiviais bei kosminiais zondais.

Merkurijus – nyki, Saulės išdeginta planeta. Dieną ties pusiauju jo paviršius įkaista iki 430 °C. Tačiau Merkurijus neturi atmosferos, kuri saugotų gautą šilumą, tad naktį didelį karštį keičia smarkus šaltis iki –170 °C. Vis dėlto karščio rekordas priklauso kitai planetai – Venerai: jos paviršiaus net vidutinė temperatūra siekia 460 °C. Tai lemia labai tanki šios planetos atmosfera, kurios net 96 proc. sudaro anglies dvideginis, sulaikantis infraraudonuosius spindulius. O gelsvą Veneros spalvą, pelnusia jai įsimylėlių globėjos vardą, iš tikrųjų lemia ją gaubiantys sieros rūgšties debesys. Venera, kaip ir Merkurijus, neturi palydovų.

2020 m. netikėtai Veneros debesyse buvo aptikta fosfino (PH₃). Žemėje šią medžiagą išskiria tikrai tam tikros rūšies bakterijos, o jokių geologinių procesų metu fosfinas nesusidaro. Tuo remiantis, iškelta hipotezė, kad Veneroje, net esant ekstremalioms sąlygoms, gali egzistuoti tam tikra primitivi gyvybė. Vis dėlto įmanoma, jog šioje planetoje vyksta kokios nors mums nežinoma cheminė reakcija, kurios metu išskiria fosfinas.

Marsas – panašiausia į Žemę ir todėl įdomiausia mums planeta. Jo paviršiuje matyti skysto vandens srautų palikti pėdsakai. Tačiau dabar Marso atmosfera šimtą kartų retesnė nei Žemės, tad skystas vanduo paviršiuje negalėjo išlikti, tačiau ašigalių kepurėse yra ledo. Vadinas, kadaise Marse galėjo būti sąlygos, palankios gyvybei atsirasti. Deja, šią planetą tyrinėjantys marsaeigiai kol kas jokių buvusios gyvybės pėdsakų neaptiko. Marse yra aukščiausias Saulės sistemos kalnas Olimpas, net pustrėčio karto pranokstantis Everestą. Aplink šią planetą skrieja du nedideli palydovai.

Didžiosios planetos, nors yra panašios savo chemine sudėtimi, skiriasi savybėmis. Jupiteris ir Saturnas – tai dujų milžinai, o tolimesnieji Uranas ir Neptūnas – ledo milžinai.

Jupiteris sudarytas daugiausia iš vandenilio – išorėje tai dujos, giliau jos virsta skystu ir metaliniu vandeniliu, tik planetos centre, spėjama, slypi nedidelis silikatų branduolys. Storoje Jupiterio atmosferoje siaučia uraganiniai vėjai ir blyksi žaibai, tūkstančius kartų galingesni nei Žemėje. Šios planetos įžymybė – Didžioji raudonoji dėmė – nuo XVII a. Jupiterio atmosferoje stebimas ilgaamžis sukury, kuriame tilptų visa mūsų Žemė. Didžiausią planetą supa gausus palydovų būrys (iki 2020 m. atrasti 79). Nemaža jų dalis, matyt,

yra Jupiterio traukos pagautos pralekiančios kometos, bet milžinas turi ir savęs vertų palydovų – antai Ganimedas dydžiu viršija net Merkurijaus planetą.

Saturnas savo vidine sandara panašus į Jupiterį. Tačiau Saturnas pasidabinęs išpūdingais žiedais, kurie sudaryti iš nedidelių ledo ir uolienuų gabalų. Be to, ši planeta turi daugiausia palydovų (iki 2020 m. atrasti 82). Tarp jų išsiskiria Titanas – ne tik dydžiu, bet ir tuo, jog jis vienintelis planetos palydovas Saulės sistemoje, turintis tankią atmosferą (ją sudaro azotas su metano priemaiša). Mokslininkų dėmesį atkreipė ir kitas Saturno palydovas Enceladas. Jo paviršius padengtas ledu, bet iš gilumos trykšta skysto vandens geizeriai. Vanduo – gyvybės medžiaga, taigi yra mažytė viltis, kad Encelade gali egzistuoti primityvi gyvybė.

Urano ir Neptūno sandara panaši: tai ledo milžinai, jų centre nedidelis silikatų ir metalų branduolys, viduryje – stora ledo mantija, o išorėje – vandens ir helio apvalkalas. Uranas irgi turi žiedus, bet menkesnius nei Saturno, bei 27 palydovus, o Neptūną supa tik 14 palydovų.

XX a. trečiajame dešimtmetyje už Neptūno buvo atrasta devintoji planeta Plutonas, mažesnė net už Merkurijų. Tačiau, 2003–2005 m. atradus panašaus dydžio kaip Plutonas tris tolimesnius Saulės šeimos narius Eridę, Haumėją ir Makemakę, buvo nutarta įvesti nykštukinės planetos, arba planetėlės, sąvoką. Planetėlė nuo planetos skiriasi tuo, kad nėra visiškai šeiminingė savo orbitos, joje yra likę ir kitų mažesnių kūnų. Be to, būti vadinama planetėle gali tik rutulio pavidalo kūnas; tuo ji skiriasi nuo netaisyklingos formos asteroido. Vadovaujantis tais dviem kriterijais, planetėlėmis tapo iš planetų šeimos išmestas Plutonas, trys naujai atrastos jo kaimynės ir Cerera – didžiausias asteroidas, skriejantis tarp Marso ir Jupiterio. Kuiperio juostoje pavyko aptikti dar penkis panašius objektus (tik užtruko jų įteisinimas kaip planetėlių), o prognozuojama, kad jų ten gali būti apie porą šimtų.

KITŲ ŽVAIGŽDŽIŲ PLANETOS

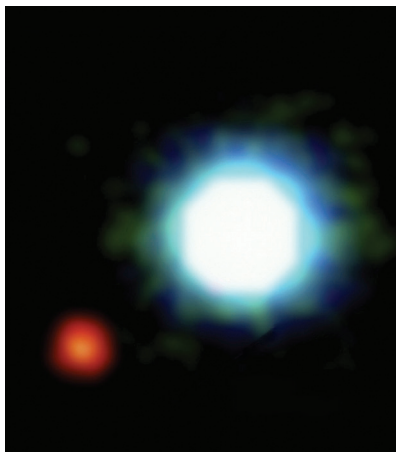
Netgi artimiausios žvaigždės yra nutolusios nuo mūsų per keletą ir daugiau šviesmečių, tad ilgą laiką buvo galima tik spėlioti, ar planetos yra būdingos daugeliui žvaigždžių, ar tai tik reta išimtis. Pagrįsdamas Saulės sistemos

ŽVAIGŽDŽIŲ RAIDA

išskirtinumą, anglų astronomas Jamesas Jeansas (Džeimsas Džinsas) buvo iškėlęs hipotezę, kad planetos atsirado Saulei suartėjus su kita žvaigžde ir išplėšus iš pastarosios dalį medžiagos.

Tik XX a. pabaigoje tapo įmanoma aptikti kitų žvaigždžių planetas, vadinamas egzoplanetomis (gr. *exō* – išorėje, už). Dauguma jų atrandama dviem pagrindiniais metodais. Nors žvaigždės masė yra daug didesnė negu planetos masė, tačiau ji šiek tiek trikdo žvaigždės judėjimą. Truputį kinta ir žvaigždės greitis mūsų atžvilgiu (radialusis greitis). Tad matuojant jo pokyčius, galima nustatyti planetos masę. Be to, planeta, slinkdama žvaigždės disku, ją šiek tiek užtemdo. Tai leidžia nustatyti planetos skersmenį, o matuojant spektro linijų pokyčius, – netgi jos atmosferą. Tačiau šio metodo taikymą riboja galimybė iš Žemės stebėti planetos tranzitą, be to, žvaigždės spindesys gali kisti dėl kitų priežasčių.

Padidinus šių metodų tikslumą, egzoplanetų atradimai XXI a. pradžioje tapo eiliniu astronominiu įvykiu. Ypač jų paieška paspartėjo, iškelus į orbitą aplink Saulę specialius kosminius teleskopus *Kepler* ir *Transiting Exoplanet Survey Satellite* (TESS), jų optiniai teleskopai vienu metu gali stebėti daugelį žvaigždžių. Jau yra aptikta tūkstančiai egzoplanetų; tiesa, jų atradimai pripažįstami tik tuomet, kai jie patvirtinami Žemės teleskopu radialinio greičio metodu.



10.13 pav. Pirmoji tiesiogiai stebėta planeta prie kitos žvaigždės. Atradimas padarytas 2004 m., naudojantis infraraudonųjų spindulių teleskopu Čilėje. Žvaigždė – rudoji nykštukė, esanti už 230 šviesmečių, egzoplaneta – Jupiterio dydžio.

X skyrius

Lengviausia atrasti Jupiterio dydžio planetas, tad egzoplanetų sąrašė jų yra daugiausia. Vis dėlto jau pavyko aptikti ir Žemės dydžio planetų. Įrodyta, kad kai kurios žvaigždės turi daugiaplanetes sistemas. O nuomonę, kad jos gali egzistuoti tik prie pavienės žvaigždės, paneigė planetų atradimas net trinarėje ir keturnarėje sistemoje.

Vadinasi, didesnė ar mažesnė planetų sistema yra dėsningas žvaigždės formavimosi padarinys. Tad labai padidėja tikimybė, kad prie daugelio Galaktikos žvaigždžių gali egzistuoti gyvybė. Žmonija pamažu atsisakė iliuzijų, kad Žemė yra pasaulio centras, kad Saulė – išskirtinė žvaigždė. Matyt, tokia pat naivi būtų nuomonė, kad, esant gyvybei palankioms sąlygoms, ji galėjo atsirasti tik Žemėje. Plačiau apie kosminių civilizacijų egzistavimo problemą ir jų paieškas rašoma XII skyriuje, straipsnelyje „Kosminės civilizacijos“.

XI

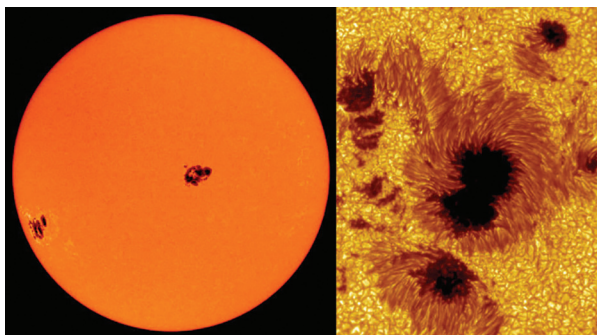
ŽEMĖS IR KOSMOSO RYŠIAI

Žemė ir kosmosas iki šiol daugeliui atrodo esą du tarpusavyje mažai susiję pasauliai, paklūstantys skirtingiems dėsniams. Tiesa, žmonių, besidominčių astrologinėmis prognozėmis, yra ne taip jau mažai, bet tik retas žiūri į jas rimtai.

XX a. atsivėrus galimybėms pradėti tirti Žemės ir kosmoso ryšius mokslo metodais, buvo pastebėta įdomių dėsningumų, nors klausimų tebėra daugiau nei vienareikšmių atsakymų.

Saulės aktyvumas ir Žemės ritmai. Dabartiniu savo raidos laikotarpiu Saulė yra gana rami žvaigždė. Vis dėlto tas plazmos kamuolys nevienodai įkaitęs: šerdyje, kur vyksta termobranduolinės reakcijos, temperatūra siekia 15 milijonų laipsnių, o jos paviršiuje – fotosferoje – „tik“ 6000 laipsnių. Šilumą iš Saulės gelmių į išorę perneša fotonai ir elektringųjų dalelių srautai; pastarieji sukuria stiprius magnetinius laukus.

Saulės paviršiaus aktyviosios sritys atrodo kaip tamsesnės dėmės (11.1 pav.) (čia stiprus magnetinis laukas trukdo karštai plazmai pasiekti

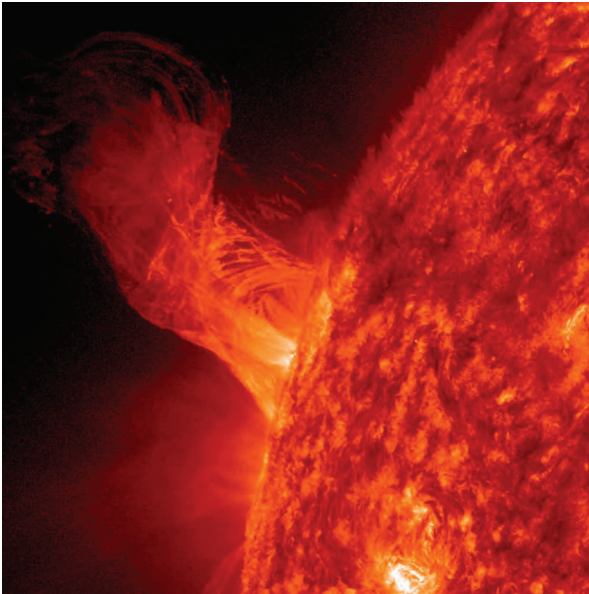


11.1 pav. Saulės dėmės; dešinėje jos parodytos stambesniu masteliu.

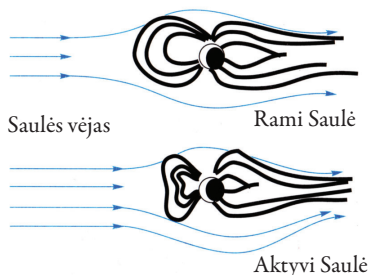
XI skyrius

paviršių, todėl dėmių temperatūra yra žemesnė). O kintamieji magnetiniai laukai išsviedžia virš fotosferos plazmos srautus – protuberantus, kurie išskyla net į 100 000 km aukštį (11.2 pav.). Be to, dėmių aplinkoje vyksta galingi sproginiai – žybsniai. Jų metu į kosminę erdvę išsiveržia plazmos pliūpsniai. Žybsnių metu labai sustiprėja skvarbiųjų Saulės spindulių – ultravioletinių ir Röntgeno – srautas (o regimoji šviesa beveik nepakinta). Jie pasiekia Žemę per aštuonias minutes, bet, laimė, yra sugeriami aukštutinių atmosferos sluoksnių, ypač ozono sluoksnio.

Saulės aktyvumo laikotarpiu labai sustiprėja ir vadinamasis Saulės vėjas, kurį sudaro Saulės skleidžiamos elektringosios dalelės – elektronai, protonai ir lengvųjų atomų branduoliai. Jos juda kur kas mažesniu greičiu negu šviesa ir pasiekia Žemę tik po keleto dienų. Saulės vėjas sutrikdo Žemės magnetinį lauką, vadinamą magnetosfera. Elektringųjų dalelių srautas deformuoja magnetosferą: suspaudžia magnetinio lauko linijas artimesnėje Saulei – dieninėje pusėje, ir ištempia jas priešingoje – naktinėje pusėje (11.3 pav.).



11.2 pav. Saulės protuberantas.



11.3 pav. Saulės vėjas iškreipia Žemės magnetinio lauko linijas, ypač Saulės aktyvumo laikotarpiu.

Saulės vėjo gūšiai sukelia staigų magnetosferos kitimą – magnetines audras, kurių metu sutrinka trumpabangis radijo ryšys, yra stebimos įspūdingos poliarinės pašvaistės. Kintamasis magnetinis laukas sukuria laidininke elektros srovę (o laidininkų Žemėje gausu), tad gali gesti elektronikos prietaisai, elektros perdavimo linijos, ypač srityse arčiau sągalių, kur magnetinio lauko pokyčiai būna didesni.

1989 m. labai stipri magnetinė audra sukėlė Kvebeko provincijos (Kanada) elektros tinkluose gana stiprias papildomas elektros sroves, kurios išvedė iš rikiuotės visą sistemą. Regionas, kuriame gyvena apie šešis milijonus žmonių, liko be elektros energijos, o gedimams pašalinti prireikė net devynių valandų. Šiaurės šalyse yra buvę ir daugiau elektros tinklų gedimų dėl Saulės kaltės.

Kartais, jei itin daug elektringųjų dalelių patenka į Žemės atmosferą, aukštutiniuose atmosferos sluoksniuose susidaro laikinos zonos, atspindinčios ultratrumpą bangas, kurioms Žemės atmosfera paprastai esti skaidri. Dėl to tampa galimas tolimasis ryšys šiomis bangomis. Kadangi tokių pat dažnių bangos yra naudojamos daugelyje pasaulio vietų, tai atsiranda įvairių trikdžių, pavyzdžiui, retkarčiais suveikia automatinės sistemos, pranešančios apie stichines nelaimes (griūtis, potvynius ir pan.). Būta atvejų, kai dėl tolimų signalų poveikio atsidarydavo ar užsidarydavo garažų durys, įsijungdavo kiti jautrūs automatiniai prietaisai.

Saulės dėmės gyvuoja nuo keleto parų iki kelių mėnesių. Saulės aktyvumas yra apibūdinamas vadinamuoju Wolfo skaičiumi (Wolfo skaičius):

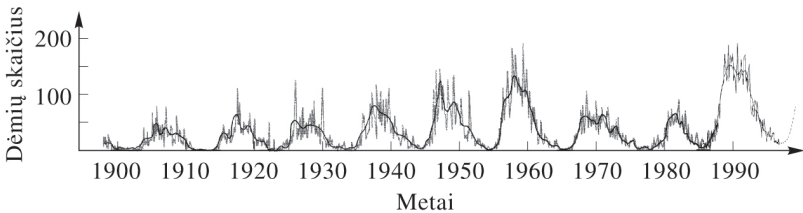
XI skyrius

$$W = k(d + 10g);$$

čia d – matomų dėmių skaičius, g – jų grupių skaičius, o k – tam tikras koeficientas. Wolfo skaičiaus kitimas akivaizdžiai liudija, kad Saulės aktyvumas periodiškai svyruoja išaugdamas kas 11 metų (11.4 pav.). Be to, kartais stebimas 22 metų periodas (kas antras maksimumas būna kiek aukštesnis). O pasitelkus senesnius, tiesia, ne tokius tikslus duomenis, išskiriami ir kiti, ilgesnės trukmės Saulės ciklai: 90 ir 200 metų. Tų Saulės aktyvumo kitimų priežastis kol kas nėra aiški, manoma, kad juos lemia kokie nors cikliški procesai Saulės gelmėse.

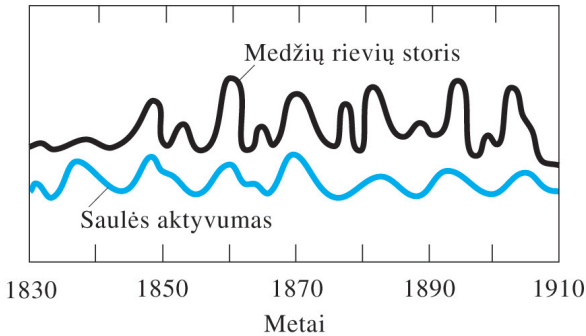
Apskritai, netgi stipraus žybsnio metu visa Saulės skleidžiama energija pakinta tik tūkstantosiomis procento dalimis, o skvarbioji spinduliuotė bei Saulės vėjas beveik nepasiekia Žemės paviršiaus, todėl atrodytų, kad jie negali turėti didesnio poveikio Žemės klimatui, gyvūnijai bei augalijai. Tačiau per daugelį metų, ypač XX a., buvo surinkta įvairių duomenų, liudijančių, kad sausros, kai kurių ligų epidemijos, netgi ekonominės krizės turi tendenciją kartotis periodais, atitinkančiais Saulės aktyvumo ciklus. Antai medžio rėvių storio svyravimai akivaizdžiai atitinka Saulės aktyvumo kitimą (11.5 pav.). Aišku, atitikimas nėra nei tikslus, nei vienareikšmis, nes medžių augimą lemia ir kitos – žemiškosios priežastys. Panašius vienuolikos metų ir ilgesnius ciklus galima įžiūrėti ir koralų prieaugyje.

Moksle priežastinis ryšys tarp reiškinų galutinai pripažįstamas, kai išsiaiškinamos jo atsiradimo sąlygos, veikimo būdas. Kol kas egzistuoja įvairių hipotezių, kodėl ir kaip nedideli Saulės aktyvumo pokyčiai gali turėti nemažą poveikį Žemės meteorologiniams reiškiniams ir biosferai.



11.4 pav. Saulės dėmių skaičiaus kitimas. Ryškesnė linija – suvidurkinta kreivė.

ŽEMĖS IR KOSMOSO RYŠIAI



11.5 pav. Sąsaja tarp Saulės dėmių skaičiaus ir medžių rievų storio kitimo.

Oro cirkuliacija Žemės atmosferoje yra chaotinio pobūdžio (užtat ilgesenio laikotarpio orų prognozės iki šiol nėra patikimos), o tokiu atveju nedidelis poveikis, kaip ir nestabilaus kūno lengvas stumtelėjimas, gali sukelti esminių pokyčių. Tas poveikis labai sustiprėja, jeigu yra rezonansinio pobūdžio. Galbūt Saulės vėjas, įelektrinantis aukštutinius atmosferos sluoksnius, padidina audrų tikimybę, o jos savo ruožtu keičia oro srautų cirkuliaciją? Tai kol kas tik tyrimų gairės.

Nors orbita, kuria skrieja Žemė, yra labai pastovi, jos klimatui yra būdingi gana stiprūs svyravimai: ilgalaikius šiltesnius laikotarpius keičia ledynmečiai, ir atvirkščiai. Kadaise didelę planetos dalį yra dengę ledynai arba netgi Antarktidoje augę miškai. Kaip liudija geologiniai duomenys, per paskutinį milijoną metų ledynmečiai mūsų planetoje kartojosi apie dešimt kartų, o jie trukdavo nuo keliolikos iki keliasdešimties tūkstančių metų. Paskutinis ledynas į dabartinę Lietuvos teritoriją atslinko iš Skandinavijos prieš 25 tūkstančius metų ir pamažu uždengė ją visą, išskyrus Medininkų aukštumą. O klimatui atšilus, ledynas pasitraukė prieš 10 tūkstančių metų; slinkdamas ir tirpdamas jis suformavo mūsų kraštovaizdį – kalvas, daubas, ežerus, upes.

Galbūt ledynmečius sukelia nedideli Žemės orbitos ar sukimosi ašies orientacijos pokyčiai, kuriuos lemia kosminės priežastys, Saulės bei kitų planetų įtaka? Tikėkimės, kad iki kito ledynmečio pradžios mokslininkai išsiaiškina tas priežastis.

Aplink Žemę skriejantis Mėnulis Žemę veikia tik savo traukos jėga. Būtent ši jėga sukelia potvynius ir atoslūgius – jūrų bei vandenynų lygio

periodinį kitimą. Tiesa, Saulės trauka irgi prisideda prie šio reiškinio, bet maždaug du kartus silpniau, o didžiausi potvyniai būna tuomet, kai Mėnulis ir Saulės sustiprina vienas kito poveikį. Beje, panašiai svyruoja ir Žemę gaubianti oro sfera, bet stebimi atmosferos slėgio svyravimai nedideli – vos 0,1 mm gyvsidabrio stulpelio. Mėnulio ir Saulės trauka sukantis Žemei sukelia ir nedidelius Žemės plutos svyravimus bei įtampas joje. Tai gali būti lemtingas „lašas“ žemės drebėjimui ar ugnikalnio išsiveržimui prasidėti. Vis dėlto svarbiausios šių reiškinių priežastys slypi Žemės gelmėse, tad, norint numatyti galimas katastrofas, nepakanka žinoti tiksliai Saulės ir Mėnulio padėtis.

Nuo seno įvairiose šalyse įprasta manyti, kad Mėnulis veikia gyvuosius organizmus Žemėje: sėdami, sodindami augalus ar skersdami gyvulius, žmonės neretai pasitikrina, ar tam palanki Mėnulio fazė. Daugelio žmonių ir kartų įsitikinimas ne visada būna pagrįstas – kai kuriais atvejais turi tik maginę prasmę. Antra vertus, galbūt Mėnulis tam tikru būdu, sukeldamas pokyčius Žemės atmosferoje, gali veikti ir biosferą. Tai atrodo mažai realu, bet kategoriškai, nepatikrinus nuodugniais tyrimais, negali būti atmesta.

Planetų įtaka įvairiems procesams Žemėje dar mažiau įtikima. Juk kitos planetos yra labai toli nuo mūsų: jeigu Žemę įsivaizduosime esant obuolio dydžio, tai artimiausia jai Venera bus ne arčiau kaip už 60 metrų, o Jupiteris – už 3 kilometrų. Tiesa, yra nepaprastai menka galimybė, kad tas pats Jupiteris rezonansiškai šiek tiek keičia Saulės aktyvumą, o šis savo ruožtu veikia Žemę...

O artimiausia žvaigždė, Žemę laikant obuolio dydžio, būtų net už dviejų šimtų tūkstančių kilometrų. Bet koks fizinis jos poveikis Žemei yra dar mažesnis negu žolėje ropinijančio vabalo poveikis planetai. Taigi žvaigždynų įtaka procesams Žemėje, o tuo labiau – žmonių likimams ar istoriniams įvykiams, fizikos požiūriu, yra neįtikima.

Kometų, asteroidų ir meteoritų pavojai. Ilgus amžius kometų – uodeguotųjų žvaigždžių – pasirodymas danguje buvo laikomas karų, ligų epidemijų ir kitokių nelaimių ženklų. Tai akivaizdus pavyzdys, kaip iš kartos į kartą perduodami įsitikinimai gali būti klaidingi, neturėti jokio realaus pagrindo.



11.6 pav. Scena iš senovinio gobeleno, vaizduojanti Halley kometos (Halio kometa) pasirodymą 1066 m. Gobelenas saugomas Bayeux (Bajo) miesto muziejuje (Prancūzija).

Iš tikrųjų kometos yra labai išstęstomis orbitomis judantys ledo, dulkių ir uolienu gurvoliai – keletu šimtų metrų ar net keliasdešimties kilometrų dydžio. Artėdami prie Saulės, jie ima garuoti, o išsiskyrusios dujos bei atrūkusios dulkės, stumiamos Saulės vėjo, sudaro ilgą kometos uodegą, kuri kartais būna nutįsusi net dešimtis milijonų kilometrų.

Kometa tampa pavojinga tik tuomet, kai labai priartėja prie Žemės ir krinta į ją ar sprogsta ore. Astronomai 1994 m. labai susidomėję stebėjo didelės kometos susidūrimą su Jupiteriu. Prieš tai ji, paveikta tos planetos traukos, subyrėjo į gabalus, ir šie visą savaitę krito į Jupiterį, sukeldami milžiniškus sproгимus (jų galia gerokai viršijo visų Žemėje turimų branduolinių bombų galią). Kometa pataikė į nematomą Jupiterio pusę, bet, jam pasisukus, paviršiuje buvo matyti sproгимų pėdsakai – didžiulės dėmės (11.7 pav.).

Mūsų laimei, kometos ar asteroido susidūrimas su planeta yra nepaprastai retas įvykis. Pradiniu planetų egzistavimo laikotarpiu tai vyko dažniau, nes erdvėje klajoję daug nesusijungusių į planetas planetesimalių. Apie

XI skyrius

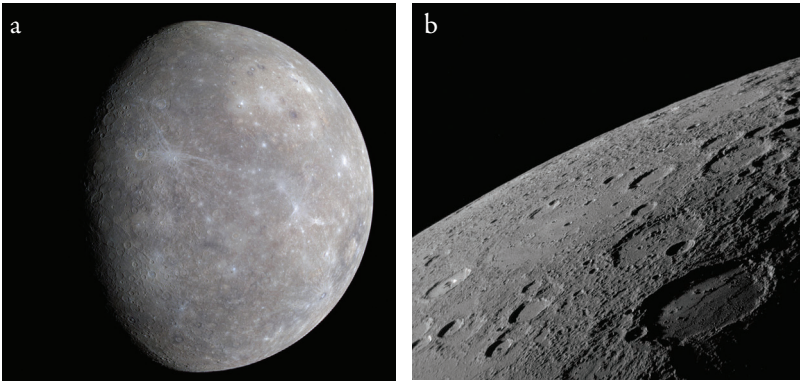


11.7 pav. Dėmės Jupiteryje, kurios atsirado po to, kai į jį per savaitę nukrito Shoemakerių ir Levy 9 kometos 21 gabalas. Kai kurios dėmės didesnės už Žemę.

didesnių ir mažesnių dangaus kūnų smūgius liudija daugybė kraterių Marso, Merkurijaus, taip pat ir Žemės palydovo Mėnulio paviršiuje (11.8 pav.).

Nedideli meteoritai – kelių ar keliolikos kilogramų masės kūnai krinta į Žemę, dažniausiai nepadarydami didesnių nuostolių. O meteorai – kosminės dulksės, trumpam žybtelėjančios Žemės atmosferoje, matomi kiekvieną giedrą naktį kaip krintančios žvaigždės.

Plačiau apie krintančius dangaus kūnus ir galimą apsaugą nuo jų rašoma straipsnelyje „Dangaus akmenys“.

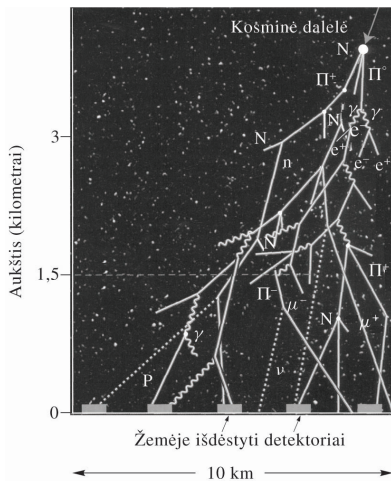


11.8 pav. Merkurijaus paviršius nusėtas įvairaus dydžio smūginiais krateriais, kurie liudija apie daugelio asteroidų ir meteoritų kritimą į planetą (a); padidintas kraterių vaizdas (b). (Kosminio zondo *Mariner 10* nuotrauka.)

Kosminiai spinduliai. XX a. pradžioje buvo nustatyta, kad Žemę nuolat veikia kosminiai spinduliai – iš kosmoso atlekiančios didelės energijos dalelės. Tyrimai parodė, kad iš šimto tokių dalelių vidutiniškai devyniasdešimt būna protonai, devyni – helio branduoliai, o likęs vienas – sunkesnio elemento, netgi geležies branduolys. Greitai dalelei pataikius į Žemės atmosferos dujų atomą, jo branduolys suskaldomas ir sukuriama kitų elementariųjų dalelių. Šios taip pat turi gana dideles energijas ir savo ruožtu smogia į atomus. Taigi vietoj pirminės kosminės dalelės Žemės paviršių pasiekia įvairių elementariųjų dalelių, vadinamų antriniais kosminiais spinduliais, liūtis (11.9 pav.).

Kosminiuose spinduliuose pasitaiko gerokai didesnės energijos dalelių, negu galima gauti moderniaisiais dalelių greitintuvais, tad spindulių sukeltose liūtyse įmanoma aptikti dar nežinomų elementariųjų dalelių. Būtent tiriant kosminius spindulius, buvo atrasti pozitronas, miuonas ir kitos dalelės. Atrodytų, kad neverta kurti labai brangių dalelių greitintuvų – geriau naudotis gamtos kosmine laboratorija. Deja, dalelės, kurių energija milžiniška, atlekia itin retai, ir neįmanoma iš anksto numatyti, kurioje vietoje reikia pastatyti dalelių registravimo prietaisą.

Nedidelę dalį mažesnės energijos kosminių spindulių skleidžia Saulė. O kitos dalelės krinta į Žemę vienodu srautu iš visų pusių. Tai liudija,



11.9 pav. Elementariųjų dalelių liūtis, kurią sukėlė didelės energijos kosminės dalelės įsiveržimas į Žemės atmosferą. Išstinės linijos žymi įvairių elementariųjų dalelių (elektrono (e^-), pozitrono (e^+), miuonų (μ^- , μ^+), neutrono (n), protono (p), pi mezonų (Π^0 , Π^- , Π^+) ir atomo branduolio (N) trajektorijas, vingiuota linija – fotono (γ), o taškuota linija – neutrino (ν) trajektorijas.

kad jos susidaro mūsų Galaktikoje ar net už jos ribų, o silpni, tačiau toliasiiekiai magnetiniai laukai kosminius spindulius išsklaido įvairiomis kryptimis.

Kokių kosminių procesų metu gali atsirasti didelės energijos dalelių? Matyt, dauguma kosminių spindulių susidaro sprogstant supernovoms. Be to, panašios energijos spindulius dar gali skleisti neutroninės žvaigždės bei medžiaga, krintanti į juodąsias skyles. O itin greitų dalelių kilmė kol kas tebėra mįslė mokslininkams.

Kosminiams spinduliams veikiant Žemės atmosferą, joje susidaro nedidelis radioizotopų kiekis; tai yra viena iš natūraliojo fono priežasčių. Šie spinduliai šiek tiek jonizuoja orą, tad jų sukurtais elektrai laidžiais kanalais, matyt, pasinaudoja pirminės žaibo kibirkštys.

Taigi Žemė ir kosmosas yra glaudžiai susiję, bet sudėtingi jų ryšiai dar tik pradeda ryškėti.

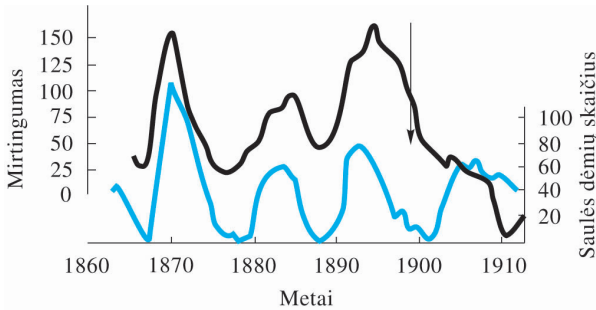
SAULĖS AKTYVUMO CIKLAI, LIGŲ EPIDEMIJOS IR AZIJOS KLAJOKLIŲ ANTPUOLIAI

XVIII amžiuje anglų astronomas Williamas Herschelis atkreipė dėmesį į netikėtą ryšį tarp Saulės dėmių skaičiaus ir kviečių kainų Anglijoje: kuo aktyvesnė Saulė, tuo mažesnės būna kviečių kainos. Tai paaiškinama gana paprastai – Saulės aktyvumas skatina ciklonų susidarymą, iškrinta daugiau lietaus, tad kviečių derlius būna geresnis ir kainos sumažėja.

Gana daug panašių ryšių tarp Saulės aktyvumo kitimo ir įvairių procesų Žemėje nustatė rusų mokslininkas Aleksandras Čiževskis XX a. trečiajame dešimtmetyje. Jis pirmasis mėgino tyrinėti juos mokslu metodais. Deja, A. Čiževskio idėjos nesiderino su tuo metu SSRS vyravusia oficialia nuostata, kad visus svarbiausius, bent jau istorinius, procesus lemia proletariatas. A. Čiževskio tyrinėjimai buvo nutraukti, o jis pats išsiųstas „perauklėti“ į Sibirą. Vis dėlto jo monografija buvo išleista Prancūzijoje, o po trisdešimt penkerių metų – ir tėvynėje.

Patitelkęs medicinos statistiką, A. Čiževskis nustatė, kad žmonių ir gyvūnų ligų protrūkiai neretai būna susiję su Saulės aktyvumo kitimu. 11.10 pav. pateiktas pavyzdys iš minėtos jo knygos – mirtingumo nuo

ŽEMĖS IR KOSMOSO RYŠIAI



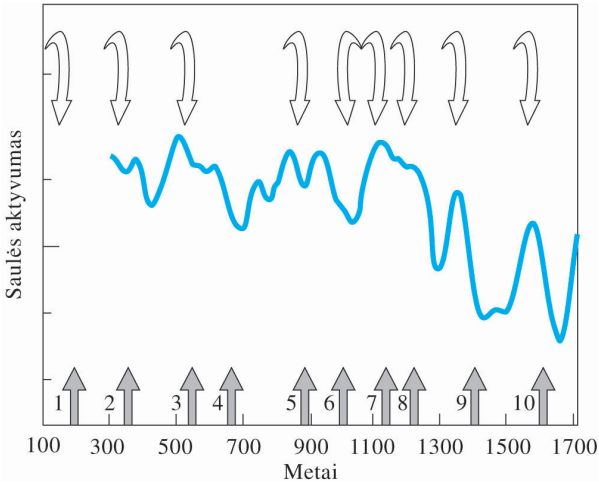
11.10 pav. Mirtingumas nuo difterito Danijoje (juoda linija) ir Saulės dėmių skaičius (mėlyna linija). Strėliukė žymi skiepijimo nuo difterito pradžią.

difterijos dinamika Danijoje. Vėlesni tyrimai parodė, kad įvairiose šalyse susirgimų dinamika yra skirtinga arba gali visiškai nebūti cikliškumo, tad, suvidurkinus duomenis visos planetos mastu, sąsajos su Saulės aktyvumo kitimu nebežiūrima. Tai liudija, kad epidemijų atsiradimą ir plitimą lemia daugelis priežasčių, o Saulės aktyvumo įtaka yra netiesioginė ir nevienareikšmė. Tokio poveikio mechanizmas nėra aiškus iki šiol.

A. Čiževskis ir jo sekėjai įrodinėjo, kad Saulės ciklai taip pat veikia žmonių psichiką: didžiausio Saulės aktyvumo metais jie pasidaro dirglesni, labiau pasiduoda agitacijai, tuo metu išauga maištų, karų ir ekonominių krizių tikimybė. O Saulės aktyvumui esant mažiausiam, žmonės, priešingai, tampa ramesni ir ne tokie agresyvūs. Labai esą pavojingi aktyvumo spartaus kitimo laikotarpiai. A. Čiževskis spėjo, kad gyvuosius organizmus veikia fizikams dar nežinomi Saulės spinduliai, kuriuos jis pavadino Z spinduliais. Vis dėlto tokių spindulių nebuvo aptikta, o pateikti duomenys pasirodė esą netikslūs, nepakankamai sistemingi ar paaiškinami kitokiomis priežastimis.

Štai vienas įdomus pavyzdys. Viduramžiais Europą, Iraną ir Kiniją retkarčiais užplūdavo klajoklių gentys iš Azijos stepių. Visi didieji jų įsiveržimai vyko išaugusio Saulės aktyvumo laikotarpiais (11.11 pav.). Argi tai nėra pakankamas argumentas, kad Saulės ciklai veikia žmogaus psichiką, skatina jo agresyvumą? Vis dėlto, atidžiau panagrinėjus istorinius šaltinius, paaiškėjo, kad tie įsiveržimai vykdavo Azijos stepes ištikus didelei sausrai.

XI skyrius



11.11 pav. Saulės aktyvumo kitimas (nustatytas pagal medžių rieves – ištisinė linija), Azijos klajoklių didieji įsiveržimai (strėlės apačioje) ir didžiosios sausros Azijos stepėse (strėlės viršuje).

Gyvuliams trūkdavo pašaro, tad klajokliai migruodavo iš įprastų vietų į drėgesnes sritis. Tiesa, sausros žemyno viduryje viena iš priežasčių, matyt, būdavo padidėjęs Saulės aktyvumas (Anglijoje jis lemdavo daugiau kritulių, bet Azijos stepėse jų labai sumažėdavo). Mokslas kol kas negali atsakyti į klausimą, ar Saulės aktyvumas veikia žmogaus ir gyvūnų elgseną, nors daugelis mokslininkų labai skeptiškai vertina tokio tiesioginio poveikio galimybę.

DANGAUS AKMENYS

„Akmenys negali kristi iš dangaus, nes ten jų nėra“, – teigiama Paryžiaus mokslų akademijos dokumente, kurį 1772 m. pasirašė žymus chemikas Antoine'as de Lavoisier (Antuanas de Lavuazjė). Juk akmenų egzistavimas danguje nesiderino su to meto požiūriu į Visatos sandarą. Vis dėlto netrukus neginčijami įrodymai įveikė mokslinį skepticizmą, taigi teko pripažinti, kad akmenys gali kristi iš dangaus ir kad jie yra nežemiškos prigimties.

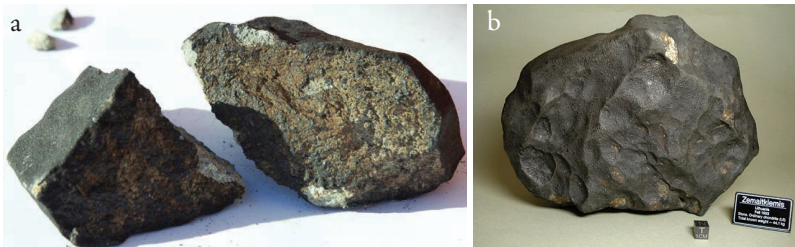
ŽEMĖS IR KOSMOSO RYŠIAI

Dauguma meteoritų (9 iš 10) yra akmeniniai, dar būna geležinių arba akmeninių su geležies intarpais. Lėkdamas per Žemės atmosferą, meteoritas gerokai sumažėja, išsilydęs paviršius išgaruoja, o neretai ir visas meteoritas subyra į gabalus.

Dabar pasaulio muziejuose yra daugiau kaip dešimt tūkstančių meteoritų; nemaža jų dalis rasta Antarktidoje, nes ten juos lengva pastebėti ant balto, stiprių vėjų nugairinto ledyno paviršiaus. Lietuvoje kol kas yra rasti tik keturi meteoritai. Juodžių meteoritas nukrito 1877 m. Panevėžio apylinkėse; keletas jo skeveldrų yra atsidūrusios užsienio šalių muziejuose. Nežinia kur pradingo maždaug 1 kg meteoritas, aptiktas 1908 m. netoli Akmenės. Labiau pasisekė Andrioniškio meteoritui (Anykščių r.): vienuolika jo gabaliukų (bendra masė 3,86 kg) 1929 m. surinko Andrioniškio apylinkių ūkininkai, o 1969 m. buvo rasta dar viena 1,07 kg jo dalis. Nelabai toli nuo tos vietos 1933 m. nukrito Žemaitkiemio meteoritas – buvo aptikti net 22 jo gabalai, iš viso apie 44 kg. Pastarųjų dviejų meteoritų pavyzdžius galima apžiūrėti Vilniaus universiteto Geologijos muziejuje bei Gamtos tyrimų centro mineralų muziejuje (11.12 pav.).

Pats didžiausias meteoritas buvo aptiktas 1920 m. Pietų Afrikoje, Namibijoje; šio geležinio meteorito masė maždaug 60 tonų.

Stambesni meteoritai dažniausiai atlekia iš asteroidų juostos, esančios tarp Marso ir Jupiterio orbitų; matyt, tai subyrėjusių asteroidų gabalai. Kai kurie meteoritai yra išlėkę iš Mėnulio, mažesnių planetų ar jų palydovų, į juos dideliu greičiu smogus asteroidui arba net ugnikalnio išsiveržimo metu. Tiriant Žemėje rastus meteoritus pagal sudėtį, amžių ir kitas savybes, tarp jų yra atpažįstamos Mėnulio ir Marso uolienos.



11.12 pav. Andrioniškio (a) ir Žemaitkiemio (b) meteoritų gabalai.



11.13 pav. Meteorito kritimas į Žemę.

Ar pavojingi meteoritai žmogui? Pavojus yra nepaprastai menkas – juk per keletą šimtų metų į kvadratinį kilometrą nukrinta tik vienas meteoritas (neskaitant kosminių dulkių). Be to, maži meteoritai dažniausiai išsekvoja energiją, kol pralekia Žemės atmosferą, ir į jos paviršių trenkiasi nedideliu greičiu. Yra žinoma atvejų, kai meteoritas krisdavo į namą, pramušdavo stogą, bet didesnės žalos nepadarydavo. Užregistruotas ir plačiai aprašytas atvejis, kai meteoritas pataikė į žmogų, nutiko 1954 m. JAV. Moteris snūduriavo ant sofos, kai keturių kilogramų meteoritas pro lubas įlėkė į kambarį, atšokęs nuo radiolos, atsimušė moteriai į ranką, paskui į klubą, kur paliko didelių mėlynių. Tačiau mirtinas incidentas, sukeltas meteorito, iki šiol žinomas ir patvirtintas tik vienas. Turkijos archyvuose šiame amžiuje rasti dokumentai liudija, kad 1888 m. meteoritas Suleimanijos mieste (dabar Irakas) užmušė žmogų.

Nukritęs meteoritas netgi nesukelia gaisro, nes oro srovė nupučia išsilydžiusį paviršiaus sluoksnį, o vidus nespėja įkaisti per keliolika sekundžių, kol meteoritas lekia per Žemės atmosferą.

Taigi nedideli meteoritai nėra pavojingi, o jų nauda – išskirtinė, nes be jokių kosminių ekspedicijų gaunama unikalios informacijos apie Saulės sistemos kūnus ir jų raidą.

Vis dėlto dabar, kai aplink mūsų planetą skrieja daug dirbtinių palydovų ir jų nuolaužų, retkarčiais žemėn nukrinta ir žmogaus gamybos „meteoritas“, galintis būti netgi radioaktyvus. Antai 2016 m. vasario mėnesį buvo pranešta, kad Indijoje krisdamas meteoritas užmušė vieną žmogų ir dar tris sužeidė,

tačiau ekspertai nustatė, kad tas objektas dirbtinės kilmės – Žemės palydovo nuolauža.

Suradus labai keistą akmenį, ypač jei prieš tai danguje praskriejo ugnies kamuolys ir buvo girdėti trenksmas, nevertėtų radinio tyrinėti pačiam, o apie jį pranešti astronomams.

ASTEROIDŲ GRĖSMĖ IR APSAUGA NUO JŲ

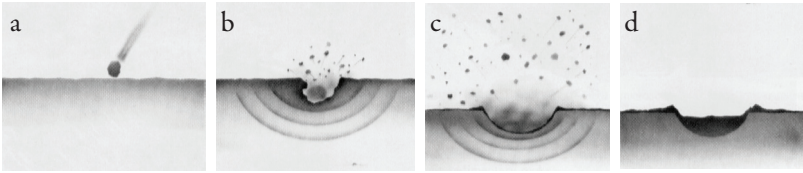
Shoemakerių ir Levy 9 kometos (Šumeikerių ir Levio 9 kometa) kritimas į Jupiterį (žr. 11.7 pav.) sukėlė ne tik visuotinį susidomėjimą, bet ir susirūpinimą. Juk jeigu tokia katastrofa ištiktų Žemę, tai reikštų mūsų civilizacijos žlugimą.

Ar yra buvę panašių įvykių tolimoje praeityje? XIX a. pabaigoje buvo atkreiptas dėmesys į Arizonos kraterį (11.14 pav.), esantį JAV pietvakarinėje dalyje. Tai 1200 m skersmens ir apie 170 m gylio ovali įduba, apsupta kelių dešimčių metrų aukščio pylimo. Krateryje ir aplink jį buvo surinkta kelios dešimtys tonų meteoritinės geležies, taip pat mineralų, kurie susidaro esant labai aukštam slėgiui. Atlikti tyrimai liudija, kad šis krateris atsirado maždaug prieš 50 000 metų, smogus į Žemę apie 50 m skersmens geležiniam meteoritui (toks kūnas dažniau vadinamas asteroidu). Laikui bėgant, krateris dėl erozijos tapo perpus seklesnis, o ilgainiui jis visiškai susilygins su aplinkos reljefu.



11.14 pav. Arizonos meteoritinis krateris.

XI skyrius



11.15 pav. Kraterio susidarymas stambiam meteoritui smogus į Žemę (b, c) ir vėlesnis kraterio sunykimas (d).

1908 m. birželio 30 d. Rytų Sibiro gyventojai bei Transsibiro geležinkeliu važiuojantys keleiviai dangujame išvydo saulės ryškumo kamuolį, kuris dideliu greičiu skriejo į šiaurės vakarus. Laimė, jis krito į negyvenamą pelkėtą vietovę taigoje, Akmenuotosios Tunguskos upės rajone, betgi trenksmas buvo girdimas beveik už tūkstančio kilometrų. Katastrofos vietoje buvo išguldyta per porą tūkstančių kvadratinį kilometrų miško (11.16 pav.), tačiau kraterio aptikti nepavyko. Sukurta įvairių hipotezių apie Tunguskos atėjūno prigimtį. Anot vienos iš jų, tai buvo iš ledo ar purios medžiagos sudarytas mažos kometos branduolys, kuris sprogo ore ir Žemės paviršiaus nepasiekė. Anot kitos hipotezės, apie 100 m dydžio akmeninis ar geležinis meteoritas įlėkė į atmosferą mažu kampu Žemės paviršiaus atžvilgiu ir sprogo dideliame aukštyje. Galinga smūginė banga išvertė mišką; o paties meteorito skeveldros buvo nublokštos toli nuo sprogo vietos.



11.16 pav. Išguldytas miškas Tunguskos meteorito kritimo vietoje (dvidešimt metų po katastrofos).

ŽEMĖS IR KOSMOSO RYŠIAI

Geologai yra radę milžiniškų kraterių, kurie per milijonus metų buvo palaidoti po stora nuosėdų danga; jie vadinami astroblemomis – žvaigždžių žaizdomis (gr. *astron* – žvaigždė + gr. *blema* – žaizda). Tarp jų – Vredeforto (skersmuo 300 km, Pietų Afrikos Respublika), Sudbury (200 km, Kanada), Chicxulubo (180 km, Meksika), Popigajaus (100 km, Rusija, Sibiras) ir kiti. Dvi mažesnio dydžio astroblemos buvo aptiktos ir Lietuvoje: Veprių, Ukmergės r. (8 km) ir Mizarų, netoli Druskininkų (6 km) (11.17 pav.).

Prieš 65 milijonus metų, kreidos periodo pabaigoje, Žemėje išnyko apie pusė gyvūnijos ir augalijos. Tuo metu žuvo ir dauguma dinosauro, kurie iki tol viešpatavo sausumoje, vandenyje ir ore. Buvo iškelta įvairių hipotezių, kokios priežastys sukėlė masinį gyvųjų organizmų išmirimą: grandiozinis ugnikalnių išsiveržimas, supernovos sprongimas mūsų Galaktikoje santykinai netoli nuo Saulės, kosminių dulkių debesis, pasitaikęs Saulės kelyje, o gal asteroido ar kometos kritimas į Žemę?

Smogus į Žemę kelių kilometrų skersmens asteroidui, turėtų kilti galingi žemės drebėjimai, vulkanų išsiveržimai, cunamiai, uraganai, gaisrai, o nuo atmosferon išmestų dulkių bei dūmų Žemę keletui mėnesių apgaubtų tamsa. Įkaitusioje atmosferoje susidarytų azoto bei sieros rūgštys, kurios iškristų žemėn rūgščiosiomis liūtimis. Tad neišvengiamai žūtų didelė dalis gyvūnijos ir augalijos; vis dėlto atsparesnės rūšys išliktų, o



11.17 pav. Mizarų astroblema netoli Druskininkų. Žemėlapyje mėlyna taškuota linija pažymėtas krateris, kurį maždaug prieš penkis šimtus milijonų metų išmušė asteroidas. Laikui bėgant, krateris susilygino su žeme, bet jis buvo aptiktas atliekant geologinius tyrimus.

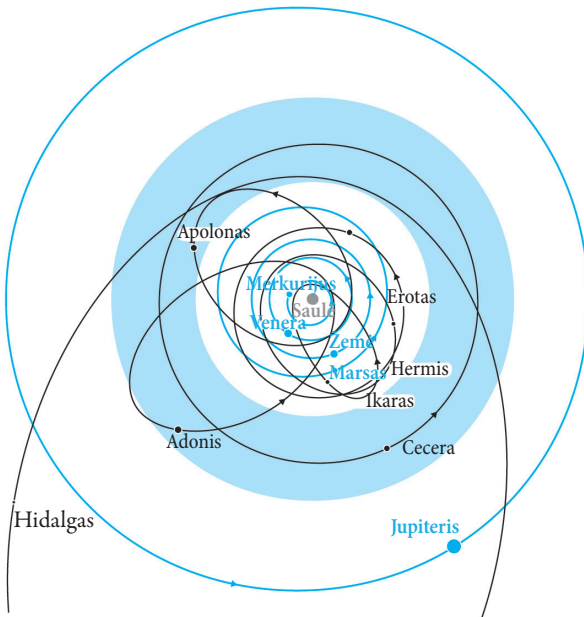
XI skyrius

vėliau netgi suklestėtų (kaip žinduoliai išnykus dinozaurams), nes staiga dingtų jų konkurentai ir priešininkai.

Toks susidūrimas turėjo palikti milžinišką kraterį, kurio ilgai ir atkakliai buvo ieškoma. Pagaliau 1991 m. pavyko aptikti 180 km dydžio astroblemą Centrinėje Amerikoje, Jukatano pusiasalyje ir Meksikos įlankos dugne. Uolienų tyrimai liudija, kad krateris susidarė maždaug prieš 65 milijonus metų. Be to, šio geologinio periodo sluoksnyje įvairiose Žemės vietose buvo aptiktas padidėjęs kiekis iridžio (Žemėje tai retas elementas, o meteorituose jo būna kur kas daugiau), taip pat kvarco atmainos kristalėlių, kurie susidaro esant dideliame slėgiui.

Po kometos kritimo į Jupiterį asteroidų pavojus buvo pripažintas rimta problema ir imta sistemingai nagrinėti tokios katastrofos pasekmes bei galimus apsaugos būdus.

Iš tikrųjų, arti Žemės orbitos skrieja gana daug didesnių ir mažesnių kosminių kūnų. Įvertinta, kad apie šimto metrų dydžio asteroidas gali



11.18 pav. Kai kurių stambesnių asteroidų orbitos Saulės sistemoje.

pataikyti į mūsų planetą kas keli tūkstančiai metų ir tai sukeltų regioninę katastrofą. Susidūrimas su maždaug kilometro dydžio asteroidu įmanomas kartą per pusę milijono metų ir grėstų globaline katastrofa. O kritimas į Žemę asteroido, panašaus į tą, kuris išnaikino dinosaurus, tikėtinas kartą per šimtą milijonų metų ir reikštų civilizacijos žūtį.

Deja, tie tikimybiniai įvertinimai nenurodo, kada susidūrimas iš tiesų įvyks. Tad siekiama surinkti kuo daugiau informacijos apie visus asteroidus, kurie priartėja prie Žemės orbitos. Tai leistų iš anksto numatyti susidūrimą ir imtis apsaugos priemonių. Pavyzdžiui, nukreipti asteroido trajektoriją sprogimais arba pastačius ant jo didelę burę, kurią stumtų Saulės vėjas. Mūsų civilizacijai sparčiai vystantis, tokios apsaugos priemonės gali būti pritaikytos.

JAV kosminė agentūra NASA yra įkūrusi centrą *Planetary Defense Coordination Office* (Planetos gynybos koordinavimo tarnyba), kuris kaupia duomenis apie Žemei pavojingus asteroidus. O jų stebėjimus vykdo įvairių šalių astronomai, tarp jų ir lietuvių astronomų grupė, vadovaujama Kazimiero Černio.

OZONO SLUOKSNIS IR SKYLĖS JAME

Žemės atmosferoje, ją veikiant Saulės ultravioletiniams spinduliams ir žaibams, susidaro nedidelis kiekis ozono. Tai deguonies atmaina (ozono molekulė sudaryta ne iš dviejų, o iš trijų deguonies atomų, ir žymima O_3), turinti visiškai kitokias savybes: ozonas yra stipraus kvapo (gr. *ozon* – kvepiantis), melsvos spalvos dujos, savaimė suyrančios į įprastinį deguonį. Ozonas naikina mikroorganizmus, todėl nedideli jo kiekiai apvalo orą ir vandenį, tačiau didesnės šios medžiagos koncentracijos yra kenksmingos ir žmogui.

Gausiausiai ozono yra 25–30 km aukštyje. Tiesa, ir ten jo koncentracija labai maža (visą ozoną sutelkus prie Žemės paviršiaus, esant normaliam slėgiui ir temperatūrai, jis sudarytų tik 3–4 mm sluoksnėlį). Vis dėlto net tas nedidelis ozono kiekis efektyviai sugeria ultravioletinius Saulės spindulius, ypač didesnį dažnį, kurie yra pavojingi gyvūnams ir augalams. Ta daugiau ozono turinti atmosferos sritis, labai svarbi gyvybei Žemėje, vadinama ozono sluoksniu.

1985 m. ne tik mokslininkus, bet ir visuomenę sujaudino netikėtas pranešimas, kad virš Antarktidos aptikta tūkstančio kilometrų skersmens ozono skylė. Iš tikrųjų šių dujų sluoksnis ten nebuvo išnykęs, tik jų pastebimai sumažėjo. Vis dėlto tai sukėlė nerimą ir imta matuoti ozono sluoksnį įvairiose vietose bei tirti jo kitimą.

Ozonas, kaip nestabili medžiaga, yra gana jautrus atmosferos pokyčiams, jo kiekis priklauso nuo temperatūros, oro masių judėjimo. Daugiausia ozono būna pavasarį (pati gamta tarsi pasirūpina apsaugoti gležnus augalus nuo skvarbiųjų spindulių) ir sumažėja per vasarą maždaug trečdaliu.

Vis dėlto, be gamtinių ozono kiekio svyravimų, buvo nustatyta bendra jo mažėjimo tendencija, o skylių surasta virš įvairių teritorijų, taip pat ir virš Lietuvos.

Ozono kiekis atmosferoje sumažėja išsiveržus ugnikalniams, kurie išmeta į aukštutinius atmosferos sluoksnius daug sieros ir chloro, kurie reaguoja su ozonu. Skyles ozono sluoksnyje sukuria ir raketų skrydžiai.

Vis dėlto didžiausias atmosferos ozono priešas pasirodė besą freonai. Šios lakios medžiagos naudojamos šaldytuvuose bei kondicionieriuose, jos įeina į lakų, insekticidų ir kitokių aerozolių sudėtį. Patekę į atmosferą ir veikiami saulės spindulių, freonai suyra išskirdami chlorą ir bromą, o šie aktyviai reaguoja su ozonu.

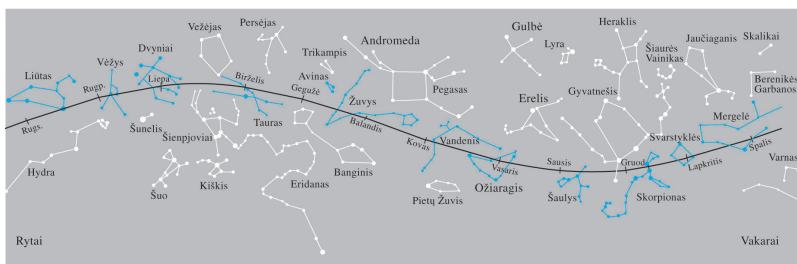
1985 m. buvo pasirašyta Vienos konvencija, o vėliau tarptautinis susitarimas, kurie apribojo medžiagų, naikinančių ozono sluoksnį, naudojimą. Susitarimą pasirašė dauguma pasaulio valstybių. Ozono sluoksnis atsigauja, bet visiškai atsikurti turėtų tik apie 2050 m.

O kol kas vertėtų mažiau degintis saulėje, ypač vidurdienį, Juk, suplonėjęs ozono sluoksniui, įvairiose šalyse, tarp jų ir Lietuvoje, pagausėjo odos ir akių susirgimų. Nuo sustiprėjusios ultravioletinės spinduliuotės kenčia ir gyvūnai bei augalai.

ASTROLOGIJA – TAMSUSIS ASTRONOMIJOS ŠEŠĖLIS

Kas nežino savojo Zodiako ženkle? Saulė per metus mums atrodo keliaujanti danguje per trylika žvaigždynų (11.19 pav.). Trylika – nelemtas skaičius, tad Gyvatnešio žvaigždynas neįtraukiamas ir dangaus juosta, kuria

ŽEMĖS IR KOSMOSO RYŠIAI



11.19 pav. Saulės kelias dangaus skliaute per žvaigždynus. Mėlynai pažymėti žvaigždynai, kurie priskiriami Zodiakui.

eina Saulės kelias, – Zodiakas (gr. *zoidion* – mažas gyvūnas; *zoidiakos kyklos* – mažų gyvūnų ratas; daugelis tos juostos žvaigždynų turi gyvūnų pavadinimus), pagal seną tradiciją, padalytas į dvylika lygių dalių, o kiekvienai iš jų priskirtas ženklas. Taigi žmogaus Zodiako ženklą lemia Saulės padėtis jo gimimo metu.

Internete, spaudoje, per televiziją nuolat pateikiamos ateities prognozės įvairiems Zodiako ženklams: kaip elgtis, ko tikėtis artimiausiu metu. Tačiau to paties ženklo žmonės sudaro labai margą minią, jie turi skirtingus charakterius, profesijas, likimus (pakanka prisiminti vien savo pažįstamus). Netgi rimtesni astrologai šaiposi iš tokių pranašysčių, sakydami, kad tai – laisvalaikio skaitiniai, skirti pramogai.

Tikroji astrologija sudėtingesnė. Ji atsižvelgia ne tik į Saulės, bet ir į Mėnulio bei planetų padėtis žmogaus gimimo metu, jų tarpusavio išsidėstymą. Dangaus skliautas dalijamas į dvylika sričių, vadinamų būtais. Schema, kurioje pažymėtos planetų, Mėnulio ir Saulės padėtys Zodiako žvaigždynų ir būstų atžvilgiu žmogaus gimimo metu, vadinama horoskopu. Dangaus šviesuliams bei Zodiako žvaigždynams astrologija priskiria gerą ir blogą poveikį tam tikriems žmogaus organams, ryšius su savaitės dienomis, stichijomis (pirminiais pradais) ir pan. Atsižvelgiant į šviesulių ir žvaigždynų tarpusavio išsidėstymą įvairiuose būstuose, remiantis painiomis senovinėmis taisyklėmis, nustatomas žmogaus likimas, asmeninės jo savybės, polinkiai. Panašiai astrologai numato istorinių įvykių, karo mūšių, futbolo rungtynių baigtį, o seniau skelbdavo netgi orų prognozes.

Astrologija susiformavo prieš 3–4 tūkstantmečius Babilonijoje ir Egipte, o pagrindiniai jos kanonai išliko iki mūsų dienų. Senovėje manyta, kad dangaus šviesuliai yra dieviškosios prigimties, tad dangaus ženkluose stengiasi išvelgti dievų valią, žmogui skiriamą lemtį. Dabar planetos neteko savo mistiškumo ir tapo paprastais Saulės sistemos kūnais, bet vis tiek astrologijoje Marsas, kadaise laikytas karo dievu, lemia polinkį kario ir kitoms profesijoms, susijusioms su ugnimi, meilės deivė Venera tebežada meilę ir draugystę (nors iš tikrųjų ši planeta pasirodė besanti gana nyki) ir pan. Astrologijos kūrėjai žinojo tik penkias klajojančias žvaigždes – planetas, o XVIII–XIX a. buvo atrastos dar dvi – didžiosios planetos Uranas ir Neptūnas. Tačiau astrologai per ilgus amžius nepastebėjo jokių nesklandumų savo prognozėse ir nepasigedo trūkstamų planetų. Astrologijoje iki šių laikų gyvuoja senovės filosofų idėja, kad egzistuoja keturi pirminiai pradai – vanduo, žemė, oras ir ugnis, (kiekvienam iš jų priskiriami trys Zodiako ženklai), nors mokslas jau seniai atsisakė to naivaus požiūrio.

Įdomu, kad per porą tūkstantmečių dėl Žemės sukimosi ašies precesijos Saulės kelias Zodiaku atsiliko per vieną žvaigždyną, tad tuo metu, kai, anot astrologų, lemtingas yra Jaučio ženklas (atitinkantis Tauro žvaigždyną), Saulė iš tikrųjų dar būna Avino žvaigždyne.

Astrologija iki šiol remiasi nuostata, kad žmogaus likimą lemia jo gimimo momentas, nors, dabartiniu požiūriu, svarbesnis yra pradėjimo momentas, o individualūs asmenybės bruožai formuojasi visus devynis mėnesius prieš gimimą.

Kokiu būdu, astrologų nuomone, dangaus šviesuliai veikia žmogų? Paprastai nurodomi trys poveikio būdai: visuotinė trauka, potvynių ir atoslūgių jėgos bei magnetinis laukas. Iš tikrųjų Jupiteris traukia gimstantį kūdikį šešis kartus silpniau negu šalia gimdyvės esantis gydytojas, o planetos sukeltas potvynių ir atoslūgių efektas yra dar milijonus kartų silpnesnis. Planetų magnetiniai laukai iš tikrųjų veikia tik tų pačių planetų aplinkoje.

Lemiamas astrologijos patikrinimas yra jos prognozių išsipildymas. Pastaraisiais dešimtmečiais, pasitelkus statistinius duomenis, atlikta nemažai tyrimų tikrinant astrologinių numatymų patikimumą. Antai astrologai teigia, kad šviesulių padėtytys lemia žmogaus polinkį vienai ar kitai profesijai. Deja, išnagrinėjus keleto tūkstančių politikų, mokslininkų bei kariškių

ŽEMĖS IR KOSMOSO RYŠIAI

biografinius duomenis, jokio statistiškai reikšmingo atitikimo tarp šviesulių padėčių gimimo metu ir pasirinktos profesijos nebuvo aptikta. Vieną iš žinomiausių patikrinimų atliko Berklio universiteto (JAV) mokslininkai, bendradarbiaudami su astrologų asociacija *National Council for Geocosmic Research* (Geokosminių tyrimų nacionalinė taryba); tie rezultatai buvo paskelbti 1985 m. tarptautiniame mokslo žurnale *Nature*. Grupei žmonių psichologai sudarė psichologinius jų portretus, o astrologai – horoskopus. Po to kitiems astrologams buvo pateikti horoskopai ir prie kiekvieno iš jų po tris psichologinius portretus: vieną tikrą, o du – kitų žmonių. Astrologai teisingai priskyrė horoskopus portretams trečdaliu atveju, t. y. tiek pat, kaip ir atsitiktinai parenkant vieną iš trijų variantų.

Kodėl gi žmonėms susidaro įspūdis, kad astrologinės prognozės pildosi? Matyt, lemia ateities nusakymas jose labai bendromis, miglotomis frazėmis ir žmonių išankstinis tikėjimas dangaus ženklų įtaka jų gyvenimui.

XII

MOKSLAS IR NEŽINOMYBĖ

Fizikos atradimai, tyrimai ir jų taikymas. Ankstesniuose skyriuose susipažinome ne tik su šiuolaikinės fizikos atradimais, bet ir su kai kuriomis hipotezėmis bei neišspręstomis problemomis. Fizika – sparčiai plėtojamas, neužbaigtas mokslas.

XVII a. priešakinis fizikos kraštas buvo kūno judėjimo dėsnų nustatymas, XIX a. – elektrinių ir magnetinių reiškinių tyrimas, XX a. pradžioje – skverbimasis į mikropasaulį. Dabar tuo kraštu tapo megapasaulis ir kitos, nutolusios nuo įprastinės mūsų patirties, sritys, kur stebimi nauji reiškiniai, atskleidžiami nauji dėsniai. Be abejo, priešakiniame mokslo bare yra įdomiausia dirbti, dažniausiai pasitaiko netikėtų atradimų, lengviausia pelnyti Nobelio premiją. Tačiau čia yra didžiausia žymių fizikų koncentracija, labai stipri konkurencija, be to, eksperimentiniams tyrimams reikalingi unikalūs prietaisai ir didžiulės lėšos.

Greta šio skverbimosi į priekį, į neištirtas sritis, sistemingai tyrinėjamos žinomos sritys, nagrinėjami ir aprašomi nepaaiškinti ar nauji reiškiniai. Antai XX a. trečiajame dešimtmetyje, per keletą metų sukūrus kvantinę mechaniką, buvo nustatyti pagrindiniai mikropasaulio dėsniai. Fizikai aktyviai skverbėsi tolyn – į atomo branduolio ir elementariųjų dalelių sritis. Tuo pat metu buvo toliau plėtojama atomų ir molekulių fizika. Šių sričių teorinį pagrindą sudaro kvantinė mechanika; betgi, kaip pastatas, turintis tik pamatus, dar nėra tinkamas gyventi, taip ir teorijos pagrindai dar nėra tinkama praktiškai taikyti teorija. Reikia išplėtoti teorinius metodus bei juos panaudoti įvairiems atomų ir molekulių pasaulyje galimiems procesams aprašyti – spinduliavimui, šviesos sugerčiai, smūgiams, jonizacijai, sužadanimui ir pan. Tuo pat metu atliekami šių procesų eksperimentiniai tyrimai, kurie iškelia naujas problemas ir suteikia naujų postūmių teorijai vystytis.

Be minėtų dviejų fizikos raidos krypčių, dar yra trečioji kryptis – praktinis mokslo rezultatų taikymas. Pavyzdžiui, atomų ir molekulių fizikos

dėsniais remiamasi kuriant įvairius prietaisus bei įtaisus – nuo lazerių ir elektroninio mikroskopo iki labai jautrių detektorių ir integrinių grandynų. Taikomoji fizika iš mokslininko taip pat reikalauja išsamų žinių ir išradinumo, o visuomenei ši fizikos kryptis dažnai atrodo esanti pati svarbiausia.

Mokslas, dar ne mokslas ir pseudomokslas. Naujos mokslo žinios, tuo labiau naujos teorijos, turi tenkinti gana aukštus reikalavimus, kad būtų galutinai pripažintos ir įtrauktos į mokslo žinių sistemą.

Tikslusis mokslas, o toks yra fizika, reikalauja: vartoti tik griežtai apibrėžtus dydžius, nurodyti eksperimentų sąlygas ir paklaidas, aprašyti naudotus metodus, pradines prielaidas ir modelius. Tik tuomet tuos rezultatus gali patikrinti kiti mokslininkai. Fizika nepripažįsta naujo reiškinių, kol jo tokiomis pat sąlygomis nepavyksta stebėti bent keliems mokslininkams. Pavyzdžiui, nebuvo pripažinti pranešimai apie tachionų atradimą, nes kitose laboratorijose panašių rezultatų nebuvo gauta. Apie vieną tokį neįvykusį atradimą pasakojama straipsnelyje „Šaltoji branduolių sintezė“.

Nauja mokslo teorija turi ne tik paaiškinti žinomus reiškinius, bet iš jos turi išplaukti ir naujos išvados, kurias būtų galima patikrinti eksperimentais.

Nuo seno moksle laikomasi principo – be būtino reikalo neįvesti naujų esmių. Tai reiškia, kad, aiškindamas naujus reiškinius, kurdamas hipotezes, mokslininkas, kol nėra išsemtos visos galimybės apsieiti su žinomomis jėgomis, dalelėmis, savybėmis ir pan., neturi postuluoti naujų. Tas principas dar vadinamas Ockhamo skustuvu, nes „nupjauna“ įvairias nepagrįstas išmones; jį XIV a. suformulavo filosofas William of Ockham (Viljamas Okamas).

Mokslininkų atsargumas bei skepticizmas kartais atrodo nebūtinai ir perdėti, betgi, jų laikantis, fizikams per kelis šimtmečius neteko atšaukti nė vieno paskelbto pagrindinio dėsniu, o fizikos mokslas įgijo didelį autoritetą. Moksle dar labiau negu kitose veiklos srityse tinka taisyklė: „Septynis kartus atmatuok, aštuntąjį – kirpk.“

Dar ne mokslui priklauso problemos, kurių kol kas neįmanoma tirti mokslo metodais; kaip antai Didžiojo sprogo priežastis ar kosminių civilizacijų egzistavimas.

Moksle neskubama įtraukti į žinių sistemą ir reiškinių, kurių tyrimai nėra tikslūs ir išsamūs. Pavyzdžiui, kamuolinio žaibo egzistavimas yra patvirtintas

daugeliu liudijimų; deja, fizikams kol kas nepavyksta iširti šio reto reiškinių arba jo sukelti laboratorijoje. Kol kas nėra visiškai aiški kamuolinio žaibo prigimtis, nėra vienareikšmės jo teorijos, aiškinančios visas stebimas savybes. Anksčiau ar vėliau tai bus padaryta, ir tuomet kamuolinis žaibas bus išbrauktas iš neištirtų fizikos reiškinių sąrašo.

Telepatijos bei telekinezės ar skraidančiųjų lėkščių šalininkai nuolat kaltina mokslininkus, kad jie nepripažįsta šių reiškinių, juos ignoruoja. Deja, iki šiol pateikti įrodymai neišlaiko mokslinės kritikos (o ką jau kalbėti apie daugelį sukčiavimo ir rezultatų pagražinimo faktų), stebėjimai nebūna patvirtinti mokslininkų, reiškiniai aiškinami įvairiomis, gana keistomis hipotezėmis, kurios nesiderina su žinomais, nuodugniai patikrintais fizikos dėsniais. Panašiai bando įsiterpti į mokslą ir neatpažintų skraidančių objektų (NSO) tyrinėtojai.

Antra vertus, *dar ne mokslas* skiriasi nuo pseudomokslo. Mokslininkai neturėtų neigti nežinomų, bet iš principo galimų reiškinių egzistavimo (tarp jų ir telepatijos ar NSO), kategoriškai atmesti naujų keistų rezultatų ar hipotezių, neturėdami tam pakankamai pagrindo. „To negali būti todėl, kad to negali būti“, – nėra mokslo argumentas. Mokslininkas privalo būti ypač smalsus, kad nepraleistų nė menkiausios galimybės išvelgti naują, netikėtą reiškinį, tačiau, antra vertus, turi būti griežtas ir skeptiškas, kad nepripažintų naujo, kruopščiai nepatikrinto rezultato kaip mokslo tiesos.

Pseudomoksliui priskiriamos problemos, kurios prieštarauja daugelį kartų patikrintiems fizikos dėsniais jų galiojimo srityse, kaip antai – amžinojo variklio sukūrimas, turinčio ramybės masę kūno judėjimas didesniu už šviesą greičiu, temperatūros, žemesnės už absoliutųjį nulį, gavimas ir pan.

Pseudomoksliui priklauso teorijos, kurios remiasi autoritetais, dogmomis, abejotinais rezultatais, neįrodytomis tiesomis. Jau buvo nagrinėtas tokio pseudomokslo pavyzdys – astrologija.

Nieko bendra su mokslu neturi visi tyrimai, kurie atliekami nemoksliniais metodais, sąmoningai iškraipant rezultatus, pritempiant juos prie išankstinių idėjų. Sąžiningumas ir objektyvumas yra būtini mokslinio darbo kriterijai.

Atskirą pseudomokslo porūšį sudaro mėgėjiški darbai, atliekami neturint specialaus mokslinio pasirengimo ir žinių. Pasiskaičius populiarių knygų ar straipsnių, kartais mėginama neigti žinomas teorijas ir jas taisyti. Tokių „naivosios fizikos“ išmonių retkarčiais gauna mokslo įstaigos. Vis

délto diletantų laikai fizikoje, kaip ir visame moksle, jau yra negrįžtamai praėję. Norint atrasti ką nors nauja, būtina žinoti fizikos pagrindus ir labai gerai – tiriamąją sritį. O siekiant prasibrauti iki aktualiausių fizikos problemų sprendimo, reikia išstudijuoti daug mokslinės literatūros, antraip, geriausiu atveju, bus atradinėjami seniai žinomi dalykai ir kartojamos senos klaidos. Be to, šiuolaikinė fizika neatskiriama nuo gana sudėtingos matematikos, o žodinis įrodinėjimas, mėginimas iš karto, be tyrimų išvelgti reiškinių priežastis primena tolimą mokslo vaikystę.

Ar baigsis fizikoje didžiųjų atradimų laikotarpis? Atradimų srautas fizikoje neišsenka jau keturis šimtmečius. Tačiau dėsnis nustatomas vieną kartą ir visiems laikams. Ar nepasibaigs didieji fizikos atradimai, kaip jau yra pasibaigę geografijos atradimai?

Vienas fizikos dėsnis apibendrina daugelį faktų ir reiškinių. Tad išpūdinga pasaulio įvairovė nebūtinai turi būti aprašoma labai dideliu dėsnių skaičiumi. Antai vos kelių dešimčių raidžių pakanka milžiniškam žodžių kiekiui parašyti.

Iš tikrųjų, ištisą reiškinių sritį apibendrina keletas pagrindinių dėsnių, arba principų: klasikinę mechaniką – trys Newtono dėsniai, termodinamiką – keturi jos principai, elektromagnetizmą – keturios Maxwello lygtys. Klasikinės fizikos dalys yra beveik užbaigtos, naujų esminių atradimų jose sunku tikėtis. Tačiau fizikams, besiskverbiantiems tolyn į nežinomybę, atsi-
veria vis nauji pažinimo horizontai.

Tiesa, kai kuriomis tyrimų kryptimis yra prieinamos ribos, kaip antai žemiausia temperatūra ar didžiausias greitis. Galbūt egzistuoja ir erdvės bei laiko kvantai – mažiausios galimos jų porcijos.

Molekulės susideda iš atomų, atomai – iš elementariųjų dalelių, o dauguma jų – iš fundamentaliųjų dalelių. Gal gamta sudaryta viena į kitą įdedamų matrioškų principu – didesnėje matrioškoje yra mažesnė ir taip toliau? Daugelis fizikų linkę tikėti, kad galų gale bus surastos pirminės dalelės; jas aprašantis dėsnis būtų pagrindinis fizikos dėsnis. Deja, mokslo tiesos nėra atskleidžiamos spėjimais ir nuojautomis, būtina remtis tik nuosekliais tyrimais.

Kad ir kaip būtų, šiuolaikinėje fizikoje yra dar daug įdomių, neišspręstų problemų. Didžiųjų fizikos atradimų laikotarpis tęsiasi ir, turint atkaklumo, gabumą ir truputį sėkmės, galima įrašyti savo vardą į fizikos istoriją.

FIZIKA, FILOSOFIJA IR RELIGIJA

Įsivaizduokime tokį alegorinį paveikslą: žmonės, susibūrę naktį aplink laužą gūdaus miško laukymėje. Tas vaizdas simbolizuotų žmoniją prie pažinimo šviesos, o aplinkui tvyranti tamsa – tai nežinomybė. Kad ir kaip toli pažengė mūsų civilizacija, žmogaus pažintoji sritis yra iš visų pusių apsupta nežinomybės. Tai nemenkina didelių mokslo atradimų. Antra vertus, mes būtume naivūs ir paviršutiniški optimistai, jeigu galvotume, kad per trumpą – kosminiu laiko mastu – mūsų civilizacijos gyvavimo laikotarpį esame pažinę beveik viską ir nežinomybės tamsa glūdi tik pasaulio pakampėse.

Toliau pratęsiant tą alegoriją, galima pasakyti, kad apšviestoji laukymė yra mokslo sritis, prietemos ruožas tarp šviesos ir tamsos – tai filosofijos sritis, o dar neprieinama mokslo pažinimui, tamsoje skendinti teritorija priklauso religijai.

Žmogus nesitenkina mokslo ištirtąja sritimi, betgi nori suvokti visą pasaulį, susikurti išsamų jo modelį. Ten, kur nesiekia moksliniai tyrimai, žmogaus protas skverbiasi vadovaudamasis logika – pagrindiniu filosofijos metodu. Nustačius bendrus pažintos srities bruožus, jie filosofų pratęsiami į šešėlių slepiamą sritį, kur galima įžvelgti tik neryškius kontūrus.

Dar toliau į nežinomybės tamsą, kur ir logika yra bejėgė, žmogų veda tikėjimas – religinis pasaulio pažinimo būdas.

Taigi mokslas, filosofija ir religija pasitelkia skirtingus pažinimo būdus – tyrimus, loginius samprotavimus, tikėjimą – ir aiškina skirtingas reiškinių sritis. Kol jie neperžengia savo srities ribų, ne tik neprieštarauja vienas kitam, bet ir papildo vienas kitą, nes tik visi kartu leidžia žmogui suvokti pasaulio visumą. Tad nenuostabu, kad kai kurie fizikai ar matematikai taip pat buvo žymūs filosofai, kaip antai R. Descartes (R. Dekartas), G. Leibnizas (G. Leibnicas), H. Poincaré, W. Heisenbergas ir kiti. Neturėtų kelti nuostabos ir tai, kad nemažai mokslininkų, netgi I. Newtonas ir A. Einšteinas, tikėjo Dievą, kaip gamtos kuriamąją jėgą, ar net personifikuotą Dievą, kaip visagalę būtybę. Mokslas nei patvirtina, nei paneigia Dievo egzistavimo, nes negali nieko pasakyti apie sritį, kurios neįmanoma tirti mokslo metodais, o savoje, jam priklausančioje, srityje mokslas aiškina reiškinius tik griežtai apibrėžtomis, racionaliomis prielastimis.

Laikui bėgant, pažinimo laukas vis labiau įsideda, tad apšviestoji mokslo sritis vis plečiasi, o religijos ir filosofijos sritys traukiasi. Mokslas tampa pajėgus griežtais metodais tirti reiškinius, kurie seniau buvo filosofijos ar net religijos objektai. Antai kadaise pasaulio sandara, gyvybės atsiradimas Žemėje buvo religijos klausimai, erdvė ir laikas – filosofijos problemos. Pamažu biologija ir fizika pasiekė tokį lygį, kad tapo įmanoma nagrinėti šiuos klausimus mokslo metodais. Deja, religija ir filosofija labai nenoromis užleidžia savo turimas ilgąmetes pozicijas mokslui; jos, kaip ir valstybės, nelinkusios prarasti teritorijų, kurios nuo seno buvo laikomos savomis. Galima prisiminti, kaip buvo puolama ir net persekiojama Koperniko teorija, paneigusi geocentrinį pasaulio vaizdą, kurį buvo kanonizavusi scholastinė filosofija. Atkakliai teko grumtis ir evoliucijos teorijos kūrėjams. Dar neseniai filosofai kategoriškai teigė, kad erdvė ir laikas yra begaliniai. Reliatyvumo teorija pademonstravo, kad erdvę ir laiką įmanoma tirti mokslo metodais ir taip nustatyti naujas jų savybes. Filosofai linkę tiesiog pratęsti bendrus dėsningumus, galiojančius mus supančioje aplinkoje į neištirtas sritis; tačiau, keičiantis mastui, gamta neišlieka tokia pat, jos išradingumas gerokai pranoksta žmogaus vaizduotę.

Antra vertus, filosofija atlieka svarbų vaidmenį apibendrinama mokslo atradimus ir jo metodus. Tirdama savąją, pusiau apšviestą sritį, filosofija remiasi mokslo jau ištirtos, apšviestosios, srities dėsningumais. Ji atskleidžia mokslo žinių struktūrą, bendrus pažinimo dėsningumus, to iš arti nežiūri konkrečių mokslų atstovai.

Verta paminėti ir fizikos įtaką filosofijai. Juk fizika tiria bendruosius gamtos dėsnius, jos atradimai turi didelę pažintinę reikšmę, jie atskleidžia naujas, netikėtas gamtos savybes. Tad fizika, ypač šiuolaikinė, suteikia filosofijai naujų idėjų ir paskatų. Daugiausia per filosofiją pasireiškia fizikos įtaka humanitariniams mokslams ir visai kultūrai.

ŠALTOJI BRANDUOLIŲ SINTEZĖ – NEĮVYKĘS ATRADIMAS

1989 m. pavasarį Jutos universiteto (JAV) profesoriai M. Fleischmannas (M. Fleišmanas) ir S. Ponsas (S. Ponsas) surengė spaudos konferenciją ir

paskelbė sensacingą žinią, kad jiems pavyko stebėti lengvųjų branduolių sintezę kambario temperatūroje.

Fizikų bendruomenėje yra priimta iš pradžių pranešti apie atradimą mokslo žurnale ir tik po to – viešosios informacijos priemonėmis. Vis dėlto šaltoji sintezė buvo neeilinis atradimas, žadantis žmonijai pigų ir ilgalaikį energijos šaltinį, o atradėjams – Nobelio premiją, tad galima suprasti jų nekantrumą.

Kaip prisimename iš IV skyriaus, susijungiant dviem lengvųjų elementų atomų branduoliams, išsiskiria didelis energijos kiekis; deja, reakcija vyksta tik branduoliams labai suartėjus vienas su kitu. O tam kliudo stipri elektrinė stūmos jėga. Tik milijonų laipsnių temperatūroje dalelės ima taip greitai chaotiškai judėti, kad gali prasidėti branduolių sintezės reakcija.

M. Fleischmannui ir S. Ponsui kilo tokia mintis. Kai kurie metalai, pavyzdžiui, paladis, gali sugerti nemažą kiekį vandenilio, taip pat ir sunkiojo vandenilio – deuterio. Nedideli deuterio branduoliai užima laisvas vietas tarp metalo atomų, sudarančių kristalinę gardelę. Galbūt, įsisprausdami į gardelę, deuterio branduoliai suartėja tiek, kad gali prasidėti sintezės reakcija.

Mokslininkai atliko tokį nesudėtingą eksperimentą. Į indą su sunkiuoju vandeniu buvo įkišti du elektrodai ir prijungta elektros įtampa. Elektros srovei tekant skysčiu, prie katodo, pagaminto iš paladžio lydinio, išsiskirdavo deuteris, kurį sugerdavo elektrodas. M. Fleischmannas su S. Ponsu nustatė, kad katodas įšyla, o vėliau aptiko ir neutronus, kurie turėtų susidaryti sintezės metu.

Žurnalistai su entuziazmu sutiko šią mokslo naujieną, žadančią neregėtą proveržį, ir po poros dienų jau pusė milijardo žmonių visame pasaulyje sužinojo apie atradimą. Kiti mokslininkai skubėjo jį pakartoti savo laboratorijose – juk garbinga ne tik atrasti, bet ir patvirtinti naują atradimą. Tad pirmasis patvirtinimas buvo gautas jau kitą dieną po minėtos spaudos konferencijos. O netrukus Amerikos elektrochemikų draugija sušaukė specialų posėdį, kuris virto atradėjų triumfu.

Pirmieji įtarimai dėl atradimo tikrumo kilo, kai buvo išspausdintas M. Fleischmanno ir S. Ponso mokslinis straipsnis. Stebėtų neutronų skaičius nesiderino su išsiskyrusiu šilumos kiekiu – neutronų buvo aiškiai per mažai.

Netrukus vienas mokslininkas, beje, geras atradėjų draugas, pranešė, kad jis atliko panašų eksperimentą, tačiau jų gauto rezultato patvirtinti

negalėjo – neutronų buvo užregistruota beveik tiek pat, kiek įprastai stebima dėl gamtinio aplinkos radioaktyvumo. Tiesa, tuo pat metu įvairiose šalyse pasirodė pranešimų, patvirtinančių šaltosios sintezės egzistavimą. JAV ir Japonijoje vyriausybės skyrė nemažai lėšų naujiems tyrimams finansuoti.

Gegužės mėnesį įvyko mokslinė konferencija, skirta šaltajai sintezei. Konferencijoje neigiamų rezultatų buvo pateikta daugiau negu teigiamų, bet organizatoriai dar mėgino išlaikyti pusiausvyrą, suteikdami žodį ir šalininkams, ir priešininkams. Vis dėlto netrukus atlikti keli kruopštūs eksperimentai, vienas iš jų Prancūzijoje, giliame tunelyje, kur buvo labai silpnas neutronų fonas, įrodė, kad šaltoji sintezė priklauso pseudomokslui. Buvo nutrauktos pradėtos programos, keliems mokslo organizatoriams, pernelyg anksti patikėjusiems atradimu, teko atsistatydinti. Tuo pat metu laikraščiai tebespausdino kupinus susižavėjimo straipsnius apie atradimą, o entuziastai su M. Fleischmannu ir S. Ponsu priešakyje, nors pripažino atskirus netikslumus, tebetikėjo tuo atradimu.

Nepasitvirtinusio atradimo istorija buvo apibendrinta straipsnyje („Šaltosios sintezės iškilimas ir nuosmukis“), kuris buvo išspausdintas 1990 m. Tikriausiai M. Fleischmannas, S. Ponsas bei daugelis jų sekėjų nebuvo apgavikai ir tikėjo atradimu, betgi jie neleistinai skubėjo, neįvertino visų paklaidų, be pakankamos analizės atmetė kitas galimas priežastis. Nedidelis šilumos kiekis galėjo išsiskirti dėl kitų procesų, vykstančių elektrolizės metu, o neutronų registravimo duomenys nebuvo tikslūs dėl natūraliojo fono. Psichologams ir sociologams ši istorija – įdomus mokslinės įtaigos ir savitaigos pavyzdys.

KAMUOLINIS ŽAIBAS

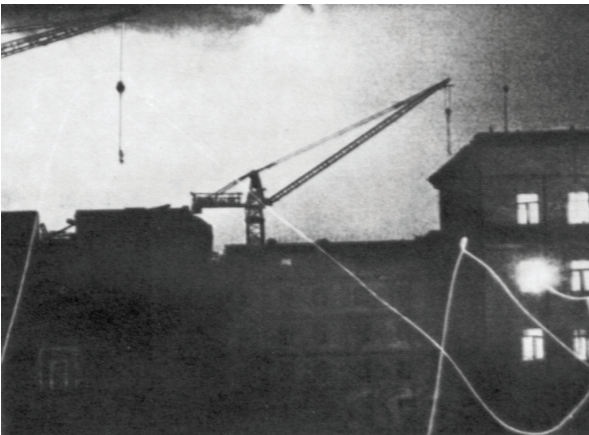
Kamuolinis žaibas – gana retas ir mįslingas gamtos reiškinys. Tai švytintis kamuolys, paprastai stebimas vasarą, per audrą, retkarčiais – ir kitais metų laikais bei ramiu oru (12.1 pav.). Kamuolio skersmuo – apie 10–20 cm (nors būna ir graikiško riešuto, ir net metro dydžio kamuolių), geltonos, oranžinės ar raudonos, rečiau – kitų spalvų. Mačiusieji kamuolinį žaibą, jo švytėjimą lygina su elektros lemputės šviesa, tiktai žaibas dažniausiai šnypščia ir kibirkščiuoja. Tas keistas objektas atsiranda trenkus įprastam žaibui, rečiau – nusileidžia iš viršaus ar išsoka iš elektros laidininkų. Jis juda ore

XII skyrius



12.1 pav. Šviečiančio objekto, stebėto nakties metu, nuotrauka. Jis buvo identifiukuotas kaip kamuolinis žaibas.

nedideliu greičiu, dažnai keisdamas kryptį (netgi prieš vėją), kartais seka lėktuvą ar kitą judantį kūną arba pakimba ore. Buvo atvejų, kai kamuolinis žaibas pro angas ar plyšius, netgi elektros laidais įsiskverbėdavo į namo vidų. Jis gyvuoja apie dešimt sekundžių, tada sprogstą arba ramiai užgęsta.



12.2 pav. Nuotrauka, padaryta fotoaparatu, paliktu ant palangės ilgai ekspozicijai. Šviečiančio objekto, kaip manoma, kamuolinio žaibo, pėdsakas baigiasi blyksniu ties vienu namo langu. Ten buvo rasta truputis suodžių.

Kamuolinis žaibas neretai išvesdavo iš rikiuotės ar netgi visiškai sugadinavo elektros prietaisus. Kartą, pakliuvęs į statinę su vandeniu, jis užvirino vandenį. Nuo kamuolinio žaibo yra nukentėję ir žmonės. Antai 1824 m. vasaros pabaigoje jis, įskriejęs pro atvirą lango orlaidę, mirtinai nutrenkė savo bute buvusį Vilniaus universiteto profesorių Augustą Louisą Bécu (Augustas Liudvikas Bekiu). Šis tragiškas įvykis įamžintas Adomo Mickevičiaus „Velinėse“.

Kamuolinio žaibo egzistavimas nekelia abejonių, nes yra užregistruota tūkstančiai jo stebėjimų, kai kurie iš jų – gana konkretūs ir patikimi. Deja, stebėjimų, naudojantis mokslo prietaisais, labai nedaug, ir tie patys – tinkamai nepasiruošus. Šio reiškinių tyrinėtojas gali per visą gyvenimą taip ir nepamatyti savo domėjimosi objekto. Tad iki šiol dar nėra sukurta kamuolinio žaibo teorijos, kuri paaiškintų visas žinomas jo savybes.

Stebina kamuolinio žaibo stabilumas, santykinai ilga gyvavimo trukmė ir nemaža jo energija. Metalų išlydimas ir kiti sukeliama efektai liudija, kad temperatūra kamuolio viduje turi būti ne žemesnė kaip 1500 K, o sukaupta energija bent 20 kJ. Įprasto žaibo metu susidaręs ugnies kamuolys turėtų labai greitai išnykti, nes jona pasigauna laisvuosius elektronus, o sužadintieji atomai, susidurdami su kitais atomais bei savaiminiu būdu, per mažas sekundės dalis, išspinduliuoja fotonus ir grįžta į pagrindinę būseną.

P. Kapica buvo iškėlęs hipotezę, kad kamuolinį žaibą sukuria ir jam energijos teikia trumposios radijo bangos. Tarp debesų ir žemės gali susidaryti stovinčioji elektromagnetinė banga ir, esant jos kritinei amplitudei, tam tikroje vietoje sukelti dujų išlydį. Atsiradęs kamuolinis žaibas būtų „maitinamas“ ir nukreipiamas jį sukūrusios bangos. Vis dėlto, tokios labai intensyvios stovinčiosios bangos savaiminis susidarymas nėra įrodytas.

Anot kitos hipotezės, jona, turintys teigiamąjį elektros krūvį, pritraukia drėgname ore esančias vandens molekules, kurių vienas galas turi neigiamąjį elektros krūvį, tokiu būdu aplink jonus gali susidaryti vandens apvalkalai, kurie gerokai sulėtintų jonų neutralizavimą. Tačiau gyvavimo trukmė, gaunama pagal šį modelį, yra mažesnė už stebimąją.

Labiau tikėtina, kad kamuolinį žaibą kaitina jame vykstančios cheminės reakcijos. Galbūt įprastam žaibui trenkus į metalą ar kitą kietąjį kūną, išgarinta jo medžiaga sudaro lengvą, akytą darinį. Į jį iš oro patekus ozonui

ar kitoms aktyvioms medžiagoms, įvairiose kamuolio vietose prasideda degimas. Ši hipotezė pagrindžia ilgą kamuolinio žaibo gyvavimo trukmę, formos stabilumą, netgi jo judėjimą ore, bet visiškai nepaaiškina kamuolinio žaibo prasiskverbimo pro plyšius, o tuo labiau elektros laidais į patalpas.

Naujų vilčių išspręsti kamuolinio žaibo mįslę buvo suteikę pranešimai, kad Hessdaleno slėnyje, Norvegijoje nuolat stebimi ugnies dariniai, primenantys kamuolinius žaibus. Maždaug dešimties kilometrų ilgio ir kelių kilometrų pločio slėnyje (per kurį vingiuoja upelis, o jį supa maždaug kilometro aukščio kalnai) ugnies kamuoliai pasirodydavo daugiau kaip šimtą kartų per metus. Jie dažniausiai judėdavo virš kalnų ir matydavosi kelias minutes ar netgi valandą. 1984 m. juos iš tolo pavyko stebėti ir mokslininkams. Paveiktas lazerio spindulių pluošto, kamuolys žybtelėdavo, o radaras registruodavo atspindį nuo jo. Deja, kitais metais specialistų grupė veltui pralaukė visą mėnesį ir neužregistravo nė vieno tokio reiškinio.

KOSMINĖS CIVILIZACIJOS

Saulė yra eilinė žvaigždė – viena iš maždaug trijų šimtų milijardų Galaktikos žvaigždžių. Tad jeigu protingų būtybių esama Saulės sistemoje, labai tikėtina, kad Galaktikoje egzistuoja ir kitų civilizacijų, netgi pasiekusių daug aukštesnį lygį.

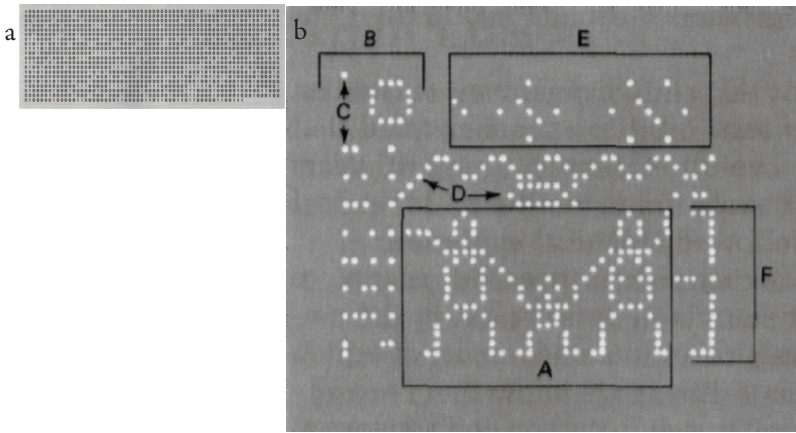
Kalbėdami apie gyvybę, turime galvoje organinę gyvybę, kuriai egzistuoti reikalingas vanduo, sudėtingi anglies junginiai, cheminių elementų įvairovė ir aplinkos temperatūra apie 250–350 K (turbūt yra įmanomos ir kitokios gyvybės formos, tačiau jų galimumas kol kas nėra mokliškai pagrįstas).

Gyvybės evoliucijos kelias yra labai ilgas – pirmosios vienaląstės melsvabakterės atsirado Žemėje prieš 3,5 milijardo metų. Taigi protingos būtybės, matyt, gali išsivystyti tik prie žvaigždės, kurios masė yra panaši į Saulės arba mažesnė, – masyvių žvaigždžių amžius yra pernelyg trumpas sudėtingoms gyvybės formoms atsirasti. Ta žvaigždė turi būti vėlesnės kartos, kad jos sistemoje netrūktų įvairių cheminių elementų.

Gyvybė gali atsirasti ir vystytis tik žvaigždės planetoje. Šio amžiaus pradžioje gauti įrodymai, kad daugelis žvaigždžių turi planetas, labai padidina gyvybės paplitimo tikimybę. Vis dėlto gyvybei tinkama planeta turi atitikti gana griežtas sąlygas – tai rodo Saulės sistemos pavyzdys. Planeta

turi sukintis aplink žvaigždę tam tikru atstumu nuo jos, kad gautų ne per daug ir ne per mažai šilumos (idant vanduo būtų skysčio, o ne ledo ar įkaitusių garų pavidalo). Taigi planeta turi patekti į vadinamąją žvaigždės gyvybės zoną. O kosminėse dulkėse yra aptikta ne tik paprastų, bet ir gana sudėtingų organinių molekulių.

Atsižvelgus į visa tai, mūsų Galaktikoje gali būti bent keli milijardai gyvybei tinkamų planetų. Vėlgi neturėtume įtikėti Žemės išskirtinumu, tad peršasi mintis, kad atsiradusi primityviausia gyvybė yra linkusi evoliucionuoti į



12.3 pav. Tariamasis kosminės civilizacijos pranešimas, iliustruojantis jos signalų dešifravimo galimybę. Signalas paverčiamas vienetų ir nulių seka (a): spinduliuotės impulsas – vienetas, nėra signalo – nulis. Po to vienetai pažymimi taškais ir išdėstomi tokio pločio juostoje, kad susidarytų prasmingas vaizdas (b). A – kosminės civilizacijos atstovų atvaizdas, liudijantis, kad jie dauginasi lytiniu būdu. B – apskritimas ir taškų stulpelis po juo, simbolizuojantys žvaigždę bei jos planetas (pirmoji būtybė rodo, kad jie gyvena ketvirtoje planetoje). C – planetų numeriai dvejetainėje sistemoje, kairysis taškas žymi skaičiaus pradžią. D – nurodo, kad trečioje planetoje esama vandens (bangėlės) ir ten egzistuoja gyvūnai, primenantys žuvis; be to, antroji būtybė rodo į skaičių 6, o tai, matyt, reiškia, kad galūnė turi šešis pirštus ar naudojama šešetainė skaičiavimo sistema. E – vandenilio, anglies ir deguonies atomų schemas, liudijančios, kad gyvybė remiasi šių atomų junginiais. F – nusako protingos būtybės ūgį: skaičius viduryje reiškia vienuolika, o padarius prielaidą, kad labiausiai tikėtinas ilgio vienetas yra pagrindinės vandenilio spektro linijos bangos ilgis (21 cm), būtybės ūgis gaunamas 231 cm.

XII skyrius

aukštesnes formas. Vadinasi, Galaktikoje turėtų egzistuoti ne tik Žemės lygmens, bet ir gerokai daugiau pasiekusių civilizacijų. Kodėl gi jų atstovai neapsilanko mūsų planetoje ar bent nepraneša apie save radijo signalais ir kitais būdais?

Kartais mėginama įrodyti, kad kosminės civilizacijos atstovai kadaise jau lankėsi Žemėje. Iš tikrųjų, esama kai kurių mįslingų senovinių piešinių ir kitokių radinių, betgi galimi kitokie jų paaiškinimai (12.4 ir 12.5 pav.). Entuziastai bei sensacijų mėgėjai dažnai pritempia faktus ar net išgalvoja juos. Kol kas jokių moksliniais tyrimais pagrįstų faktų apie kosminių ateivių vizitą Žemėje nėra žinoma.



12.4 pav. Senoviniai piešiniai Tasilio Adžero (Tassili n'Ajjer, Alžyras) (a) ir Val Kamonikos (Val Camonica, Italija) (b) urvuose. Piešiniai datuojami maždaug 6000 m. pr. m. e. (a) ir 10 000 m. pr. m. e. (b). Jie dažnai pateikiami kaip kosminių ateivių lankymosi Žemėje įrodymai, tačiau, mokslininkų nuomone, piešiniuose pavaizduoti žyniai su ritualinėmis kaukėmis.



12.5 pav. Voro atvaizdas (46 m ilgio) Naskos dykumoje (Peru). Jo neįmanoma aprėpti žvilgsniu nuo žemės paviršiaus, o tik iš viršaus; tačiau tas ir kiti piešiniai galėjo būti skirti ne tik kosminiams ateiviams, bet ir dievams.

XX a. antrojoje pusėje pradėta ieškoti kosminių civilizacijų signalų ar net patiems siųsti pranešimus kitų žvaigždžių kryptimi.

Kosminiam ryšiui geriausiai tinka trumposios radijo bangos, kurias mažiausiai sugeria tarpžvaigždinė medžiaga. Apie 1960 m. buvo dėta pastangų aptikti radijo signalus iš artimiausių, panašių į Saulę žvaigždžių – Banginio Tau ir Eridano Epsilon; buvo klausomasi 21 cm banga, kuri atitinka labiausiai Visatoje paplitusio cheminio elemento – vandenilio pagrindinę spektro liniją. Aišku, buvo sunku tikėtis iš karto užregistruoti dirbtinės kilmės signalus. Tad jų paieškos plėtėsi, buvo kuriami nauji projektai, kurie vadinami bendru vardu SETI (angl. *Search for Extraterrestrial Intelligence* – nežemiško intelekto paieška). 1984 m. JAV įsteigta nevalstybinė mokslo organizacija – SETI institutas. Daug dėmesio SETI projektams skiria ir JAV kosminių tyrimų agentūra NASA.

Naudojantis radioteleskopais, kosmoso klausomasi ne vienu minėtu radijo dažniu, o dviem milijonais dažnių, palaipsniui nukreipiant antenas į įvairius dangaus taškus. Be to, vykdant mokslinius stebėjimus didžiaisiais

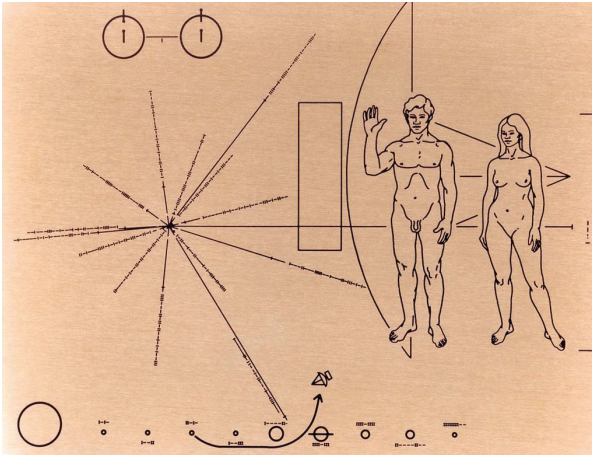
radioteleskopais, visi signalai papildomai analizuojami pagal „protingumo“ kriterijų. Retkarčiais yra aptinkami trumpi neįprasti signalai, tačiau nepavyksta įrodyti dirbtinės jų kilmės.

SETI instituto astronomas Sethas Shostakas (Setas Šostakas) prognozuoja, kad iki 2035 m. bus užregistruoti signalai iš maždaug milijono artimiausių žvaigždžių ir, kompiuteriais atlikus signalų analizę, turėtų būti gautas kosminės civilizacijos egzistavimo įrodymas.

Buvo mėginama siųsti ir pranešimus iš Žemės. Naudojantis tuo metu didžiausiu *Arecibo* radioteleskopu, 1974 m. išsiųsta užkoduota žinia ryškiausio kamuolinio žvaigždžių spiečiaus M13 Heraklio žvaigždyne kryptimi, bet tai buvo labiau simbolinis veiksmas. JAV kosminiai zondai – *Pioneer 10* ir *Pioneer 11* – yra įgiję pakankamą greitį (vadinamą trečiuoju kosminiu), kad ištrūktų iš Saulės sistemos; jie gabena po metalinę plokštelę, kurioje pateikti pagrindiniai duomenys apie mūsų civilizaciją (12.6 pav.).

Reikėtų paminėti, kad 2017 m. astronomai buvo aptikę lekiantį per Saulės sistemą nepriklausantį jai objektą (judantį greičiu, didesniu nei trečiasis kosminis greitis). Tad Havajų observatorijos astronomai pavadino jį *Oumuamua* (havajiečių kalba – *pasiuntinys iš toli*). Pavyko nustatyti, kad objektas yra neįprastos – cigaro – formos, jo ilgis gerokai didesnis nei plotis. Tas mažytis kosminis kūnas buvo pastebėtas tik priartėjęs prie Saulės; netiesioginiu būdu įvertinta, kad *Oumuamua* ilgis tik 230 m. Dar viena jo keistenybė – toldamas nuo Saulės, objektas ne lėtėjo, bet greitėjo. Taigi buvo visiškai rimtai svarstoma, ar tai nėra kitos civilizacijos erdvėlaivis. Deja, jis neskleidė jokių signalų, o greičėjimą tostant nuo Saulės gali sukelti ir fizinė priežastis – paviršiaus garavimas, nors to nebuvo pastebėta). Deja, *Oumuamua* netrukus nutolo ir nebegalėjo būti stebimas, taip nusinešdamas savo neįmintą paslaptį.

Kosmoso tylėjimą mėginama aiškinti įvairiomis hipotezėmis. Gal tik menkas procentas atsiradusių primityvių gyvybės formų išsivysto iki protingos gyvybės ir technologinės civilizacijos lygmens? Gal civilizacija, aptikusi didelės galios gamtos jėgas, neišvengia jų keliamų pavojų ir sunaikina pati save (deja, toks likimas gresia ir mūsų civilizacijai). Gal gyvybei lemta vystytis ir gyvuoti tik labai ribotą laiką, kol ją išstinka žūtis įvykus kosminei katastrofai? O gal kosminės civilizacijos stebi mus ir nenori savo įsikišimu trikdyti žmonijos raidos?



12.6 pav. Vaizdinis pranešimas apie Žemės civilizaciją, išgraviruotas metalinėje plokštelėje. Po tokią plokštelę neša JAV kosminiai zondai *Pioneer 10* ir *Pioneer 11*, skriejantys iš Saulės sistemos į tarpžvaigždinę erdvę. Dešinėje – zondo fone pavaizduotos vyro ir moters figūros, greta jų kairėje parodyta Saulės padėtis artimiausių pulsarų atžvilgiu; taškais nurodyti jų dažniai zondo paleidimo metu leidžia apskaičiuoti starto laiką (pulsarų dažniai mažėja). Apačioje – Saulės sistemos schema, o viršuje nupieštas vandenilio atomas su protonu centre ir elektronu išorėje, spinduliuojantis šviesą; linija tarp dviejų atomo būsenų nurodo vienetą žmogaus ūgiui ir pulsaro bangos ilgiui nustatyti – 21 cm vandenilio pagrindinę spektro liniją.

NEATPAŽINTI SKRAIDANTYS OBJEKTAI

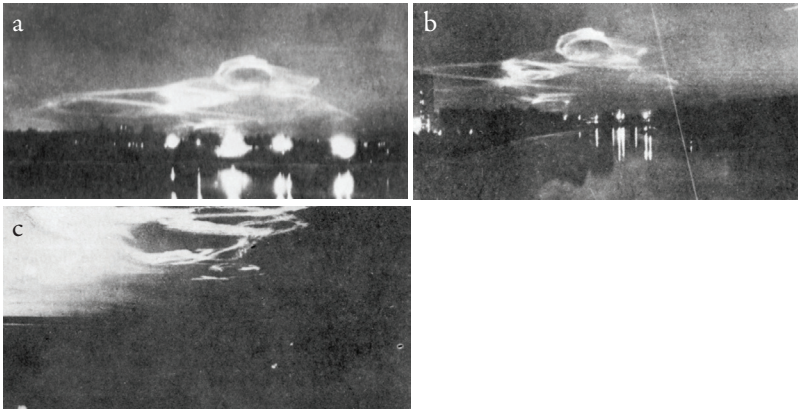
Seniau įprastus pasakojimus apie vaiduoklius ir velnius šiame technikos amžiuje pakeitė pasakojimai apie neatpažintus skraidančius objektus (NSO arba angliška santrumpa UFO – *unidentified flying object*). Kilus eilinei susidomėjimo bangai, spauda paskelbdavo tiek pramanų apie NSO pagrobtus žmones, iš keistų aparatų išlipančius mažus žalius žmogučius, patyrusias avariją skraidančiąsias lėkštes ir pan., kad visi NSO stebėjimai atrodė esantys gryna fantazija. Vis dėlto dalis pasakojimų apie neatpažintus

skraidančius objektus turi realų pagrindą. Yra nemažai stebėjimų, atliktų mokslininkų su prietaisais ar paliudytų daugelio žmonių.

Šiuolaikinio mokslo požiūriu, didžiąją dalį patikimų, kruopščiai apibūdintų NSO stebėjimų galima paaiškinti kaip žinomus techninės kilmės ar gamtos reiškinius.

Matyt, neatsitiktinai NSO – įvairaus dydžio bei formos (dažniausiai rutulio ar disko), šviečiantys ir keistai judantys objektai – buvo pradėti stebėti apie 1947 m. Būtent Antrojo pasaulinio karo pabaigoje buvo sukurti aukštai pakylantys aerostatai, lėktuvai bei raketos, ir po karo, jais naudojan-tis, pradėta intensyviai tirti aukštutinius atmosferos sluoksnius. Aerostatai buvo gaminami įvairios formos, be to, kartais iš pakilusių aparatų būdavo išpurškiami švytinčių medžiagų bei vykdomi kiti eksperimentai. Daugelis tų tyrimų buvo slapti ar pusiau slapti, tad jų vykdytojai nepateikdavo paaiškinimų visuomenei net tuomet, kai kildavo susidomėjimas neįprastu reiškiniu. Be to, nesant šalia jokių orientyrų, labai keblu įvertinti nežinomo objekto dydį, greitį bei nuotolį, o apšviestas saulės, jau pasislėpusios už horizonto, toks objektas atrodo neįprastai ir sunkiai atpažįstamas. Antra vertus, liudytojai linkę perdėti savo įspūdžius ar net prigalvoja nebūtų dalykų.

Prasidėjus kosminių raketų ir dirbtinių Žemės palydovų erai, atsirado dar vienas neįprastų reiškinių šaltinis. Juk kildama galinga raketa stipriai sutrikdo įvairius atmosferos sluoksnius, o atsiskiriant jos pakopoms, gali būti išmetama degančio kuro likučių, todėl kartais stebimas neįprastas švytėjimas ir kiti keisti optiniai reiškiniai. Antai, paleidus meteorologinį palydovą *Meteor-2* iš Plesecko kosmodromo Rusijoje 1981 m., mokslininkai ir žurnalistai gavo daugybę pranešimų apie NSO, regėtus labai plačioje teritorijoje (12.7 pav.). Štai vienas iš tokių stebėjimų: „1981 m. gegužės 15 d. 2 valandą nakties šiaurės rytuose pasirodė gyvatės pavidalo dūmų juosta, jos priekyje judėjo švytintis objektas, primenantis reaktyvinį lėktuvą... Vakaruose švietė mėnulio pilnatis, vėjo nebuvo. Netrukus nuo pirmojo objekto atsiskyrė antrasis švytintis objektas, vėlgi panašus į reaktyvinį lėktuvą, ir tokiu pat greičiu, palikdamas spindinčią uodegą, nuskrido tiesiai į šiaurę. Tuo metu apšviestą erdvę padalijo iš šiaurės į pietus nukreiptas taisyklingas kryžius, kurį sudarė tarsi juodi dėmai. Vėliau viskas virto



12.7 pav. Anomalieji atmosferos reiškiniai, kuriuos sukėlė palydovo *Meteor-2* paleidimas iš Plesecko kosmodromo 1981 m. gegužės 15 d. Nuotraukos darytos Pamaskvėje (a), Tverėje (b) ir Petrozavodske (c).

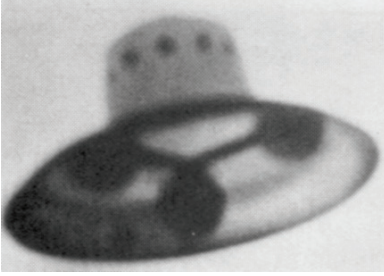
kiaušinio formos dūmų dariniu, kuris ėmė sklaidytis kaip paprastas debesis. Pirminis objektas lyg ištirpo...“

Išsiaiškinta, kad kai kurie neatpažinti objektai buvo krinantys į Žemę atitarnavę palydovai ar jų dalys. Nuostabą gali sukelti ir sušvintantys bei vėl gęstantys objektai, kaip antai besivartanti raketa nešėja ar besisukantis apie ašį palydovas, kuris siunčia saulės zuikučius į Žemę.

Įvairios šalys atlieka nemažai eksperimentų tirdamos Žemės magnetosferą ir jonosferą. Aukštutiniai atmosferos sluoksniai yra veikiami cheminėmis medžiagomis, stipriais elektromagnetiniais laukais, infragarsu (žemo dažnio garsas), elektronų pluoštais. Tai gali sukelti keistų formų švytėjimus.

Kita NSO priežastis – įvairūs gamtos reiškiniai. Neatpažintu objektu kartais palaikomas netgi Mėnulis, kai jis, žiūrint pro retus, greitai plaukiančius debesis, ima tarsi pats judėti. Toli gražu ne visi žmonės atpažįsta vieną iš ryškiausių planetų – Venerą, sužimbančią tuoj po Saulės laidos, kai kitų šviesulių dar nesimato.

Neretai NSO priskiriamas kamuolinis žaibas. Matyt, galimi ir kiti dar neištirti atmosferos reiškiniai. Kai kuriuos šviečiančius neatpažintus objektus, ko gero, sukelia magnetinės audros, nes Saulės aktyvumo laikotarpiu jų



12.8 pav. NSO mistifikacija: ant metalinės lėkštės pritvirtinta dėžutė nuo sūrio su išpieštais iliuminatoriais, o reaktyvines tūtas lėkštės apačioje imituoja priklijuotos stalo teniso kamuoliukų pusės. Nuotrauka specialiai padaryta neryški.

padaugėja. Iš principo galimi ir dar mokslui nežinomi reiškiniai, nes Žemės atmosferos ir joje vykstančių įvairių procesų sistemingi tyrimai pradėti tik XX a. viduryje ir nėra išsamūs.

Taigi, remdamiesi Ockhamo principu, mokslininkai kol kas nemato būtinumo aiškinti NSO kaip kosminių civilizacijų žvalgų ar šalia mūsų egzistuojančios neorganinės gyvybės formos. Kitaip elgiasi sensacijų mėgėjai ir masinės literatūros kūrėjai. Tad NSO istorijos primena šiuolaikines pasakas. Tai irgi nėra blogai. Kodėl gi technikos amžiuje žmogus turėtų nustoti jomis tikėti? Vis dėlto ten, kur prasideda pasaka, pasibaigia mokslas.

TELEPATIJA IR TELEKINEZĖ FIZIKO AKIMIS

Telepatija – tai informacijos perdavimas per atstumą kitam žmogui, nenaudojant įprastinių jos perdavimo būdų. Telekinezė – fizinis žmogaus poveikis daiktams psichiniu būdu. Tuos reiškinius, vadinamus paranormaliais, pripažįsta ir nagrinėja parapsichologija (gr. *para* – šalia, prie). Anot jos šalininkų, tik kai kurie žmonės, vadinami ekstrasensais, gali sukelti tokius reiškinius, bet ir jiems reikalingos tam tikros palankios sąlygos. Daugelis psichologų iki šiol parapsichologiją laiko pseudomokslu arba, geriausiu atveju, *dar ne mokslu*.

Fizikai, aišku, negali spręsti psichologijos problemų, bet jie gali atsakyti į klausimus, ar tokių reiškinių egzistavimas neprieštarauja fizikos dėsniams, ar žinomi laukai ir bangos gali lemti panašius efektus. Tuo labiau, kad parapsichologai, aiškindami stebėjimų duomenis, dažnai remiasi fizikos, ypač šiuolaikinės, atradimais.



12.9 pav. NSO nuotrauka, gauta sumontavus pastatų atvaizdą su apšviestų ovalių skylučių atvaizdais.

Sąveika ar informacija gali būti perduodama per atstumą tik laukais arba bangomis, kurie yra fizikos objektai. Negali būti ypatingo biolauko, kuris nebūtų tapatus fizikiniam laukui, kaip negali būti biologinių atomų ar biologinių jėgų. Gyvojo organizmo sukuriami laukai ar bangos jau yra negyvosios gamtos objektai, jie registruojami ir tiriami fizikos prietaisais (prisiminkime širdies kardiogramą ar smegenų encefalogramą). Paranormalius reiškinius, jeigu jie egzistuoja, sukelia sudėtingos biologinės priežastys, bet už jų turi slypėti fizikinės fundamentinės sąveikos.

Anot šiuolaikinės fizikos, egzistuoja keturios fundamentinės sąveikos. Gravitacinė trauka tarp žmogaus dydžio kūnų yra visiškai nepastebima, o stiprioji ir silpnoji sąveikos pasireiškia tik labai mažais atstumais tarp elementariųjų dalelių. Taigi paranormalius reiškinius turėtų lemti elektromagnetinės jėgos. Iš tikrųjų, žmogus sukuria elektrinį ir magnetinį laukus, generuoja elektromagnetines bangas, bet ar tai gali sukelti telepatijos ir telekinezės reiškinius?

Per ekstrasensų pasirodymus lankstomi metaliniai daiktai ar kilnojamas stalas, tai aiškinama minties galia. Daiktus turi veikti nemažos – dešimčių ar šimtų niutonų didumo – jėgos. Tai negali būti magnetinės jėgos, nes žmogaus sukuriamas magnetinis laukas yra šimtus tūkstančių kartų silpnesnis už Žemės magnetinį lauką. Žmogaus kūnas kartais, beje, ir dėl nervinės įtampos, įgyja statinį elektros krūvį, tačiau jo pakanka tik popierėliams ar kitiems lengvučiams daiktams paveikti nedideliu atstumu. Taigi, fizikos

požiūriu, žmogus negali sukurti tokių laukų, kurių stiprumo pakaktų per atstumą lankstyti metaliniams daiktams, kilnoti ar priversti kyboti ore masyvius kūnus. Tad tikėtina, kad tai daroma naudojantis iliuzionistiniais triukais.

Keblesnis klausimas, ar yra įmanoma telepatija? Juk, pavyzdžiui, radijo imtuvui pakanka labai silpno signalo, kad jis priimtų tolimos stoties siunčiamą informaciją. Vis dėlto, elektromagnetinės bangos turi savus sklidimo dėsnius – jų intensyvumas mažėja tolstant nuo šaltinio, jos negali prasišverbti per metalinius ekranus. Tačiau telepatinis ryšys būdavo registruojamas ir ekranavus vieną iš jo dalyvių; taip pat nepastebėta ryšio silpnėjimo didėjant atstumui. O mažai silpnėjančiam, kryptingam ryšiui reikalingi specialūs siųstuvai bei imtuvai, kurių buvimo pėdsakų žmogaus smegenyse nėra aptikta.

Parapsichologai neretai teigia, kad gali egzistuoti penktoji, fizikams dar nežinoma fundamentinė sąveika. Jeigu tokia, nors ir labai silpna sąveika egzistuotų, tai fizikai seniai būtų ją pastebėję, jiems tiesiog nesusicėtų galai su galais. Juk daugelis fizikinių eksperimentų yra atliekami labai aukštu tikslumu ir nė viename iš jų nebuvo aptikta paklaidos, kurią tektų aiškinti nežinoma jėga.

Parapsichologai mėgsta paremti paranormalių reiškinių egzistavimą šiuolaikinės fizikos idėjomis, jas pritaikydami sudėtingam biologiniam objektui be jokio svaresnio pagrindimo. Antai net parapsichologijos veikaluose keliamos neįtikimos hipotezės, kad telepatinį ryšį perduoda neutrinai ar dar neatrasti tachionai, kad juos lemia kvantinės smegenų savybės ar net žmogaus galvoje vykstančios branduolinės reakcijos. Šios knygos skaitytojas, susipažinęs su šiuolaikine fizika, gali pats įvertinti tokių hipotezių pagrįstumą.

Taigi telekinezės galimybę mokslas kategoriškai neigia, tačiau, vertinant telepatiją, lieka nedidelė tikimybė, jog „ten vis dėlto kažkas gali būti“. Visų pirma, reikėtų mokslo metodais neginčijamai įrodyti, kad reiškinys iš tikrųjų egzistuoja. Argi tokių įrodymų nepateikia daugelis parapsichologijos knygų ir straipsnių? Deja, ten vyrauja nepatikrinti, negriežtai nustatyti ar mokslo paneigti faktai. Matyt, jokiuose kituose tyrimuose nėra tiek apgaulės ir sukčiavimo, kiek parapsichologijoje (juk nepaprasti gebėjimai suteikia lengvą galimybę pagarsėti ir pasipelninti). Beveik visi garsieji ekstrasensai ir mediuimai yra buvę nutverti sukčiaujant, tarp jų ir plačiai žinomas Uris Gelleris

(Uris Geleris), per atstumą lankstantis metalinius daiktus, ar Nina Kulagina, kurios nepaprastomis galiomis įtikėjo net keletas rusų akademikų. Beje, sumaniam iliuzionistui apgauti patiklius mokslininkus nėra itin sunku. Tad geriausiai demaskuoti įvairius apsišaukėlius sekėsi fizikui Robertui Woodui (Robertas Vudas), kuris pats mėgo atlikinėti fokusus. O vienas garsiausių pasaulio iliuzionistų Harry Houdini (Haris Hudinis), pasipiktinęs, kad jo profesijos atstovai triukus pasitelkia nesąžiningais tikslais, mėgdavo tokių demonstracijų metu atsistoti ir pareikšti: „Aš Harry Houdini, o jūs esate sukčiai.“

Vis dėlto reikia pripažinti, kad be šarlatanų ar sensacijų mėgėjų, parapsichologijoje yra ir rimtų tyrinėtojų, kurie atkakliai bando surasti įtikinamų telepatijos egzistavimo liudijimų.

XIII

ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS RAIDA IR REIKŠMĖ

ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS RAIDA

Šiuolaikinė fizika pradėjo formuotis XIX a. pabaigoje, atradus Röntgeno spindulius, radioaktyvumą ir elektroną. O netrukus buvo iškelta viena iš svarbiausių naujų idėjų – kvanto egzistavimo idėja.

Pagrindinės šiuolaikinės fizikos dalys – tai specialioji ir bendroji reliatyvumo teorijos, kvantinė mechanika, atomų ir molekulių fizika, atomo branduolio fizika, elementariųjų dalelių fizika, kietojo kūno fizika, šiuolaikinė optika, astrofizika ir kosmologija. Taigi savo įvairove šiuolaikinė fizika pranoksta klasikinę fiziką, kuri pradėta kurti dar Senovės Graikijoje, o sparčiausiai buvo plėtojama XVII–XIX a. Šiuolaikinė fizika panašų kelių nuėjo per gerokai trumpesnį laikotarpį.

Pagrindinė XX a. fizikos vystymosi kryptis – mažų atstumų kryptis. Skverbiantis į vis mažesnius atstumus, buvo atrasti atomai ir molekulės, atomų branduoliai ir įvairios elementariosios dalelės. Paaiškėjo, kad mikropasaulyje nėra griežto determinizmo ir, netgi turint visą informaciją apie mikrodalelę, neįmanoma vienareikšmiškai numatyti jos ateities. Antra vertus, visos tos pačios rūšies mikrodalelės yra tapačios, jos neturi individualių bruožų. Būtent mikropasaulyje buvo atrastos dvi naujos fundamentinės sąveikos.

Per keletą metų genijų grupės kolektyvinėmis pastangomis buvo suformuluota kvantinė mechanika – mikrodalelių elgsenos taisyklės. Ji tapo teoriniu pagrindu, ant kurio vėliau buvo kuriama kvantinė medžiagos teorija. Daugiaelektronių atomų ir molekulių fizika griežtai aprašė šių svarbių medžiagos dalelių savybes ir leido apskaičiuoti jas. Tai suteikė teorinės stiprybės chemijai, nors šioji, aišku, išliko atskiru mokslu; ji turi savo tikslus, objektus ir metodus. Palaipsniui buvo išplėtoti ir labai sudėtingi

sistemų – realiųjų kristalų su defektais ir priemaišomis – teorija. Todėl ne tik tapo įmanoma paaiškinti nuo seno žinomas kietųjų kūnų savybes, bet ir aptikti daug naujų, netikėtų reiškinių. Prasti elektros laidininkai – puslaidininkiai, anksčiau laikyti antrarušėmis medžiagomis, pasirodė turintys lengvai keičiamų savybių, kurios buvo panaudotos kuriant įvairius miniatiūrinius elektroninius įtaisus.

Perpratus mikropasaulio dėsnius, užsibaigė amžius trukęs ginčas, kas yra šviesa – bangos ar dalelės (visos mikrodalelės pasirodė esančios dvejopos prigimties, įgyjančios kartais vienokį, kartais kitokį pavidalą); be to, buvo atrasta tvarkinga šviesa – lazerio spinduliuotė. Ji pasirodė esanti labai paranki atliekant tikslius matavimus bei poveikius į medžiagą.

XX a., skverbiantis žemųjų temperatūrų kryptimi, fizikams pavyko aptikti ir paaiškinti netikėtą reiškinių – superlaidumą, o aukštųjų temperatūrų fizika atskleidė, kokios branduolinės reakcijos vyksta žvaigždžių gelmėse, ir numatė galimybę tas reakcijas realizuoti Žemėje, kaip pagrindinį ateities energijos šaltinį.

Specialioji reliatyvumo teorija įrodė, kad šviesos greitis yra ribinis greitis. Ji ne tik aprašė kūnų judėjimą greičiu, artimu šviesos greičiui, bet ir atskleidė esminius ryšius tarp erdvės ir laiko, masės ir energijos. Teko atsakyti absoliučiosios erdvės bei absoliučiojo laiko sampratos ir pripažinti erdvės bei laiko reliatyvumą, t. y. jų priklausomumą nuo atskaitos sistemos. Bendroji reliatyvumo teorija atskleidė dar kitas erdvės ir laiko savybes: įrodė, kad, greta masyvių kūnų laiko tėkmė sulėtėja, net gali sustoti, o erdvė iškreivinama – tai ir yra kūnus veikiančios gravitacijos tikroji priežastis.

XX a. antroje pusėje sparčiausiai plėtojama fizikos kryptimi tapo didelių atstumų kryptis. Revoliuciją Visatos bei jos makrostruktūros sampratoje sukėlė tiek kosminių teleskopų, registruojančių įvairias elektromagnetines bangas, sukūrimas, tiek bendrosios reliatyvumo teorijos ir mikrofizikos pritaikymas kosminiams reiškiniams ir netgi Visatos savybėms aprašyti. Paaiškėjo, kad Visata yra Didžiojo sprogo padarinys, o įvairios katastrofos ir audringi procesai – kosmoso kasdienybė. Tiesa, ir už milijardų šviesmečių nebuvo aptikta reiškinių, sukeltų naujų fundamentinių sąveikų, tačiau paaiškėjo, kad jos visos kadaise, tuoj po Didžiojo sprogo, kilo iš tos pačios vienos pirminės sąveikos. Užtat kosmose buvo atrasta įvairių neįtikimų objektų: juodųjų

skylių, siurbiančių į save aplinkinę medžiagą galaktikų centruose ir dvinarėse žvaigždžių sistemose, pulsarų – nepaprastai tankių ir greitai besisukančių neutroninių žvaigždžių, kvazarų – galingiausių spindulių Visatoje. Iki šiol dar neatskleista prigimtis tamsiosios medžiagos ir tamsiosios energijos, sudarančių didžiąją Visatos masės dalį.

Šiuolaikinės fizikos pasiekimus nulėmė išrasti vis sudėtingesni, tikslesni ir, deja, brangesni prietaisai bei išplėtoti įvairūs matematiniai metodai gautiems rezultatams apibendrinti ir naujoms išvadoms gauti. Tas pats mokslininkas nebegalėjo aprėpti ir eksperimentų, ir teorinių metodų, tad XX a. pradžioje fizikai galutinai pasidalijo į eksperimentatorius ir teoretikus. Vėliau ir vieni, ir kiti ėmė dar siauriau specializuotis. Teoretikai L. Landau ir R. Feynmanas, matyt, buvo paskutiniai universalūs fizikai, gebėję aprėpti visą teorinę fiziką.

Sudėtingoms problemoms spręsti reikia sutelkti daugelio įvairių specializacijų fizikų pastangas, tad XX a. fizika tapo kolektyviniu mokslu. Dabar neretai galima pamatyti mokslinį straipsnį, kurio autoriai yra kelios dešimtys mokslininkų, o pasitaiko ir šimto ar net poros šimtų fizikų kolektyvinių darbų. Taigi fizikoje sumažėjo pavienių mokslininkų vaidmuo ir išaugo mokslo organizatorių vaidmuo. Ankstesniais amžiais svarbiausios mokslo įstaigos buvo universitetai, o XX a. atsirado mokslo institutai, nacionaliniai ir tarptautiniai mokslo centrai. Didžiausiuose tokiuose centruose, kaip antai CERN Europoje, Brookhaveno ir Argonne nacionalinėse laboratorijose (JAV), dirba tūkstančiai fizikų.

Toldama nuo mums pažįstamos realybės į žmogaus pojūčiams neprieinamas sritis, fizika darėsi vis keistesnė ir sunkiau suprantama. Juk gamta nekarvoja pati savęs – naujoje srityje stebimi kitokie reiškiniai, tenka įvesti naujas, neįprastas sąvokas, neturinčias atitikmenų mūsų kasdienėje aplinkoje. Be to, fizikoje svarbiausia yra griežtas matematinis reiškinio aprašymas, o ne vaizdi jo samprata. Neretai interpretacija sugalvojama vėliau, ji gali būti netgi nevienareikšmė. Tad šiuolaikinės fizikos atradimus nespecialistui nėra lengva suvokti. Be to, žmogus yra linkęs absoliutinti savo patirtį, įsprausti naujas žinias į įprastinių sąvokų ir dėsningumų rėmus. Tad pažintis su mikropasaulyu ar megapasaulyu dažnai kelia nepasitikėjimą (kaip ir paviršutiniška pažintis su svetimų kraštų papročiais, nežinant istorinio bei kultūrinio jų pagrindo).

Vis dėlto, netgi populiari šiuolaikinės fizikos atradimų apžvalga padeda įsivaizduoti gamtos įvairovę ir harmoniją, patirti pažinimo džiaugsmą.

ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA IR CIVILIZACIJOS PAŽANGA

Mokslas lemia civilizacijos pažangą dvejopai – plėsdamas pasaulio pažinimą ir savo atradimais lemdamas naujus praktinius taikymus.

Mikropasaulio pažinimo reikšmė. Iki šiuolaikinės fizikos pradžios beveik nieko nebuvo žinoma apie mikropasaulį. Iš pirmo žvilgsnio gali atrodyti, kad ta jokiems žmogaus pojūčiams neprieinama pasaulio sritis ne tiek daug papildo jo sampratą, gal ji svarbi tik palaipsniui atsiradusiais taikymais? Tačiau dar mokslo raidos pradžioje Senovės Graikijos filosofai pirminių pradų atskleidimą laikė vienu svarbiausių pasaulio pažinimo tikslų. Tiesa, XX a. atsivėrus galimybei ne filosofijos, bet tiksliojo mokslo metodais ieškoti pirminių pradų, galutinis atsakymas vis tolo: atomai, elementariosios dalelės, fundamentaliosios dalelės... Taigi aptinkami vis nauji mikropasaulio struktūros elementai, o jiems įžvelgti reikalingos vis didesnės energijos. Kol kas neaišku, kiek tęsis pirminių pradų paieškos, nors esama netiesioginių ženklų, kad ta elementų seka neturėtų būti begalinė, kad galop bus surastos pirminės dalelės. Taigi mikropasaulio tyrimai leido padaryti svarbią išvadą, kad sudėtinga, hierarchinė struktūra būdinga ne tik gyvajai, bet ir negyvajai gamtai, ir tuos dėsnius įmanoma atskleisti žmogaus protu.

Mikrofizikos teorinis pagrindas yra kvantinė mechanika. Fizikams teko pripažinti, kad, vien patikslinus klasikinės fizikos dėsnius, kvantinės mechanikos dėsnių negalima nustatyti – jie yra kito pobūdžio. Tai liudija, kad pažinimas nėra tolydus procesas, bet jam būdingi ir kokybiniai šuoliai. O neapibrėžtumo principas paneigė griežto determinizmo, kuriuo buvo kaltinama klasikinė fizika, galimybę. Taigi net negyvojoje gamtoje pilnutinis dabarties žinojimas vienareikšmiškai nenulemia ateities.

Tiriant naujus mikropasaulio reiškinius, buvo atrastos dar dvi fundamentinės sąveikos, arba jėgos. Tad, dabartinio mokslo požiūriu, visus procesus Visatoje, taip pat ir gyvojoje gamtoje, valdo keturios fundamentinės sąveikos, o visos veikiančios jėgos yra įvairios tų fundamentinių sąveikų apraiškos.

Megapasaulio pažinimo reikšmė. Vienos iš svarbiausių pažinimo mįslių – kas yra erdvė ir kas yra laikas? Reliatyvumo teorija tų mįslių galutinai neišsprendė, bet atskleidė esmines erdvės ir laiko savybes. Specialioji reliatyvumo teorija įrodė, kad erdvė ir laikas nėra nepriklausomi, o glaudžiai susiję tarpusavyje ir sudaro keturmatį erdvėlaikį. Laiko tėkmė nėra vienoda visiems stebėtojams, ji priklauso nuo stebėtojo greičio. Ši teorija nustatė vieną griežtą gamtos ribą: joks fizinis objektas negali judėti ir jokia sąveika negali būti perduodama greičiu, didesniu negu šviesos greitis. O anot bendrosios reliatyvumo teorijos, erdvėlaikio savybes keičia jame esantys kūnai: arti didelės masės kūnų erdvė iškreivinama, o laikas lėtina savo tėkmę. Šios paradoksalios išvados tarsi prieštarauja sveikam protui, bet jos yra patikrintos daugeliu eksperimentų.

Šiuolaikinė fizika pradėjo ne tik mikropasaulio, bet ir megapasaulio – Visatos – mokslinį pažinimą, nes seniau egzistavo tik filosofiniai bei religiniai Visatos modeliai. Bendroji reliatyvumo teorija tapo kosmologijos – mokslo apie Visatą, jos sandarą bei raidą – teoriniu pagrindu. Taikant šią teoriją ankstyvosios Visatos raidai aprašyti, gaunama išvada kad Visata atsirado iš pirminio singularumo (begalinio tankio materialiojo taško) įvykus Didžiajam sproгимui. O Visatos amžius pasirodė esąs ne septyni tūkstančiai metų, kaip, remdamasis Biblijos Pradžios knyga, įvertino šv. Augustinas, o net 13,8 milijardo metų.

Atomo branduolio fizika išsprendė ilgus amžius filosofus dominusį klausimą – koks yra neišsenkamas Saulės energijos šaltinis? Paaiškėjo, jog tai atomų branduolių jungimosi reakcijos, kurios vyksta žvaigždėse (prasideda vandenilio branduolių jungimusi ir palaipsniui yra sintetinami kiti cheminiai elementai). Saulės dydžio žvaigždėje tos reakcijos vyksta labai lėtai – milijardus metų, todėl kurioje nors jos planetoje, gali susidaryti sąlygos, tinkamos gyvybei atsirasti ir vystytis. O masyvi žvaigždė evoliucionuoja daug sparčiau, ir galop sprogstą kaip supernova. Tos katastrofos metu atsiranda sunkiai įsivaizduojamas objektas – neutroninė žvaigždė (20–30 kilometrų skersmens „atomo branduolys“) arba dar keistesnė juodoji skylė, iš kurios traukos lauko negali ištrūkti net šviesa. Galaktikų centruose egzistuoja milijardų Saulės masių juodosios skylės, kurios į save įsiurbia ištiesas žvaigždes.

Taigi šiuolaikinė astrofizika paneigė ilgaamžį žmonijos įsitikinimą, kad danguje, skirtingai negu Žemėje, vyrauja tvarka ir rimtis. Iš tikrųjų kosmosui

būdingi nepaprastos galios ir masto procesai bei objektai, kurių tyrimai labai išplečia pažinimo ribas.

Atradus kitas galaktikas, teko žengti dar vieną žingsnį atsisakant sampratos apie išskirtinę mūsų padėtį Visatoje: tuo nepasižymi ne tik Žemė ar Saulė, bet ir mūsų galaktika Paukščių Takas. O planetų prie daugelio žvaigždžių atradimas įrodė, kad sąlygos, palankios gyvybei atsirasti, nėra būdingos tik Žemei bei labai retos, taigi mūsų civilizacija irgi neturėtų būti ypatinga išimtis. Paukščių take yra apie 300 milijardų žvaigždžių (apie dešimtadalis – panašių į Saulę), o Visatoje, dabartiniu įvertinimu, egzistuoja keli šimtai milijardų galaktikų.

Nauji reiškiniai makropasaulyje. Kitos šiuolaikinės fizikos sritys – atomų ir molekulių fizika, kietojo kūno bei kvantinė lauko teorija taip pat atskleidė visiškai naujų, reiškinių, medžiagos savybių bei būsenų. Paaiškėjo, kad netgi gerai žinomos medžiagos gali turėti netikėtų struktūrinių atmainų; pavyzdžiui, anglis gali būti ne tik suodžių ir deimanto, bet ir tuščiavidurių rutulių, labai plonų vamzdelių ar plėvelių pavidalo. Buvo atrasta dar viena, ketvirtoji, medžiagos būseną – plazma, ypač paplitusi kosmose. Skverbiantis labai žemų temperatūrų kryptimi, absoliučiojo nulio aplinkoje buvo aptiktas netikėtas kvantinis reiškinys – superlaidumas.

Šiuolaikinės fizikos įtaka kitiems mokslams. Fizika prisideda prie kitų mokslų pažangos įvairiais būdais: suteikia galimybę taikyti fizikos dėsnius bei teorinius metodus, naudotis fizikos prietaisais.

Šiuolaikinė astronomija yra tapusi astrofizika, nes Visatos raidą, įvairius joje vykstančius procesus aprašo fizikos dėsniai. O stebimąją optinę astronomiją iš esmės papildė kosminės observatorijos, registruojančios įvairių rūšių elektromagnetines bangas, kurių dauguma nepasiekia Žemės paviršiaus. Labai glaudūs fizikos ryšiai su technika, kurioje taikoma dauguma šiuolaikinės fizikos atradimų. Įvairūs Žemės palydovai, erdvėlaiviai, unikalūs fizikos prietaisai, ryšio priemonės sukurtos bendradarbiaujant abiejų mokslų atstovams. Kvantinė mechanika suteikė teorinį pagrindą chemijai tiriant savo paprasčiausius objektus – molekules bei sąveikas tarp jų; atsirado nauja šio mokslo šaka – kvantinė chemija. Šiuolaikinė fizika daug prisidėjo – savo

metodais bei prietaisais – ir prie svarbių mikrobiologijos pasiekimų atskleidžiant sudėtingus procesus gyvųjų organizmų ląstelėse. Medicina moderniausiems tyrimams – kompiuterinei tomografijai, magnetinio rezonanso ir ultragarso tyrimams – naudoja fizikų išrastus prietaisus.

Antra vertus, glaudūs teorinės fizikos ir matematikos ryšiai, matyt, buvo labiau naudingi šiuolaikinei fizikai, taikančiai įvairius matematikos metodus. Tiesa, ir fizikai prisideda prie matematikos plėtros, pavyzdžiui, prie grupių ar chaoso teorijų. O kai kurie mokslininkai net XX a. gebėjo pasižymėti ir viename, ir kitame moksle.

Šiuolaikinė fizika gerokai susiaurino filosofijos tyrimų sritį, atėmusi iš jos kai kuriuos bendriausius pažinimo klausimus (laiko, erdvės, priežastingumo, Visatos sandaros bei raidos ir kt.), nes juos tapo įmanoma tirti tiksliais mokslo metodais. Antra vertus, esminiai fizikos atradimai, atveriantys netikėtus, bendrus gamtos ypatumus, suteikė filosofijai naujų kūrybinių paskatų. O religijai vis dėlto teko pripažinti šiuolaikinės fizikos bei biologijos atradimus ir apskritai užleisti mokslui visą gamtos ir pasaulio pažinimo sritį. Juk mokslinio pažinimo ribas nustato tik mokslo prietaisų ir metodų galimybės.

Šiuolaikinės fizikos taikymai geriau žinomi, nes su jais susiduria kiekvienas žmogus, tad juos apžvelgsime trumpiau.

Nauji energijos šaltiniai. Vienas iš svarbiausių civilizacijos poreikių – energijos išteklių. Garsioji reliatyvumo teorijos formulė $E = mc^2$ atvėrė medžiagoje slypinčią milžinišką energiją, susijusią su kūno rimties mase; deja, ši energijos rūšis nėra taip paprastai prieinama. Vis dėlto atomo branduolio fizika atskleidė net dvi jos išlaisvinimo galimybes. Atradus sunkiųjų branduolių dalijimosi reakciją, buvo sukurti ir branduolinis reaktorius, ir, deja, atominė bomba. Žemėje įmanoma panaudoti ir žvaigždžių energijos šaltinį – vandenilio jungimosi reakciją; deja, ji prasideda tik labai aukštoje temperatūroje. Tad pirmiausia buvo pagaminta termobranduolinė (vandenilinė) bomba, kurią uždega atominės bombos sprogdymas. Daugelį metų mokslininkai siekia sukurti termobranduolinį reaktorių, kuris taptų žmonijai beveik neišsenkamu energijos šaltiniu. Deja, tokio įrenginio – tokamako – pramoninis variantas, matyt, pradės veikti tik apie XXI a. vidurį.

O pats ekologiškiausias energijos šaltinis – Saulės energija. Fizikų išrasti saulės elementai jos spindulius tiesiogiai paverčia elektros energija. Kol kas jų našumas nėra didelis, tačiau vykdomos intensyvios naujų medžiagų ir technologijų paieškos, nes tai viena iš perspektyviausių energetikos krypčių.

Mikroelektronika. Pagrindinis jos veikėjas, aišku, yra elektronas. O jį geriausiai įdarbino puslaidininkiai, kuriuose elektronus bei laisvas jų vietas – skylės – lengva generuoti ir valdyti. Tai leido sukurti miniatiūrinius įtaisus, iš kurių svarbiausias yra tranzistorius – įtaisas elektros signalams stiprinti ir valdyti. Esminis žingsnis buvo miniatiūrinių elementų sujungimas į sudėtingą sistemą – integrinį grandyną. Jo sukūrimą ateities kartos tikriausiai vertins panašiai kaip knygų spausdinimo išradimą ir nuo to skaičiuos naują civilizacijos raidos etapą.

Integrinis grandynas, su jame realizuotais valdymo komponentais, esantis viename luste, tampa mikroprocesoriumi, kuris yra bet kokio šiuolaikinio prietaiso ar įrenginio valdymo centras, t. y. jo „smegenys“. Plačiausiai naudojamas toks įrenginys yra kompiuteris. Tai ne tik skaičiavimo mašina, jis kaupia, tvarko ir atrenka informaciją, atlieka įvairias intelektines užduotis. Esminiu žingsniu tapo interneto – pasaulinio kompiuterių tinklo – atsiradimas. Svarbiausia interneto dalis – saitynas (angl. *World Wide Web*, sutrumpintai – WWW), išrastas 1989 m. Europos branduolinių tyrimų centre CERN. Tai informacijos perdavimo internetu sistema, leidžianti keistis įvairiais dokumentais, esančiais tarpusavyje sujungtuose kompiuteriuose. Dabar kompiuteris tapo daugumos žmonių kasdieniu darbo ir pramogų įrankiu, o superkompiuteriai sprendžia sudėtingiausias mokslo ir kitų veiklos sričių problemas.

Elektromagnetinių bangų taikymas. Nors elektromagnetinės bangos buvo teoriškai numatytos ir atrastos kaip radijo bangos dar klasikinės fizikos laikotarpiu – XIX a. antrojoje pusėje, pagrindine ryšių priemone jos tapo tik pasitelkus mikroelektroniką. Numatytas naujas kvantinis reiškinys – privertinis spinduliavimas – leido sukurti lazerius, kurie generuoja siaurus spindulių pluoštus. Įvairaus dažnio lazeriai naudojami ne tik ryšiams, bet ir labai tiksliam matavimui, selektyviam poveikiui, pjaustymui, netgi chirurginėms operacijoms.

Stebėtiną ryšių pažangą užtikrino specialūs ryšių palydovai. Buvo sukurtas palydovų tinklas GPS (angl. *Global Positioning System*), leidžiantis tiksliai nustatyti Žemės paviršiaus taškų koordinates. Kosminį radijo ryšį papildė šviesolaidžių tinklai, apjuosiantys visą Žemės rutulį. Pasinaudojant mikroprocesoriais, radijo ryšiu bei mažyčiais elektros akumuliatoriais, buvo sukurti ir pasaulyje žaibiškai paplito mobilieji telefonai.

Elektroninė civilizacija. Civilizacijai būdinga ne tik tolydi raida, bet ir staigūs pokyčiai, kuriuos dažnai lemia naujos informacijos perdavimo galimybės. Civilizacijos pradžia siejama su pirmųjų gyvenviečių atsiradimu maždaug prieš dešimt tūkstančių metų, o tai užtikrino spartesnę žmonių keitimąsi informacija. Vėlesnius esminius civilizacijos pokyčius sukėlė rašto išradimas prieš šešis tūkstantmečius, knygų spausdinimo išradimas XV a. viduryje, sparti mokslo plėtra ir jo žinių sklaida visuomenėje, prasidėjusios XVII a. Pats staigiausias ir, matyt, didžiausias pokytis įvyko per XX a. antrąją pusę. Elektroniniai įrenginiai ir šiuolaikinės ryšio priemonės leido sukurti globalią skaitmeninės informacijos kaupimo ir perdavimo sistemą. Taigi, galima sakyti, kad mūsų civilizacija virto elektronine civilizacija. Pokyčiai vyko ir tebevyksta nepaprastai sparčiai ir beveik nevaldomai, nors gyvenantiems tuo permainų laikotarpiu jų mastą ir pasekmes sunku įvertinti.

Diegiama 5G (penktos kartos) ir jau projektuojama 6G mobiliojo ryšio technologija užtikrina vis spartesnę informacijos perdavimą ir leidžia sukurti vadinamąjį daiktų internetą. Tai reiškia, kad interneto ryšiu sujungiami ne tik žmonės, bet ir išmanieji daiktai. Jie tiesiogiai tarpusavyje, be žmogaus įsikišimo, gali keistis informacija ir užduotimis. Tai ypač skatina robotų naudojimą; prognozuojama, kad jie šiame amžiuje perims iš žmogaus didelę dalį ne tik fizinės, bet ir intelektualinės veiklos.

Šiuolaikinės fizikos atradimų pavojai. Deja, neatsakingai taikomi fizikos atradimai gali kelti pavojų, kaip ir kadaise žmogaus išmokta įdegti ugnis. Branduoliniu ginklu jau disponuoja devynios valstybės, kai kurios turi net tūkstančius jo vienetų. Šio ginklo grėsmę ypač padidina įvairaus nuotolio ir tipo raketos, tikslūs jų nukreipimo būdai.

ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS RAIDA IR REIKŠMĖ

Prasidėjus kosminei erai, į orbitą aplink Žemę buvo iškelti tūkstančiai dirbtinių palydovų. Aprūpinti geriausia elektronine įranga, jie atlieka daugybę užduočių. Tačiau palydovo amžius nėra ilgas, paprastai tik 3–4 metai, tad įvairiuose aukščiuose skrieja daug atitarnavusių įrenginių ar jų nuolaužų, tos kosminės šiukšlės kelia pavojų veikiantiems palydovams ir ypač astronautams.

Nemažai palydovų yra karinės paskirties. Jie žvalgo, renka informaciją, padeda paruošti ir sėkmingai vykdyti karines operacijas. Tačiau yra kuriami planai įrengti palydovuose modernius ginklus, tad karai gali persikelti ir į kosmosą; tiesa, vyktų ne su ateiviais, bet tarp Žemės valstybių. Jau dabar piktybiškiems, net agresyviems, tikslams plačiai naudojama elektroninė erdvė: rengiamos kibernetinės atakos, kurios sutrikdo ne tik privačių kompanijų, bet ir svarbių valstybės institucijų veiklą.

Jaunimą, ypač vaikus, patraukia įvairūs elektroniniai žaidimai, tačiau ir be jų neretai įgyjama priklausomybė nuo interneto ar išmaniojo telefono. O po kelių mažai judančių „elektroninių“ kartų gali pasikeisti žmonių sveikatos rodikliai, atsparumas ligoms. Socialiniai tinklai, ypač uždaros jų grupės, yra naudojami ir nusikalstamiems tikslams. Įvairios legalios ir nelegalios duomenų bazės, kompiuterių slapukai, videokameros kelia visuotinės kontrolės, informacijos rinkimo bei sekimo pavojus.

Robotams dar toli iki žmogaus gebėjimų kūrybiškai mąstyti, priimti nestandartinius sprendimus. Tačiau dirbtinis intelektas sparčiai tobulėja, o žmogaus smegenys jau nebesivysto. Tad klausimas, ar robotai ateityje išliks tik žmogaus pagalbininkais, neturi aiškaus atsakymo.

Taigi sparti civilizacijos pažanga, nemaža dalimi nulemta šiuolaikinės fizikos atradimų, atveria naujas, unikalias galimybes, bet kartu kelia ir nemažus pavojus. Tad XXI amžiuje tikrai įdomu gyventi ir sekti mokslo atradimus bei jų taikymus.

PASITIKRINKITE SAVO ŽINIAS

Galbūt skaitytojui įdomu pasitikrinti savo šiuolaikinės fizikos žinias; jas įvertinti padės šis testas. Geriausia jį atlikti du kartus – prieš skaitant knygą ir ją jau perskaičius.

Po kiekvieno klausimo nurodyta keletas atsakymo variantų, iš kurių reikia išrinkti vieną teisingą. Jį žinantis pelno vieną balą. Jeigu skaitytojas prisipažįsta nežinantis atsakymo, aišku, tenka nulis balų. Tačiau jei bandoma spėti ir nepataikoma, reikėtų įsirašyti pusę neigiamo balo. Paciliui atsakius į visus klausimus, o paskui, palyginus savo atsakymus su 290–292 puslapiuose pateiktais teisingais atsakymais ir suskaičiavus gautą balų sumą, nustatomas bendras žinių įvertis.

1. Koks šiuolaikinės fizikos santykis su klasikine fizika?
 - a) ji paneigė klasikinę fiziką, kuri dabar yra naudojama tik mokinių protui mankštinti; b) ji tik patikslino klasikinę fiziką; c) klasikinė fizika toliau tebegalioja jos ištirtose srityse.
2. Kurios šiuolaikinės fizikos srities objektas yra izotopas?
 - a) atomo branduolio fizikos; b) elementariųjų dalelių fizikos; c) kietojo kūno fizikos.
3. Kurioje šiuolaikinės fizikos srityje yra vartojama Plancko konstanta?
 - a) astrofizikoje; b) kvantinėje mechanikoje; c) specialiojoje reliatyvumo teorijoje.
4. Kuri iš išvardytų fizikos sričių nepriklauso šiuolaikinei fizikai?

PASITIKRINKITE SAVO ŽINIAS

- a) atomo fizika; b) specialioji reliatyvumo teorija;
c) elektromagnetizmo teorija.
5. Kada paaiškėjo, kad atomas nėra nedalomas ir turi vidinę struktūrą?
a) XVIII a.; b) XIX a. pabaigoje;
c) XX a., sukūrus kvantinę mechaniką.
6. Kas yra Röntgeno spinduliai?
a) elektromagnetinės bangos, kurių ilgis yra mažesnis negu regimųjų spindulių; b) elektromagnetinės bangos, kurių ilgis yra didesnis negu regimųjų spindulių; c) iš sužadintųjų atomų išlekiantys greiti elektronai.
7. Kaip pakinta atomas, vykstant medžiagos radioaktyviajam skilimui?
a) keičiasi atomo branduolys; b) keičiasi atomo elektronų sluoksniai;
c) atomas subyra į elementariąsias daleles.
8. Kurį iš išvardytų atradimų padarė A. Einsteinas?
a) nustatė neapibrėžtumų sąryšį; b) įrodė, kad masyvūs kūnai iškreivina aplinkinę erdvę; c) atrado urano dalijimosi reakciją.
9. Bendrasis reliatyvumo principas teigia, kad fizikos dėsniai yra vienodi visiems stebėtojams, kurie juda:
a) vienas kito atžvilgiu pastoviu greičiu; b) vienas kito atžvilgiu pastoviu pagreičiu; c) ta pačia kryptimi.
10. Kokį dydį formulėje $E = mc^2$ žymi c ?
a) kūno greitį; b) stebėtojo greitį; c) garso greitį; d) šviesos greitį.
11. Kaip keičiasi kūno masė jo greičiui artėjant prie šviesos greičio?
a) mažėja; b) didėja; c) artėja prie universalios ribos.
12. Kuris specialiosios reliatyvumo teorijos kūrėjas yra susijęs su Lietuva?
a) H. Lorentzas; b) A. Einsteinas; c) H. Minkowski; d) H. Poincaré.
13. Kuri teorija aprašo šviesos spindulio nukrypimą jam sklindant pro Saulę?

ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA SMALSIEMS

- a) specialioji reliatyvumo teorija; b) netiesinė optika;
c) bendroji reliatyvumo teorija.
14. Turint išsamią informaciją apie elektroną ar kitą mikroobjektą:
a) galima tiksliai numatyti tolesnę jo padėtį;
b) galima nustatyti tikimybę, kur jis bus vėlesniu laiko momentu;
c) visiškai neįmanoma numatyti tolesnio jo judėjimo.
15. Kvantinė mechanika teigia, kad šviesa:
a) yra tik dalelių fotonų srautas; b) yra tik bangos;
c) pasižymi ir banginėmis, ir dalelinėmis savybėmis.
16. Maždaug kokio didumo yra atomas?
a) 10^{-20} m; b) 10^{-15} m; c) 10^{-10} m; d) 10^{-5} m.
17. Kam lygus elektronų skaičius neutraliajame atome?
a) branduolio nukleonų skaičiui; b) branduolio protonų skaičiui;
c) branduolio neutronų skaičiui.
18. Kokios informacijos suteikia atomų spektrai? Jie leidžia:
a) nustatyti atomų matmenis; b) atpažinti, kokių cheminių elementų atomai skleidžia ar sugeria šviesą; c) nustatyti atomų kilmę.
19. Atomo branduolio krūvis yra:
a) lygus atominiam skaičiui; b) lygus branduolio nukleonų skaičiui;
c) toks pat bet kuriam elementui.
20. To paties cheminio elemento izotopų atomai turi vienodą skaičių:
a) neutronų; b) protonų; c) nukleonų.
21. Tričio radioaktyviojo skilimo pusėjimo trukmė yra 12,3 metų. Kiek liks tričio po 24,6 metų, jei pradžioje laiko momentu jo buvo vienas kilogramas?
a) 1/2 kg; b) 1/4 kg; c) 1/8 kg; d) 1/16 kg.
22. Koks procesas vyksta atomų branduoliuose atominės bombos sprogdimo metu?
a) radioaktyvusis skilimas; b) sintezė; c) branduolių dalijimasis.

PASITIKRINKITE SAVO ŽINIAS

23. Koks kuras naudojamas atominėje elektrinėje?
a) sunkusis vandenilis; b) plutonis; c) uranas; d) radioaktyvioji anglis.
24. Dėl kurios iš nurodytų priežasčių Lietuvos gyventojas gauna didesnę jonizuojančiosios spinduliuotės dozę?
a) dėl kosminės spinduliuotės; b) dėl avarijos Černobylio atominėje elektrinėje; c) dėl medicininės apšvitos.
25. Išdėstykite fundamentines sąveikas jų stiprėjimo tvarka:
a) gravitacinė, silpnoji, elektromagnetinė, stiprioji;
b) silpnoji, gravitacinė, stiprioji, elektromagnetinė;
c) silpnoji, elektromagnetinė, gravitacinė, stiprioji;
26. Kuri elementarioji dalelė yra sudaryta iš kvarkų?
a) neutrinai; b) neutronas; c) elektronas; d) miuonas.
27. Kuri elementariųjų dalelių pora yra dalelė ir jos antidalelė?
a) protonas ir neutronas; b) protonas ir pozitronas;
c) elektronas ir pozitronas; d) neutronas ir neutrinai.
28. Puslaidininkiai plačiai naudojami mikroelektronikoje todėl, kad:
a) jų gavyba paprasta ir pigi; b) lengva keisti jų laidumą;
c) jie superlaidūs žemose temperatūrose.
29. Kuo skiriasi įvairios anglies struktūrinės atmainos – grafitas, deimantas ir fulerenai?
a) atomų išsidėstymu; b) defektais struktūroje;
c) įvairiomis prietaisais.
30. Kokios medžiagos pasižymi superlaidumu?
a) labai grynai taurieji metalai; b) visi metalai, kai jų temperatūra artima absoliučiajam nuliui; c) tik kai kurie metalai bei junginiai itin žemoje temperatūroje.
31. Kas yra integrinis grandynas?
a) sudėtingas elektroninis įtaisas, sukurtas viename puslaidininkio kristalėlyje; b) į vieną grandinę sujungti elektros ir optiniai prietaisai;
c) dirbtinių neuronų tinklas.

ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA SMALSIEMS

32. Kuris mokslininkas buvo šiuolaikinės teorinės fizikos pradininkas Lietuvoje?
a) V. Čepinskis; b) P. Brazdžiūnas; c) J. Požela; d) A. Jucys.
33. Kuo pagrįstas lazerio veikimas?
a) priverstiniu spinduliavimu; b) savaiminiu spinduliavimu;
c) fotonų griūties susidarymu veikiant šviesą magnetiniu lauku.
34. Kur informacija yra užrašoma nesinaudojant lazeriu?
a) atmintuke; b) holograme; c) kompaktiniame diske.
35. Erdvė Saulės sistemoje yra:
a) euklidinė; b) labai mažai iškreivinta; c) gerokai iškreivinta.
36. Kuris Visatos modelis buvo patvirtintas stebėjimais? Visata:
a) yra stacionari; b) plečiasi greitėdama; c) plečiasi lėtėdama.
37. Kada įvyko Didysis sprogymas, davęs pradžią Visatai?
a) prieš keturiolika milijonų metų; b) prieš pusantro milijardo metų; c) prieš keturiolika milijardų metų.
38. Kurie du cheminiai elementai yra labiausiai paplitę Visatoje?
a) helis ir geležis, b) vandenilis ir helis;
c) vandenilis ir silicis; d) silicis ir geležis.
39. Kuriam galaktikų tipui priklauso mūsų Galaktika? Ji yra:
a) elipsinė; b) netaisyklingoji; c) spiralinė.
40. Kiek maždaug žvaigždžių yra mūsų Galaktikoje?
a) du šimtai milijonų; b) trys milijardai; c) trys šimtai milijardų.
41. Koks yra pagrindinis žvaigždžių energijos šaltinis?
a) lengvųjų branduolių sintezė; b) radioizotopų skilimas; c) sunkiųjų branduolių dalijimasis.
42. Koks objektas yra mūsų Galaktikos centre?
a) neutroninė žvaigždė; b) didžiulis kamuolinis žvaigždžių spiečius;
c) juodoji skylė; d) tankus dujų ir dulkių debesis.

PASITIKRINKITE SAVO ŽINIAS

43. Kas yra kvazaras?
- a) milžiniškos masės juodoji skylė galaktikos centre, siurbianti aplinkinę medžiagą; b) supernovų sprogimų lavina; c) dvi susiduriančios galaktikos.
44. Kokio tipo žvaigždė yra Saulė?
- a) eilinė pagrindinės sekos žvaigždė; b) raudonoji milžinė; c) baltoji nykštukė; d) pulsaras.
45. Kada susidarė sunkesni už geležį cheminiai elementai?
- a) tuoj po Didžiojo sprogo; b) masyvių žvaigždžių gelmėse, vykstant branduolinėms reakcijoms; c) kosminių katastrofų metu (supernovos sprogo, dviejų neutroninių žvaigždžių susijungimas).
46. Kokios žvaigždės priskiriamos tam pačiam žvaigždynui?
- a) maždaug vienodai nutolusios nuo Žemės; b) maždaug vienodo amžiaus; c) matomos iš Žemės viena kryptimi, bet tarpusavyje nesusijusios.
47. Iš kur dažniausiai atskrieja kometos, retkarčiais sušvintančios danguje?
- a) iš tarpžvaigždinės erdvės; b) iš Kuiperio juostos, esančios už Neptūno orbitos; c) iš asteroidų juostos, esančios tarp Marso ir Jupiterio orbitų.
48. Saulės dėmės yra:
- a) tamsūs debesys Saulės atmosferoje; b) žemesnės temperatūros Saulės paviršiaus sritys; c) vietos, kur į Saulės paviršių išsiveržia tamsesnė Saulės gelmių medžiaga.
49. Koks pseudomokslas paminėtas tarp tikrų mokslų?
- a) astronomija; b) genetika; c) informatika; d) astrologija; e) kibernetika.
50. Koks iš išvardytų reiškinių nėra įmanomas fizikos požiūriu?
- a) kamuolinis žaibas; b) telekinezė; c) telepatija.

ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA SMALSIEMS

ATSAKYMAI IR ĮVERČIAI

1. c) klasikinė fizika toliau tebegalioja jos ištirtose srityse.
2. a) atomo branduolio fizikos.
3. b) kvantinėje mechanikoje.
4. c) elektromagnetizmo teorija.
5. b) XIX a. pabaigoje.
6. a) elektromagnetinės bangos, kurių ilgis yra mažesnis negu regimųjų spindulių.
7. a) keičiasi atomo branduolys.
8. b) įrodė, kad masyvūs kūnai iškreivina aplinkinę erdvę.
9. a) vienas kito atžvilgiu pastoviu greičiu.
10. d) šviesos greitį.
11. b) didėja.
12. c) H. Minkowski.
13. c) bendroji reliatyvumo teorija.
14. b) galima nustatyti tikimybę, kur jis bus vėlesniu laiko momentu.
15. c) pasižymi ir banginėmis, ir dalelinėmis savybėmis.
16. c) 10^{-10} m.
17. b) branduolio protonų skaičiui.
18. b) atpažinti, kokių cheminių elementų atomai skleidžia ar sugeria šviesą.
19. a) lygus atominiam skaičiui.
20. b) protonų.
21. b) $1/4$ kg.

PASITIKRINKITE SAVO ŽINIAS

- 22. c) branduolių dalijimasis.
- 23. c) uranas.
- 24. c) dėl medicininės apšvitos.
- 25. a) gravitacinė, silpnoji, elektromagnetinė, stiprioji.
- 26. b) neutronas.
- 27. c) elektronas ir pozitronas.
- 28. b) lengva keisti jų laidumą.
- 29. a) atomų išsidėstymu.
- 30. c) tik kai kurie metalai bei junginiai itin žemoje temperatūroje.
- 31. a) sudėtingas elektroninis įtaisas, sukurtas viename puslaidininkio kristalėlyje.
- 32. d) A. Jucys.
- 33. a) priverstiniu spinduliavimu.
- 34. a) atmintuke.
- 35. b) labai mažai iškreivinta.
- 36. b) plečiasi greitėdama.
- 37. c) keturiolika milijardų metų.
- 38. b) vandenilis ir helis.
- 39. c) spiralinė.
- 40. c) trys šimtai milijardų.
- 41. a) lengvųjų branduolių sintezė.
- 42. c) juodoji skylė.
- 43. a) milžiniškos masės juodoji skylė galaktikos centre, siurbianti aplinkinę medžiagą.

ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA SMALSIEMS

- 44. a) eilinę pagrindinės sekos žvaigždė.
- 45. c) kosminių katastrofų metu (supernovų sproginimas, dviejų neutroninių žvaigždžių susijungimas).
- 46. c) matomos iš Žemės viena kryptimi, bet tarpusavyje nesusijusios.
- 47. b) iš Kuiperio juostos, esančios už Neptūno orbitos.
- 48. b) žemesnės temperatūros Saulės paviršiaus sritys.
- 49. d) astrologija.
- 50. b) telekinezė.

Žinių įvertis

Mažiau kaip 15 balų – šiuolaikinė fizika jums tebėra nelabai suprantama.

16–25 balai – vidutinės žinios.

26–35 balai – geros žinios.

36–45 balai – labai geros žinios.

Daugiau kaip 45 balai – esate tikras šiuolaikinės fizikos žinovas.

ASMENVARDŽIŲ RODYKLĖ

- Achmanov, Sergej
(Sergejus Achmanovas) 162
- d'Alembert, Jean Le Rond
(Žanas Le Ronas d'Alamberas) 30
- Balmer, Johann Jakob
(Johanas Jakobas Balmeris) 49–51
- Bardeen, John
(Džonas Bardinas) 135, 138
- Basov, Nikolaj (Nikolajus Basovas) 150
- Becquerel, Antoine Henri
(Antuanas Anri Bekerelis) 22, 23, 28
- Bednorz, Johannes Georg
(Johanas Georgas Bednorcas) 136, 137
- Bécu, August Louis
(Augustas Liudvikas Bekiu) 261
- Bell Burnell, Jocelyn
(Džoselin Bel Bernel) 218, 219, 221
- Bethe, Hans (Hansas Betė) 80
- Bohr, Niels (Nilsas Boras) 29, 49–51,
55–57, 60, 61, 78, 80, 103, 104
- Bohr, Margrethe (Margarita Bor) 103
- Bolyai, János (Janošas Boljajis) 172
- Born, Max (Maksas Bornas) 52, 56
- Boyle, Robert (Robertas Boilis) 30
- Brattain, Walter Houser
(Volteris Hauzeris Bratenas) 138
- Brazdžiūnas, Povilas 145–147, 162
- de Broglie, Louis Victor
(Lui Viktoras de Broilis) 51, 52, 56
- Chaplin, Charlie (Čarlis Čaplinas) 43
- Cooper, Leon (Leonas Kuperis) 135
- Cowan, Clyde (Klaidas Kouenas) 29, 117
- Crookes, William
(Viljamas Kruksas) 20, 22, 46
- Curie, Pierre
(Pjeras Kiuri) 23, 28, 100, 101
- Čepinskis, Vincas 65, 145
- Černis, Kazimieras 206, 247
- Čiževskij, Aleksandr
(Aleksandras Čiževskis) 238, 239
- Davis, Raymond
(Reimondas Devisas) 118
- Descartes, René (Renė Dekartas) 256
- Dirac, Paul Adrien Maurice
(Polis Adrienas Morisas
Dirakas) 104

ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA SMALSIEMS

- Doppler, Christian
(Kristianas Dopleris) 157, 158
- Dundulienė, Pranė 180
- Eddington, Arthur Stanley
(Artūras Stanlis Edingtonas) 166
- Edlén, Bengt (Bengtas Edlenas) 63, 64
- Einstein, Albert (Albertas Einšteinas)
17, 18, 29, 31, 32, 36, 38–41, 43,
44, 57, 68, 80, 122, 150, 164, 165,
166, 167, 168, 171, 173, 195, 256
- Escher, Maurits Cornelis
(Mauricas Kornelis Ešeras) 44
- Euler, Leonhard (Leonardas Oileris) 30
- Faraday, Michael
(Maiklas Faradėjus) 15, 103
- Fermi, Enrico (Enrikas Fermi)
80, 84, 86, 114
- Fermi, Laura (Laura Fermi) 103
- Feynman, Richard
(Ričardas Feinmenas) 67, 276
- Fleischmann, Martin
(Martinas Fleišmanas) 257, 258, 259
- Fok, Vladimir (Vladimiras Fokas) 65
- Fridman, Aleksandr
(Aleksandras Fridmanas) 167, 168
- Friedrich, Walter
(Valteris Frydrichas) 25
- Frisch, Otto Robert
(Otas Robertas Frišas) 101
- Galilei, Galileo (Galileo Galilėjus)
21, 29, 31, 183
- Gamow, George
(Džordžas Gamovas) 169
- Gauss, Carl Friedrich
(Karlus Frydrichas Gausas) 172
- Geller, Uri (Uris Geleris) 272
- Gell-Mann, Murray
(Maris Gelis-Manas) 110, 119
- Genzel, Reinhard
(Reinhardas Gencilis) 101
- Ginzburg, Vitalij
(Vitalijus Ginzburgas) 176
- Ghez, Andrea Mia
(Andreja Mija Gez) 101
- Goeppert-Mayer, Maria
(Marija Gepert-Majer) 101
- von Guericke, Otto
(Otas fon Gėrikė) 30
- Hahn, Otto (Otas Hanas) 78, 84, 101
- Hartree, Douglas Rayner
(Daglasas Reineris Hartris) 65
- Hawking, Stephen William
(Stivenas Viljamas Hokingas) 222
- Heisenberg, Werner Karlas
(Verneris Karlas Heizenbergas)
52, 56, 57, 256
- Herschel, Frederick William
(Frederikas Viljamas
Heršelis) 202, 238
- Hertz, Heinrich
(Heinrichas Hercas) 18, 30
- Hertzsprung, Ejnar
(Einaras Hercsprungas) 210, 211
- Hewish, Antony
(Antonis Hiuišas) 218, 219, 221
- Higgs, Peter
(Piteris Higsas) 12, 112, 115
- Horodničius, Henrikas 84
- Houdini, Harry (Haris Hudinis) 273
- Hubble, Edwin (Edvinas
Hablas) 168–170, 187, 192,
202, 203, 207, 208

ASMENVARDŽIŲ RODYKLĖ

- Jeans, James Hopwood
 (Džeimsas Hopvudas Džinsas) 227
 Jensen, Hans Daniel
 (Hansas Danielis Jenzenas) 101
 Joffe, Abram (Abramas Jofė) 146, 147
 Joliot-Curie, Frederic
 (Frederikas Žolio-Kiuri) 100
 Joliot-Curie, Irène
 (Irena Žolio-Kiuri) 84, 100
 von Jolly, Philipp (Filipas fon Žoli) 13
 Joyce, James (Džeimsas Džoisas) 119
 Jucys, Adolfas 65–67, 145
- Kamerlingh Onnes, Heike
 (Heikė Kamerlingas
 Onesas) 133, 134
 Kant, Immanuel
 (Imanuelis Kantas) 183, 215
 Kapica, Piotr
 (Piotras Kapica) 29, 261
 Kapteyn, Jacobus Cornelius
 (Jakobas Kornelijus Kapteinas) 177
 Kilby, Jack (Džekas Kilbis) 132
 Knipping, Paul (Paulis Knipingas) 25
 Kučinskas, Arūnas 206
 Kuiper, Gerard Peter
 (Gerardas Peteris Keiperis) 218, 226
 Kurčiatov, Igor (Igoris Kurčiatovas) 83
- de Lagrange, Joseph Louis
 (Žozefas Lui de Lagranžas) 30
 de Laplace, Pierre Simon
 (Pjeras Simonas de
 Laplasas) 216, 221
 von Laue, Max
 (Maksas fon Laujė) 25, 29
 de Lavoisier, Antoine Laurent
 (Antuanas Loranas de Lavuazjė) 240
- Lawrence, Ernest Orlando
 (Ernestas Orlandas
 Lorensas) 113, 114, 154
 Leibniz, Gottfried Wilhelm
 (Gotfrydas Vilhelmas Leibnicas) 256
 Lemaître, Georges (Žoržas Lemetras) 169
 Lobačevskij, Nikolai
 (Nikolajus Lobačevskis) 172
 Lorentz, Hendrik Antoon
 (Hendrikas Antonas
 Lorencas) 40, 41, 46
- Mach, Ernst (Ernstas Machas) 40
 Maiman, Theodore Harold
 (Teodoras Haroldas Meimenas) 151
 Maldutis, Evaldas 162
 Malinauskas, Viliumas 29
 Matthias, Bernd (Berndas Matiasas) 136
 Matulis, Juozas 84
 Maxwell, James Clerk
 (Džeimsas Klarkas Maksvelas)
 30, 121, 122, 255
 Meitner, Lise (Liza Meitner) 101
 Mendelejev, Dmitrij
 (Dmitrijus Mendelejevas) 65
 Messier, Charles (Šarlis Mesjė) 184
 Michell, John (Džonas Mičelas) 221
 Michelson, Albert Abraham
 (Albertas Abrahamas
 Maiklsonas) 14
 Minkowski, Hermann
 (Hermanas Minkovskis) 41
 Morley, Edward
 (Edvardas Morlis) 14
 Mourou, Gerard (Žeraras Muru) 101
 Müller, Karl Alexander
 (Karlas Aleksandras
 Miuleris) 136, 137

ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA SMALSIEMS

- Newton, Isaak (Izaokas Niutonas)
30, 31, 39, 40, 44, 62, 121, 122,
164, 165, 201, 216, 255, 256
- Nobel, Alfred (Alfredas Nobelis)
21, 25–28, 38, 100, 101, 117,
122, 221, 224, 252, 258
- Ockham, William of
(Viljamas Okamas) 253, 270
- Oppenheimer, Robert
(Robertas Openheimeris) 80, 81
- Pauli, Wolfgang (Volfgangas Paulis)
52, 55, 56, 104, 116, 117
- Penrose, Roger
(Rodžeris Penrouzas) 224
- Piskarskas, Algis Petras 162
- Planck, Max (Maksas Plankas) 13,
17, 25, 29, 49, 53, 55, 173
- Poincaré, Henri (Anri
Puankarė) 31, 41, 256
- Pons, Stanley (Stenlis Ponsas)
257, 258, 259
- Požela, Juras 147
- Pretorijus, Matas 181
- Prochorov, Aleksandr
(Aleksandas Prochorovas) 150
- Reines, Frederic
(Frederikas Reinsas) 29, 117
- Riemann, Bernhard
(Bernhardas Rymanas) 172
- Röntgen, Wilhelm Conrad
(Vilhelmas Konradas Rentgenas)
16–26, 28, 29, 46, 63, 92, 94,
153, 155, 156, 191, 193, 201,
204, 216, 223, 230, 274
- Roosevelt, Franklin Delano
(Franklinas Delanas Ruzveltas) 80
- Russell, Henry Norris
(Henris Norisas Raselas) 210, 211
- Rutherford, Ernest
(Ernestas Rezerfordas) 47, 48, 70
- Sacharov, Andrej
(Andrejus Sacharovas) 96, 176
- de Saint-Victor, Abel Niépce
(Abelis Niepsas de Sen Viktoras) 84
- Salam, Abdus
(Abdusas Salamas) 122
- Savić, Pavle
(Pavlė Savičius) 84, 100
- Schmidt, Maarten (Martenas Šmitas) 203
- Schrieffer, John Robert
(Džonas Robertas Šryferis) 135
- Schrödinger, Erwin
(Ervinas Šrėdingeris)
52, 54, 56, 57, 62
- Schwarzschild, Karl
(Karlus Švarcšildas) 221, 222
- Shockley, William (Viljamas Šoklis) 138
- Shostak, Seth (Setas Šostakas) 266
- Sievert, Rolf (Rolfas Sivertas) 92
- Skłodowska-Curie, Marie
(Marija Sklodovska-Kiuri)
23, 28, 100, 101
- Strassmann, Friedrich Wilhelm “Fritz”
(Frydrichas Vilhelmas „Fricas“
Štrasmanas) 78, 84, 101
- Strickland, Donna
(Dona Striklend) 101
- Szilard, Leo (Leo Scilardas) 80
- Tautvaišienė, Gražina 206

ASMENVARDŽIŲ RODYKLĖ

- | | |
|---|---|
| <p>Teller, Edward
(Edvardas Teleris) 80</p> <p>Thomson, Joseph John
(Džozefas Džonas
Tomsonas) 17, 28, 47</p> <p>Thomson, William (Kelvin)
(Viljamas Tomsonas (Kelvinas)) 13</p> <p>Tolutis, Vytautas 146</p> <p>Townes, Charles Hard
(Čarlzas Hardas Taunsas) 150</p> <p>Truman, Harry
(Haris Trumenas) 81</p> <p>Vansevičius, Vladas 206</p> <p>Viščakas, Jurgis 146, 147</p> <p>Vul, Bencion (Bencionas Vulas) 146</p> | <p>Weinberg, Steven
(Stivenas Vainbergas) 122, 177</p> <p>Wigner, Eugene (Judžinas Vigneris) 80</p> <p>Wilson Charles (Čarlzas
Vilsonas) 105, 304</p> <p>Wolf, Rudolf (Rudolfas Volfas) 231</p> <p>Wood, Robert (Robertas Vudas) 273</p> <p>Zeldovič, Jakov
(Jakovas Zeldovičius) 177</p> <p>Zuokas, Artūras 29</p> <p>Zweig, George (Džordžas Cveigas) 110</p> <p>Zwicky, Fritz (Fricas Cvikis) 177</p> <p>Žemaitis, Zigmas 146</p> <p>Žvironas, Antanas 145</p> |
|---|---|

DALYKINĖ RODYKLĖ

- Akrecinis diskas 195, 196, 203, 222
Alfa dalelė 47, 92
Alfa spinduliai 23, 24, 92
Andromedos galaktika 184, 188, 189
Anihiliacija 105, 169, 174
Ankstyvoji Visata 117, 119, 169,
 170, 173, 175, 176, 185,
 186, 194, 202, 278
Antidalelė 104–109, 112, 169, 174
Antrasis kosminis greitis 36, 221
Antropinis principas 178, 179
Apšvita 92–94
Asteroidas 206, 218, 226, 236,
 241, 243, 245–247
Asteroidų
 juosta 241
 orbitos 246
 pavojus 243–246
Astroblema 245, 246
Astrologija 248–251, 254
Atomas 47–51, 54, 62–65
 daugiaelektronis 63–67, 274
 planetinis modelis 47–50
 sužadintasis 49, 63, 65,
 150–152, 156
Thomsono modelis 47
Atominė bomba 80–85
Atominės masės vienetas 72, 74, 76
Atominis skaičius 72
Atomo branduolys
 dydis 70
 krūvis 48, 70, 71
 sandara 70, 71
Atomo fizika 63–66
 Lietuvoje 65–67
Atskaitos sistema 31, 32, 165, 166
Banga-dalelė 51–53, 58–60, 148
Banginė funkcija 52, 54, 60, 62, 63, 65, 68
Bekerelis (vienetas) 75
Bendroji reliatyvumo teorija 164–171,
 222, 275
 eksperimentinis
 patikrinimas 166, 167
 galiojimo ribos 169, 171
 pagrindinės idėjos 165, 166
 sukūrimas 164
 taikymas astrofizikoje 221, 222
 taikymas kosmologijoje 167, 168
Beta spinduliai 23, 24, 92, 104

DALYKINĖ RODYKLĖ

- Bozonai 108, 110–112, 123
 Branduolinės reakcijos 70, 72,
 75–79, 95, 97, 169, 175
 žvaigždėje 207–212
 Branduolinis reaktorius 85–89
 Branduolio
 dalijimasis 77–80
 radioaktyvūs skilimas 72, 73, 75
 Branduolių
 jungimasis 76
 sintezė 83, 95, 175, 179,
 209–212, 257–259
 stabilumo takas 77
 Burbulinė kamera 105, 106

 Cheminės reakcijos 24, 70, 76, 261
 Ciklotronas 113–115

 Černobylio avarija 88–91, 94

 Dalelės
 elementariosios 104, 107–110
 fundamentaliosios 110–112
 Defektai kristaluose 125–127
 Detektoriai
 elementariųjų dalelių
 105, 106, 114–116
 neutrinių 117–119
 puslaidininkiniai 132, 133
 Dėsnis
 Hubble 168–170
 radioaktyviojo skilimo
 72, 73, 75, 99
 Deuteris 71, 75, 76, 79, 96
 Didysis hadronų kolaidieris (LHC)
 115, 116
 Didysis Magelano Debesis 184, 191, 192
 Didysis sprogimas 168, 169, 278

 Difrakcija
 elektronų 52
 Röntgeno spindulių 24–26
 Diodas 130, 131, 139, 140, 142, 143
 Dislokacija 126, 127
 Dopplerio efektas 157, 158, 168
 Dvynių paradoksas 41, 42

 Egzoplaneta 227, 228
 Eksperimentatoriai ir teoretikai 25, 29, 30
 Elektronas 17, 18, 23, 47–49, 53
 energijos lygmenys 49, 50
 orbita atome 51, 54, 55
 šuliai atome 49, 50
 Elementarioji dalelė 53, 104, 107–110
 bozonas 108, 110–112, 123
 fermionas 108, 111, 123
 hadronas 108–110, 121
 leptonas 111, 112, 121
 mezonas 107, 108, 110
 Elementariosios dalelės banginės
 savybės 51–53
 Elementariųjų dalelių
 greitintuvai 108, 113–116
 viršmai 106, 107, 121
 Energija 288
 branduolinė 76, 83, 86–88, 98, 99
 rimties 36, 37, 204
 ryšys su mase 36, 37
 Energijos lygmenys
 atomo 50, 62
 elektrono 49
 Erdvė
 euklidinė (plokščia) 171, 172
 neeuclidinė (kreiva)
 165, 166, 171–173
 Erdvėlaikis 34, 35, 41, 186
 Eteris 14, 31, 32

ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA SMALSIEMS

- | | |
|--|---|
| <p>Etnokosmologija 179–182, 205</p> <p>Fermionai 108, 111, 123</p> <p>Filosofija ir fizika 13, 40, 44, 45, 57, 61, 62, 179, 216, 256, 257, 277, 278</p> <p>Fluorescencija 19, 22, 47, 58, 143</p> <p>Fotodiodas 140, 142</p> <p>Fotoefektas 18, 38</p> <p>Fotonas 17, 18, 53, 54, 58, 109, 142</p> <p>Fulerenai 124, 125</p> <p>Fundamentaliosios dalelės 110, 129 kartos 110–112</p> <p>Fundamentinės konstantos 17, 169, 173, 176, 179</p> <p>Fundamentinės sąveikos 110, 120, 121 suvienijimas 113, 121–123, 173, 174</p> <p>Galaktika 183–199 <ul style="list-style-type: none"> aktyvioji 193–195 elipsinė 188, 197 netaisyklingoji 191 pekuliarioji 192 spiralinė 188, 189, 197 turinti skersę 198, 199 </p> <p>Galaktikos tyrimai Lietuvoje 205, 206</p> <p>Galaktikų <ul style="list-style-type: none"> grupė 183–185 spiečius 177, 185 superspiečius 184, 185, 187 susidūrimas 192, 197, 198 </p> <p>Gama spinduliai 23, 24, 92, 201</p> <p>Gyvybės atsiradimas 178, 179</p> <p>Gyvybės medis 181</p> <p>Gliuonai 110–112, 119, 120, 174</p> <p>Grafenas 125</p> <p>Grandininė branduolių dalijimosi reakcija 78, 79, 85, 86</p> <p>Gravitacinės bangos 167</p> | <p>Gravitacinis spindulys 221, 222</p> <p>Hadronas 108</p> <p>Helis Visatoje 169, 170, 175</p> <p>Hertzsprungo ir Russello diagrama 210, 211</p> <p>Holografija 159, 160</p> <p>Horoskopas 249–251</p> <p>Hubble <ul style="list-style-type: none"> dėsnis 168–170 konstanta 169, 170 </p> <p>Ignalinos atominė elektrinė 88</p> <p>Įkalinimas kvarkų 120</p> <p>Infraraudonieji spinduliai 133, 142, 143, 153, 157, 200</p> <p>Integrinis grandynas 131, 132, 143–145 gamyba 143–145</p> <p>Interferencija 58, 59, 159</p> <p>Izotopas 71 <ul style="list-style-type: none"> radioaktyvusis 72, 73 stabilusis 77 </p> <p>Jėga žr. <i>sąveika</i></p> <p>Jonas 64, 65</p> <p>Jonizuojančiosios spinduliuotės dozė <ul style="list-style-type: none"> 91, 94 lygiavertė 92 sugertoji 92 </p> <p>Juodasis kūnas 15</p> <p>Juodoji skylė 194, 221–224 <ul style="list-style-type: none"> dvinarėje žvaigždžių sistemoje 216, 221–223 galaktikos centre 194–197, 199, 203–205 įvykių horizontas 195, 196 </p> <p>Kamuolinis žaibas 254, 259–262</p> |
|--|---|

DALYKINĖ RODYKLĖ

- Katodiniai spinduliai 15–17, 19, 20, 22, 46
 Katodinis vamzdelis 15, 16, 19, 46
 Kaupinimas 151, 153
 Kietasis kūnas 124
 Kietojo kūno fizika 124–127
 Klasikinė fizika 13–15, 274
 Kolapsas 201, 221, 222
 Kometa 206, 218, 234–236
 Konstanta
 Hubble 169, 170
 Plancko 17, 53, 55
 Kosminės civilizacijos 262–266
 Kosminės stygos 186, 187
 Kosminiai ateiviai 267–270
 Kosminė foninė spinduliuotė
 170, 175, 187
 Kosminis teleskopas
 Hubble 202, 207
 Kepler 227
 TESS (*Transiting Exoplanet Survey Satellite*) 227
 XMM-Newton 201
 Kosminiai spinduliai 237, 238
 liūtis 237
 Kosminis greitis
 antrasis 36, 221
 trečiasis 266
 Kosmologija 12, 167–171, 278
 Krabo ūkas 201, 213–215
 Kreiva erdvė 165, 166, 171–173
 Kristalai 26, 124–126, 128, 143, 149
 Kristalinė gardelė 26, 124
 defektai 125–127
 Kritinė masė 78, 80, 81
 Kritinė temperatūra 133, 134, 136
 Kuiperio juosta 218, 226
 Kvantas 17, 18, 38, 109
 Kvantinė mechanika 52–56, 62
 Kvantinė optika 148, 149
 Kvantinis kompiuteris 67, 68
 Kvantinė teleportacija 68, 69
 Kvarkas 110, 111
 gelminis 111, 112
 keistasis 110, 111
 kylantysis 110, 111
 krintantysis 110, 111
 viršūninis 111
 žavusis 111
 Kvarkų
 atmaina 112
 įkalinimas 120
 spalva 112, 119, 120
 Kvazaras 193, 194, 203, 204

 Laikas
 reliatyvumas 33, 34, 41, 42
 ryšys su erdve 34, 35, 41, 186
 sulėtėjimas 33, 34, 41, 42
 Lazeris 148–156
 impulsinis 153, 154, 162
 kintamojo dažnio 154
 nuolatinės veikos 153
 rentgeno 155, 156
 veikimo principas 149–153
 Lazerinių tyrimų centras Vilniaus
 universitete 162, 163
 Lazerių taikymai 154, 155, 160
 Ledynmečiai 233
 Leptonai 111, 112, 121
 Lygtys
 Maxwello 255
 Schrödingerio 52, 54, 57, 62
 Lustas 132, 281

 Magnetinis laukas
 neutroninės žvaigždės 220

ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA SMALSIEMS

- Magnetinis laukas
 Saulės 229
 Žemės 231
- Masė
 gravitacinė 165
 inercinė 165
 kritinė 78, 80, 81
 reliatyvumas 36, 37
 rimties 36, 37, 280
- Masės
 defektas 76
 skaičius 71, 72
- Matavimas mikropasulyje 53, 54, 58, 59
- Mazeris
 kosminis 156–158
 pirmasis 150, 151
- Mažasis Magelano Debesis 184, 191
- Mėnulio įtaka procesams Žemėje 233, 234
- Metafizika 13
- Meteoritai 236, 240–242
 nukritę Lietuvoje 241, 243
- Mezonai 107, 108, 110
- Mikroelektronika 131, 132,
 138, 139, 143, 281
- Miūonas 42, 108, 111, 117
- Molėtų astronomijos
 observatorija 205, 206
- Multivisata 179
- Nanovamzdeliai 124, 125
- Natūralusis fonas 92, 238
- Neapibrėžtumo principas 52,
 53, 185, 277
- Neapibrėžtumų sąryšis 52, 53
- Neatpažintas skraidantis objektas
 (NSO) 254, 267–270
- Neutrinas 104, 111, 116–119
 elektroninis 108, 111
 miūoninis 108, 111
 tau 111, 117
- Neutrinų detektorius 118, 119
- Neutronas 71, 72, 75–77,
 110, 120, 176, 219
- Neutroninė žvaigždė 201, 214,
 215, 219–221, 223
- Nykštukė (žvaigždė)
 baltoji 212
 juodoji 212
 rudoji 209, 210
- Nobelio premija 26–29
- Nukleonas 71, 72
- Ockhamo principas 253, 270
- Oorto debesis 218
- Ozono
 skylė 248
 sluoksnis 230, 247–248
- Papildomumo principas 61, 62
- Parapsichologija 270–273
- Pasaulinė linija 36
- Pasaulio stulpas 181
- Paukščių Takas (Galaktika) 183–185,
 188–190, 204–206
- Paulio principas 55
- Periodinė cheminių elementų
 lentelė 74
- Planetėlė (nykštukinė planeta) 218, 226
- Planetesimalė 218, 235
- Planetos
 Saulės 218, 224–226
 kitų žvaigždžių 227, 228
- Planetų susidarymas 216–218
- Plancko
 konstanta 17, 53, 55
 laikas 173

DALYKINĖ RODYKLĖ

- Plazma 174, 175, 193–195, 207,
210, 229, 230, 279
- pn (skylinė elektroninė) sandūra
129, 130, 131
- Priežastingumas mikropasaulyje 62, 63
- Principas 255
- antropinis 178, 179
 - neapibrėžtumo 52, 53, 185, 277
 - Ockhamo 253, 270
 - papildomumo 61, 62
 - Paulio 55
 - reliatyvumo 31, 32, 41, 165
- Protogalaktika 187, 196
- Protoplaneta 217, 218
- Protonas 51, 70–72, 75–77, 104,
107, 110, 120, 123, 237
- Protožvaigždė 207–210, 212, 217
- Pseudomokslas 253–255, 257–259
- Pulsaras 214, 215, 218–221
- Pusėjimo trukmė 72, 73, 93, 99
- Puslaidininkiai 128–132, 138–147
- n (elektroninis) 128
 - p (skylinis) 129
- Radioaktyvusis anglies izotopas 99, 100
- Radioaktyviojo skilimo dėsnis 72, 73
- Radioaktyvieji elementai 23,
72, 73, 77, 92, 93
- Radioaktyvumas 22–24, 75,
78, 84, 89–91, 100
- dirbtinis 70, 100
- Radijo bangos 150, 158, 199, 200
- Radinių amžiaus nustatymas 99, 100
- Radioastronomija 193–195, 199, 200
- Radioizotopas (radioaktyvusis izotopas)
72, 73, 77, 78, 90–92, 94
- Raudonoji milžinė 157
- Reakcijos
- branduolinės 72, 77–79, 95, 97
 - cheminės 24, 70, 76, 261
 - elementariųjų dalelių 105, 107
- Reliatyvumas
- ilgio 34
 - laiko 33, 34, 41, 42
 - masės 36
- Reliatyvumo principas 31, 32, 41, 165
- Reliatyvumo teorija
- bendroji 164–171
 - specialioji 31–41
 - pažintinė reikšmė 43–45, 275, 278
- Religija ir mokslas 256, 257
- Rentgeno astronomija 201
- Rentgeno lazeris 155, 156
- Rentgenostruktūrinė analizė 26
- Rimties
- būsena 31
 - energija 36, 37, 204
 - masė 36, 37, 280
- Ryšys tarp
- energijos ir masės 36, 37
 - erdvės ir laiko 34, 35, 41
 - mikropasaulyje ir
megapasaulyje 175, 176
- Röntgeno spinduliai
- atradimas 18–22
 - difrakcija 25
 - savybės 20, 21
- Saulės
- aktyvumas 229–234
 - ciklai 232
 - dėmės 229, 230
 - elektrinė 141
 - elementas 140, 141
 - neutrinoi 118, 119
 - planetos 224–226

ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA SMALSIEMS

- Saulės
- protuberantai 230
 - raida 210–212
 - sistema 216–218, 224–226
 - temperatūra 229
 - vėjas 230, 231
 - žybsnis 230
- Sąveika
- elektromagnetinė 112, 121, 122, 271
 - elektrosilpnioji 112, 122, 174
 - fundamentinė 120–123, 173, 271, 272
 - gravitacinė (visuotinės traukos) 112, 121, 122, 164, 166, 174
 - silpnioji 75, 110, 112, 121, 122, 174
 - stiprioji 75, 110, 112, 121, 122
 - suvienytoji 122, 123
- Schwarzschildo (gravitacinis)
- spindulys 194, 221, 222
- Sinchrotronas 114
- Sivertas (vienetas) 92
- Specialioji reliatyvumo teorija
- eksperimentinis patikrinimas 37, 38
 - išvados 33–37
 - principai 31
 - lygtys 33, 34, 36
 - sukūrimas 31, 40, 41
- Spektras
- būdingasis 51, 63–65
 - linijos 49–51, 148, 168, 200
 - serija 49–51, 64
- Spinduliai
- alfa 23, 24, 92
 - beta 23, 24, 92
 - gama 23, 24, 92
 - infraraudonieji 133, 142, 143, 153, 157, 200
 - katodiniai 15–17, 19, 20, 22, 46
 - kosminiai 237, 238
 - Röntgeno 18–22
 - ultravioletiniai 18, 142, 153, 247
- Spinduliavimas
- priverstinis 148–153
 - savaiminis 149, 151
- Spinduliuotė 62–65, 148, 149
- jonizuojančioji 92–95
 - juodojo kūno 15, 17
 - kosminė foninė 170, 175, 187
 - lazerio 150–156, 161
 - mazerio 150, 157, 158
 - reliktinė 175
 - šiluminė 15, 200
- Superlaidininkas 133
- Superlaidumas 133–138
- aukštatemperatūris 136–138
- Supernova 194, 196, 201, 212–215
- Sveikas protas ir šiuolaikinė fizika 41, 45, 278
- Šviesos
- diodas (šviestukas) 142, 143
 - greitis 14, 31, 32, 34
 - sugertis 18, 42, 149, 151
- Tachionas 43
- Taikomoji fizika 253
- Tamsioji energija 178
- Tamsioji medžiaga 177, 178, 187, 190, 199
- Tapatumas mikrodalelių 55
- Telekinezė 270–272
- Telepatija 270, 271, 273
- Termobranduolinė sintezė
- termobranduolinėje (vandenilinėje) bomboje 83
 - valdomoji 95–99

DALYKINĖ RODYKLĖ

- žvaigždėje 207–210
Tokamakas 96–99
Tranzistorius 131, 138–140
Tritis 71, 72
Tunelinis reiškiny 60, 208
Tvermės dėsnis
 elektros krūvio 72
 energijos 105
 judėjimo kiekio 149
 judėjimo kiekio momento 105, 197
 masės 76
Ultravioletinė spinduliuotė 142, 153, 247
 apsauga nuo jos 247, 248
Uranas
 ²³⁵U 78–80, 85, 87
 ²³⁸U 78, 79, 93
Užpildos apgraža 151–153, 156, 157
Vakuumas 178
Vandenilinė (termobranduolinė)
 bomba 83, 280
Vandenilis Visatoje 170, 175
Vietinė galaktikų grupė 184
Visata
 amžius 170, 278
 Didysis sprogimas 168,
 169, 173–176
 modeliai 167, 168, 180, 278
 plėtimasis 170, 171, 174, 179
 raida 173–175
Wilsono kamera 105
Wolfo skaičius 231, 232
Zodiakas
 ženklas 248, 250
 žvaigždynai 249
Žemės magnetosfera 230, 231
Žvaigždė
 dvinarė 213, 216, 223
 kintamoji 212
 pagrindinės sekos 210, 211
Žvaigždės
 kolapsas 201, 221, 222
 masė 209, 213
 raida 210–216
 ryškis 210
 šviesis 170, 210
 susidarymas 207, 208, 217
 temperatūra 208, 229
Žvaigždžių kamuolinis spiečius
 189, 190, 205

PAVEIKSLĖLIŲ ŠALTINIAI

- 1.6 pav.** https://de.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Conrad_R%C3%B6ntgen#/media/Datei:Room_where_R%C3%B6ntgen_found_x-rays.jpg
- 1.7 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/First_medical_X-ray_by_Wilhelm_R%C3%B6ntgen_of_his_wife_Anna_Bertha_Ludwig%27s_hand_-_18951222.gif
- 1.8 pav.** Life, 27 April 1896.
- 1.10 pav.** R. Karazija. Neregimųjų spindulių pėdsakais. V.: Mokslas, 1983, įklija, 13 pav.
- 1.11 pav.** <http://d1udmfvw0p7cd2.cloudfront.net/wp-content/uploads/2014/12/n-nobel-a-20141212.jpg>
- 1.12 pav.** <http://1x57.com/wp-content/uploads/2012/03/alfred-nobel-prize-medal-front-albert-einstein-1922-photoelectric-effect-relativity.jpg>
- 2.6 pav.** http://apod.nasa.gov/apod/image/0001/einstein_clerk_big.gif
- 2.8 pav.** <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/7d/c8/63/7dc863c44282f34059c9001cb6bceaec.jpg>
- 3.3 pav.** <https://sergeyvetkov.livejournal.com/1461303.html>
- 3.9 pav.** D.C. Cassidy. Heisenberg, uncertainty and quantum revolution. Scientific American, 1992, v. 266, No. 5, p. 113.
- 3.12 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6d/Niels_Bohr.jpg/800px-Niels_Bohr.jpg
- 3.13 pav.** http://abyss.uoregon.edu/~js/21st_century_science/lectures/lec13.htm
- 3.17 pav.** K. Krauskopf, A. Beiser. The Physical Universe. 6th ed. N. Y.: McGraw Hill, 1991, p. 275.

PAVEIKSLĖLIŲ ŠALTINIAI

- 3.18 pav.** R. Karazija. Žalias teorijos medis. V.: Inforastras, 2003, įklia, p. XIV, A. Ališausko nuotrauka.
- 4.6 pav.** D. Merion. Fizika i fizičeskij mir. M.: Mir, 1975, p. 522.
- 4.10 pav.** http://nationalinterest.org/files/styles/main_image_on_posts/public/main_images/Picture_14_2.jpg?itok=mVkJIDeS
- 4.11 pav.** G. Gamow. J.M. Cleveland. Physics. Foundations and Frontiers. Englewood Cliffs – New Jersey: Prentice-Hall, 1960, p. 460.
- 4.12 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fe/Stagg_Field_reactor.jpg/800px-Stagg_Field_reactor.jpg
- 4.14 pav.** http://inapcache.boston.com/universal/site_graphics/blogs/bigpicture/chernobyl_25th_anniversary/bp2.jpg
- 4.15 pav.** T. Nedveckaitė. Radiacinė apsauga Lietuvoje. V.: Mokslo ir enciklopedijų institutas, 1998, viršelis.
- 4.16 pav.** T. Nedveckaitė. Radiacinė apsauga Lietuvoje. V.: Mokslo ir enciklopedijų institutas, 1998, p. 51.
- 4.18 pav.** Radiacinės saugos centro 2015 metų veiklos ataskaita. V.: Radiacinės saugos centras, 2016, p. 35, 30 pav.
- 4.19 pav.** The Project Physics Course. Directors of Project F.J. Rutherford et al. N. Y.: Holt, Rinehart and Winston, 1972, unit 6, p. 104.
- 4.22 pav.** <http://www.engineersjournal.ie/wp-content/uploads/2016/02/Fig.-2.jpg>
- 4.23 pav.** J. Ongena. Introduction to fusion and important research topics in tokamak research. Seminar Joint Research Centers in EU, Vilnius, 27 February 2008.
- 4.25 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/80/Marie_Pierre_Irene_Curie.jpg
- 4.26 pav.** M. Fehrs, R. Czujko. Women in physics: reversing the exclusion. Physics Today, 1992, v. 45, No. 8, p. 35.
- 5.1 pav.** <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/69/PositronDiscovery.jpg/800px-PositronDiscovery.jpg>
- 5.2 pav.** The Project Physics Course. Directors of Project F.J. Rutherford et al. N. Y.: Holt, Rinehart and Winston, 1972, unit 6, p. 67.
- 5.5 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/43/Standard_Model_of_Elementary_Particles-lt.svg

ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA SMALSIEMS

- 5.6 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1c/CMS_Higgs-event.jpg/800px-CMS_Higgs-event.jpg
- 5.7 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/be/27-inch_cyclotron.jpg
- 5.9 pav., a** http://cdn.iflscience.com/images/89185acc-9892-559a-b355-f86477f8f40b/extra_large-1464364539-325-large-hadron-collider-is-back-to-change-our-understanding-of-the-universe-again.jpg
- 5.9 pav., b** <http://www.ep.ph.bham.ac.uk/DiscoveringParticles/lhc/experiments/images/atlas-large.jpg>
- 5.10 pav.** http://media.npr.org/assets/img/2011/02/24/vue_interne_de_super_kamiokande_wide-042e544f58bb2dc9d9223a2cccae66d527314c2b-s900-c85.jpg
- 6.1 pav., d** <https://scx2.b-cdn.net/gfx/news/hires/2016/57d1575f1dd5b.jpg>
- 6.5 pav.** M.G. Lagally. Atom motion on surfaces. *Physics Today*, 1993, v. 46, No. 11, p. 25.
- 6.10 pav., a** https://proxy.duckduckgo.com/iu/?u=https%3A%2F%2Fcdn-images-1.medium.com%2Fmax%2F800%2F1*EnrkTBD6lKLphxntl8yCHw.png&f=1
- 6.10 pav., b** G.D. Hutcheson, J.D. Hutcheson. Technology and economics in the semiconductor industry. *Scientific American*, 1996, v. 274, No. 1, p. 62.
- 6.11 pav.** <https://jfgauvin2008.files.wordpress.com/2009/06/kammerlingonnes.jpg?w=791&h=1024>
- 6.12 pav.** D. van Delft, P. Kes. The discovery of superconductivity. *Physics Today*, 2010, v. 63, No. 9, p. 41.
- 6.13 pav.** <https://humanityplus.wordpress.com/2017/06/27/levitation-and-the-meisner-effect/>
- 6.14 pav.** C.C. Tsuei. Probing high temperature superconductivity. *Scientific American*, 1996, v. 275, No. 8, p. 54.
- 6.17 pav.** http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2013/10/israel_solar_brightsource.jpg
- 6.20 pav.** Šiuolaikinė fizika Lietuvoje. Sudarytoja E. Makariūnienė. Str. rinkinys. K.: Šviesa, 1997, p. 281.
- 7.2 pav.** <https://twitter.com/nobelprize/status/1162059385314664451>

PAVEIKSLĖLIŲ ŠALTINIAI

- 7.6 pav.** <https://lasers.llnl.gov/content/assets/images/media/photo-gallery/large/nif-1109-17878.jpg>
- 7.7 pav.** F. Sears et al. University Physics. Massachusetts: Addison-Wesley, 1987, p. 980.
- 7.8 pav.** M. Elitzur. Masers in the sky. Scientific American, 1995, v. 272, No. 2, p. 73.
- 7.9 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/M33_-_Triangulum_Galaxy.jpg
- 7.12 pav.** Tomo Vinicko nuotrauka. <http://g2.dcdn.lt/images/pix/sviesu-festivalis-beepositive-2016-72449560.jpg>
- 7.13 pav.** <https://www.lb.lt/lt/kolekcines-ir-progines-monetos-sarasas/moneta-skirta-fizikai>
- 8.8 pav.** R. Karazija. Tas paprastas nepaprastas pasaulis. V.: Ciklonas, 2018, p. 104.
- 8.10 pav.** P. Dundulienė. Lietuvių liaudies kosmologija. V.: Mokslas, 2008, p. 22.
- 8.11 pav.** P. Dundulienė. Lietuvių liaudies kosmologija. V.: Mokslas, 2008, p. 23.
- 9.1 pav.** G.O. Abell, D. Morrison, S.C. Wolff. Exploration of the Universe. 5th ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1987, p. 646.
- 9.2 pav.** E. Chaisson. Universe. An Evolutionary Approach to Astronomy. New Jersey: Prentice-Hall, 1988, p. 270.
- 9.3 pav.** <http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci102/images/sloanbutterfly.jpg>
- 9.4 pav., a** <http://www.wolaver.org/space/M87.jpg>
- 9.4 pav., b** http://lainfo.es/en/wp-content/uploads/lainfo.es-11844-web_m31.jpg
- 9.5 pav., a** <http://cdn.zmescience.com/wp-content/uploads/2013/04/spiral-arm2.jpg>
- 9.5 pav., b** <https://www.deseret.com/2019/6/17/20675685/>
- 9.6 pav.** [https://en.wikipedia.org/wiki/Andromeda_Galaxy#/media/File:Andromeda_Galaxy_\(with_h-alpha\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Andromeda_Galaxy#/media/File:Andromeda_Galaxy_(with_h-alpha).jpg)
- 9.7 pav.** Lietuvos dangus 2007. V.: TFAI, p. 18.
- 9.8 pav.** <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4140681>
- 9.9 pav., a** <http://en.es-static.us/upl/2016/01/large-megallanic-cloud-from-earth.jpg>
- 9.9 pav., b** <http://astropixels.com/galaxies/images/SMC-02w.jpg>

- 9.10 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Antennae_galaxies_xl.jpg
[_87_crop_max_res.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/_87_crop_max_res.jpg)/[1024px-Black_hole_-_Messier_87_crop_max_res.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/1024px-Black_hole_-_Messier_87_crop_max_res.jpg)
- 9.11 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d2/ESO_Centaurus_A_LABOCA.jpg
- 9.13 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cf/Black_hole_-_Messier_87.jpg/1280px-Black_hole_-_Messier_87.jpg
- 9.16 pav.** https://hklaureateforum.org/images/science_in_the_community/fast/HKLF_article_banner_R1_200727_.jpg
- 9.17 pav.** http://www.dlr.de/en/Portaldata/1/Resources/portal_news/newsarchiv2009_4/XMM-Newton_1500.jpg
- 9.18 pav., a** http://abyss.uoregon.edu/~js/images/galileo_telescope.jpg
- 9.18 pav., b** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6a/PSM_V09_D079_Herschel_40_foot_telescope_at_slough.jpg
- 9.18 pav., c** http://astronomynow.com/wp-content/uploads/2015/04/HST_in_orbit_620x400.jpg
- 9.19 pav.** http://www.nasa.gov/images/content/57828main_milky-way-browse.jpg
- 9.20 pav., a** http://lietuvai.lt/wiki/Vaizdas:Moletu_observatorija.jpg
- 9.20 pav., b** http://lietuvai.lt/wiki/Vaizdas:MO_teleskopas.jpg
- 10.1 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1c/Porous_chondriteIDP.jpg
- 10.2 pav.** <https://cdn.spacetelescope.org/archives/images/thumb700x/heic1501a.jpg>
- 10.5 pav.** <https://cdn.spacetelescope.org/archives/images/thumb700x/heic0515a.jpg>
- 10.6 pav.** M. Zeilik, J. Gaustad. Astronomy. The Cosmic Perspective. 2nd ed. N. Y.: John Wiley, 1990, p. 527.
- 10.8 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9d/HL_Tau_protoplanetary_disk.jpg
- 10.9 pav.** http://www.cv.nrao.edu/course/ast534/images/PSRs_discovery.jpg
- 10.10 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3e/Pulsar_schematic.svg/1280px-Pulsar_schematic.svg.png

PAVEIKSLĖLIŲ ŠALTINIAI

- 10.11 pav.** <https://lt.wikipedia.org/w/index.php?curid=522870>
- 10.13 pav.** http://www.slate.com/content/dam/slate/articles/health_and_science/bad_astronomy/2012/11/19_gallery/exoplanet_2m1207b.jpg.CROP.original-original.jpg
- 11.1 pav.** http://spaceplace.nasa.gov/review/violins/sunspots_big.en.jpg
- 11.2 pav.** <http://www.nileinternational.net/en/wp-content/uploads/2015/08/Miro-sun-blast.jpg>
- 11.4 pav.** E. Chaisson. Universe. An Evolutionary Approach to Astronomy. New Jersey: Prentice-Hall, 1988, p. 175.
- 11.5 pav.** *Novoje v fizike*. 1989, No. 6, p. 16.
- 11.6 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/fa/Bayeux_Tapestry_32-33_comet_Halley_Harold.jpg
- 11.7 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/71/Shoemaker-Levy_9_on_1994-05-17.png
- 11.8 pav., a** [https://en.wikipedia.org/wiki/Mercury_\(planet\)#/media/File:Mercury_in_color_-_Prockter07-edit1.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Mercury_(planet)#/media/File:Mercury_in_color_-_Prockter07-edit1.jpg)
- 11.8 pav., b** <http://www.the8planets.com/wp-content/gallery/mercury-photos2/planet-mercury-2.jpg>
- 11.9 pav.** *La Recherche*, 1995, v. 281, No. 11, p. 62.
- 11.10 pav.** *Priroda*, 1989, No. 6, p. 14.
- 11.11 pav.** *Priroda*, 1994, No. 9, p. 24.
- 11.12 pav., a** <http://www.ve.lt/uploads/img/catalog/1/907/233/geologas-paskutinis-zinomas-meteoritas-lietuvoje-nukrito-pries-80-metu2.jpg>
- 11.12 pav., b** https://s1.15min.lt/images/photos/2019/04/23/original/57429728_314979495850557_4662368024089591808_n-5cbec26ea1494.jpg
- 11.13 pav.** <https://i.ytimg.com/vi/dpmXyJrs7iU/maxresdefault.jpg>
- 11.14 pav.** https://lt.wikipedia.org/wiki/Arizonos_krateris#/media/Vaizdas:Barringer_Meteor_Crater_Arizona.jpg
- 11.16 pav.** <https://s1.15min.lt/static/cache/NTcweCw2Njd4NTgxLDYwMDQzNyxvcmlnaW5hbCwsaWQ9MzE3MDI4MiZkYXRlPTIwMTclMkYwNiUyRjMwLDEwNTc1Njk4OA==/nr1-595611897ad5d.jpg>

ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA SMALSIEMS

- 11.17 pav.** R. Gailius. Lietuvos meteoritiniai krateriai. V.: Mokslas, 1998, p. 62.
- 11.18 pav.** M. Zeilik. Astronomy. The Evolving Universe. 6th ed. N. Y.: John Wiley, 1991, p. 332.
- 11.19 pav.** M. Zeilik. Astronomy. The Evolving Universe. 6th ed. N. Y.: John Wiley, 1991, p. 8.
- 12.1 pav.** <http://i.huffpost.com/gen/3049652/thumbs/o-BALL-LIGHTNING-570.jpg?6>
- 12.2 pav.** D. Barri. Šarovaja molnija i četočnaja molnija. M.: Mir, 1983, p. 115.
- 12.3 pav.** M. Zeilik, J. Gaustad. Astronomy. The Cosmic Perspective. 2nd ed. N. Y.: John Wiley, 1990, p. 777.
- 12.4 pav., a** <http://www.unknown5.com/wp-content/uploads/2016/08/Cave-Paintings-Of-Tassili.jpg>
- 12.4 pav., b** <http://www.unknown5.com/wp-content/uploads/2016/08/Petroglyphs-Of-Val-Camonica.jpg>
- 12.5 pav.** <http://static.ddmcdn.com/gif/blogs/dnews-files-2015-05-nazca-lines-peru-670-jpg.jpg>
- 12.6 pav.** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f5/Pioneer10-plaque_tilt.jpg/1024px-Pioneer10-plaque_tilt.jpg
- 12.7 pav.** Zemlia i Vselennaja, 1995, No. 2, p. 74.
- 12.8 pav.** J.M. Passachoff. Contemporary Astronomy. 2nd ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1981, p. 410.
- 12.9 pav.** J.M. Passachoff. Contemporary Astronomy. 2nd ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1981, p. 410.

PADĖKOS

Autorius nuoširdžiai dėkoja:

Kolegoms, atskirų šiuolaikinės fizikos krypties specialistams, perskaičiusiems kai kuriuos knygos skyrius ir pateikusiems vertingų pastabų, – prof. Gyčiui Juškai (VI sk.), prof. Egidijui Norvaišui (V sk.), prof. Algirdui Petruui Stabiniui (VII sk.) ir doc. Kastyčiui Zubovui (VIII–X sk.).

TEV leidyklai ir dailininkei Birutei Grabauskienei už galimybę šioje knygoje panaudoti kai kurias vadovėlio „Fizika humanitarams“ iliustracijas.

LMA Vrublevskių bibliotekos skyriaus vedėjai Eglei Šegždienei už nuoširdžią informacinę pagalbą.

Dailininkei Miglei Datkūnaitei už patrauklų, šiuolaikinę fiziką atspindintį viršelį.

Knygos redaktorei Alinai Momkauskaitei už atidų redagavimą.

Maketuotojai Reginai Kunigėlienei už išmaniai sukurtą sudėtingą maketą.

SVARBIAUSIOS ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS DATOS

1895	Atrasti Röntgeno spinduliai (W. Röntgen).
1896	Atrastas urano radioaktyvumas (A.H. Becquerel).
1897	Atrastas elektronas (J.J. Thomson).
1900	Įvesta kvanto sąvoka (M. Planck).
1905	Sukurta specialioji reliatyvumo teorija (A. Einstein, H. Poincaré).
1905	Įvesta fotono sąvoka ir taip paaiškintas fotoefektas (A. Einstein).
1911	Pasiūlytas planetinis atomo modelis (E. Rutherford).
1911	Atrastas superlaidumas (H. Kamerlingh Onnes).
1913	Sukurta vandenilio atomo teorija (N. Bohr).
1916	Sukurta bendroji reliatyvumo teorija (A. Einstein).
1919	Įvykdyta pirmoji dirbtinė branduolinė reakcija (E. Rutherford).
1922–1924	Pasiūlyti keli kintamos Visatos modeliai (A. Fridman).
1923	Iškelta idėja apie mikrodalelių banginę prigimtį (L. de Broglie).
1925	Suformuluotas Paulio principas (W. Pauli).
1926	Užrašyta Schrödingerio lygtis (E. Schrödinger).
1927	Suformuluotas neapibrėžtumo principas (W. Heisenberg).
1929	Atrastas Hubble dėsnis (E. Hubble).
1931	Iškelta neutrino egzistavimo hipotezė (W. Pauli).
1932	Atrastas neutronas (J. Chadwick).
1932	Pasiūlytas atomo branduolio modelis (W. Heisenberg).
1932	Atrastas pozitronas (C. Anderson).

- 1934 Atrastas dirbtinis radioaktyvumas (I. Joliot-Curie, F. Joliot-Curie).
- 1938 Atrasta urano dalijimosi reakcija (O. Hahn, F. Strassmann).
- 1938–1939 Nustatytos termobranduolinės reakcijos žvaigždėse (H. Bethe, C. Weizsäcker).
- 1942 Sukurtas pirmasis branduolinis reaktorius (E. Fermi ir kt.).
- 1945 Sukurta atominė bomba (R. Oppenheimer ir kt.).
- 1946–1948 Išplėtotą karštosios ankstyvos Visatos teorija (G. Gamow).
- 1948 Išrastas tranzistorius (J. Bardeen, W. Brattain).
- 1949 Sukurta pū sandūros teorija (W. Shockley).
- 1950 Iškelta termobranduolinio reaktoriaus idėja (A. Sacharov).
- 1954 Sukurtas mazeris (N. Basov, A. Prochorov, C. Townes).
- 1956 Atrastas neutrinas (F. Reines, C. Cowan).
- 1957 Sukurta superlaidumo teorija (J. Bardeen, L. Cooper, J. Schrieffer).
- 1957 Paleistas pirmasis dirbtinis Žemės palydovas (SSRS).
- 1958 Sukurtas pirmasis integrinis grandynas (J. Kilby).
- 1960 Sukurtas optinis lazeris (T. Maiman).
- 1963 Atrasti kvazarai (M. Schmidt).
- 1964 Iškelta kvarkų egzistavimo hipotezė (M. Gell-Mann, G. Zweig).
- 1965 Atrasta kosminė foninė spinduliuotė (A. Penzias, R. Wilson).
- 1967 Atrasti pulsarai (neutroninės žvaigždės) (A. Hewish, J. Bell Burnell).
- 1967–1968 Sukurta elektrosilpnosios sąveikos teorija (S. Weinberg, A. Salam).
- 1969 Žmogus pirmą kartą išsilaipino Mėnulyje (NASA, JAV).
- 1974 Numatytas juodųjų skylių kvantinis „garavimas“ (S. Hawking).
- 1975 Atrastas tauonas (M. Perl ir kt.).
- 1980 Iškelta ankstyvosios Visatos infliacijos hipotezė (A. Guth).
- 1983 Atrasti bozonai, perduodantys silpnąją sąveiką (C. Rubbia, P. Darriulat ir kt.).
- 1986 Atrastas aukštatemperatūris superlaidumas metalooksidinėse keramikose (J. Bednorz, K. Müller).

- 1989 Įrodyta, kad egzistuoja tik trys fundamentaliųjų dalelių kartos (G. Feldman, J. Steinberger ir kt.).
- 1991 Atrasta nauja anglies struktūrinė atmaina – nanovamzdeliai (S. Iijima).
- 1995 Atrastas šeštasis kvarkas (CDF mokslininkų grupė, JAV).
- 1997 Atlikta kvantinė teleportacija (A. Zeilinger, D. Bouwmeester ir kt.).
- 1998 Nustatyta, kad Visatos plėtimasis greitėja (S. Perlmutter, B. Schmidt).
- 1998 Eksperimentiškai įrodyta, kad vienos rūšies neutrinai gali virsti kitos rūšies neutrinais (T. Kajita ir A. McDonald).
- 2004 Atrastas grafenas (A. Geim, K. Novosiolov).
- 2012 Atrastas Higgso bozonas (CERN dvi mokslininkų grupės).
- 2016 Atrastos gravitacinės bangos (LIGO ir *Virgo* mokslininkų grupės (JAV)).

Romualdo Karazijos knygos lietuvių kalba

VADOVĖLIAI VIDURINEI IR AUKŠTAJAI MOKYKLOMS

Fizika humanitarams. Klasikinė fizika. V.: TEV, 1996; Šiuolaikinė fizika. V.: TEV, 1997

Fizikos istorija. V.: Inforastras, 2002. Pataisytas ir papildytas elektroninis leidimas. V.: Vilniaus universiteto Fizikos fakultetas, 2017

Fizikos metodologija ir filosofija. V.: VPU leidykla, 2007

MOKSLO POPULIARINIMAS

Šimtas fizikos mįslių. V.: Vaga, 1977

Linksmoji fizika. V.: Mokslas, 1982

Neregimųjų spindulių pėdsakais. V.: Mokslas, 1983

Kaip pakelti Žemę. V.: Vaga, 1988

Kasdienės paslaptys. K.: Šviesa, 1993

Fizikos mįslės. V.: Alma littera, 1999

Linksmoji fizika ir jos taikymas politikoje, poezijoje ir parapsichologijoje. K.: Šviesa, 1999

Šviesos ir šešėlių paslaptys. V.: Asveja, 2000

Ižymūs fizikai ir jų atradimai. K.: Šviesa, 2002

Žaislai, žaidimai ir įdomūs bandymai. V.: TEV, 2002. Pataisytas leidimas, 2014

Žalias teorijos medis. Akad. A. Jucio gyvenimas ir mokslinė veikla.

V.: Inforastras, 2003. Pataisytas elektroninis variantas. 2014

Pėdos. V.: Inforastras, 2017

Tas paprastas nepaprastas pasaulis. V.: Ciklonas, 2018

KNYGOS ROKO SUBAČIAUS SLAPYVARDŽIU

Dramatiškos biografijos: kovotojai, kūrėjai, karjeristai, kolaborantai...

V.: Mintis, 2005, 2007, 2008. Pataisytas ir papildytas leidimas. 2018

Žmogus, nesuvaldęs sparnuotųjų žirgų: XXI amžiaus pavojai. V.: Mintis, 2008

Ties nežinomybės riba. Mokslas, magija, religija. K.: Jotema, 2011

Žinomi ir nežinomi įžymūs lietuviai. Rankraštis

PASTABA. Knygų, kurių pavadinimai pateikti kursyvu, elektronines kopijas galima atsisiųsti iš autoriaus interneto puslapio <http://www.tfai.vu.lt/Karazija/> arba iš Lietuvos mokslų akademijos Vrublevskių bibliotekos katalogo.

Romualdas Karazija. Šiuolaikinė fizika smalsiems

Vilnius: Kriventa, 2021, 318 p.

Šiuolaikinė fizika įdomi tuo, kad ji atskleidžia naujus, mūsų pojūčiams neprieinamus pasaulius – labai mažų ir labai didelių atstumų, didelių greičių, labai žemų ir aukštų temperatūrų; jie stebina netikėtais reiškiniais ir dėsningumais, gamtos įvairove, pranokstančia net fantastų išmones. Mikrodalės, pasižyminčios ir bangų, ir dalelių savybėmis, galinčios sukurti daug masyvesnes už save daleles, įvykiai, kurių seka priklauso nuo stebėtojo greičio, kosmose vykstantys stulbinamo masto ir galios reiškiniai, – šie ir kiti šiuolaikinės fizikos atradimai ne tik papildo, bet iš esmės keičia

mus supančio pasaulio sampratą.

ISBN 978-609-462-169-7

Redagavo Alina Momkauskaitė

Knygos dizainą kūrė Miglė Datkūnaitė

Maketavo Regina Kunigėlienė

Išleido leidybos įmonė „Kriventa“

V. Pietario g. 5-3, 03122 Vilnius

Tel. / faks. (8 5) 265 0629

kriventa@kriventa.lt

www.kriventa.lt

Tiražas 1 000 egz.

