

ROMUALDAS KARAZIJA

Fizikos



istorija

Is. Newton

Volterra

M. Curie

Dr. G. S. Ohm

Rutherford

Er. Struygins

Benj. Franklin

ROMUALDAS KARAZIJA

Fizikos
istorija

Trečias pataisytas, elektroninis leidimas

Vilniaus universitetas, 2022

TURINYS

PRATARMĖ.....	5
SENOJIFIZIKA.....	9
I. FIZIKOS ATSIKIDIMAS SENOVĖS GRAIKIJOJE.....	9
1.1. Mokslo žinios Egipte ir Babilonijoje.....	9
1.2. Pirminių pradų idėja.....	10
1.3. Atomų ir tuštumos hipotezė.....	14
1.4. Aristoteles'o fizika.....	19
Santrauka.....	22
II. ALEKSANDRIJOS MUZIEJUS. KONKREČIŲ FIZIKINIŲ TYRIMŲ PRADŽIA.....	24
2.1. Aleksandrija – pasaulio mokslo centras.....	24
2.2. Archimedes'o atradimai ir išradimai.....	26
2.3. Eukleides'o ir Ptolemaios'o optika.....	30
2.4. Aleksandrijos mechanikai.....	32
Santrauka.....	35
III. VIDURAMŽIŲ FIZIKA IR MOKSLO ATGIMIMAS.....	37
3.1. Mokslo estafetę perima arabai ir perduoda europiečiams.....	37
3.2. Viduramžių fizika Vakarų Europoje.....	39
3.3. Mokslo atgimimo pradininkai.....	42
Santrauka.....	48
KLASIKINĖ FIZIKA.....	50
IV. G. GALILEI – KLASIKINĖS FIZIKOS PRADININKAS.....	50
4.1. Gyvenimas ir kova už naująjį mokslą.....	50
4.2. Fizikos metodas.....	54
4.3. G. Galilei fizikos atradimai.....	56
Santrauka.....	58
V. FIZIKA NUO GALILEI IKI NEWTON'O.....	60
5.1. Mokslo ypatumai ir raidos sąlygos.....	60
5.2. R. Descartes ir jo mokslo sistema.....	63
5.3. Eksperimentiniai tyrimai.....	67
5.4. C. Huygens'o ir R. Hooke'o mechanikos bei optikos darbai.....	71
Santrauka.....	75
VI. I. NEWTON.....	78
6.1. Gyvenimas ir veikla.....	78
6.2. Visuotinės traukos dėsnis.....	81

6.3. Klasikinės mechanikos pagrindai.....	85
6.4. I. Newton'o optika.....	87
Santrauka.....	90
VII. MECHANIKA IR ŠILUMOS FIZIKA XVIII A.	91
7.1. Laikotarpio ir mokslo raidos charakteristika.....	91
7.2. Klasikinės mechanikos sukūrimas.....	93
7.3. Šilumos fizika ir atomizmas.....	96
Santrauka.....	101
VIII. ELEKTRINIŲ REIŠKINIŲ TYRIMAI.....	103
8.1. Statinės elektros pagrindinės savybės.....	103
8.2. Franklin'o bandymai ir jo elektros teorija.....	105
8.3. Krūvių sąveikos dėsnio nustatymas.....	107
8.4. Elektros srovės šaltinio sukūrimas.....	110
Santrauka.....	112
IX. BANGINĖ ŠVIESOS TEORIJA.....	114
9.1. XIX a. mokslo bruožai.....	114
9.2. Šviesos interferencija ir poliarizacija.....	115
9.3. A. Fresnel'io banginė šviesos teorija.....	117
9.4. Spektrų tyrimai.....	119
9.5. Eterio problema.....	121
Santrauka.....	123
X. TERMODINAMIKA IR KINETINĖ DUJŲ TEORIJA.....	125
10.1. Bendro energijos tvermės dėsnio atradimas.....	125
10.2. Termodinamikos pagrindai.....	129
10.3. Kinetinė dujų teorija ir atomizmas.....	133
Santrauka.....	135
XI. ELEKTROS SROVĖS TYRIMAI.....	137
11.1. Cheminis ir magnetinis srovės veikimas.....	137
11.2. Ampère'o elektrodinamika.....	139
11.3. Elektros srovės dėsniai.....	142
Santrauka.....	144
XII. BENDROS ELEKTROMAGNETINIŲ REIŠKINIŲ FIZIKOS SUKŪRIMAS.....	146
12.1. M. Faraday gyvenimas ir darbai.....	146
12.2. Maxwell'o lygtys.....	152
12.3. Elektromagnetinių bangų atradimas.....	155
Santrauka.....	157
ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA.....	159
XIII. ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS PRADŽIA.....	159

13.1. Katodinių spindulių tyrimai ir Röntgen'o spindulių atradimas.....	159
13.2. Radioaktyvumas.....	161
13.3. Elektronas ir elektroninė teorija.....	165
13.4. Kvanto ir fotono atradimas.....	169
13.5. Šiuolaikinės fizikos bruožai.....	173
Santrauka.....	175
XIV. RELIATYVUMO TEORIJA.....	178
14.1. A. Einstein'o gyvenimas ir veikla.....	178
14.2. Specialioji reliatyvumo teorija.....	181
14.3. Bendroji reliatyvumo teorija.....	185
Santrauka.....	188
XV. KVANTINĖ MECHANIKA. ATOMŲ IR MOLEKULIŲ FIZIKA.....	190
15.1. Planetinis atomo modelis.....	190
15.2. Kvantinės mechanikos sukūrimas.....	193
15.3. Atomų ir molekulių fizika.....	199
Santrauka.....	202
XVI. ATOMO BRANDUOLIO IR ELEMENTARIŲJŲ DALELIŲ FIZIKA.....	204
16.1. Branduolio sandara ir branduolinė energija.....	204
16.2. Elementariosios dalelės ir fundamentinės sąveikos.....	211
Santrauka.....	222
XVII. KONDENSUOTŲJŲ TERPIŲ IR LAZERIŲ FIZIKA.....	225
17.1. Kietojo kūno fizika.....	225
17.2. Makroskopiniai kvantiniai reiškiniai.....	231
17.3. Lazerių fizika ir netiesinė optika.....	235
Santrauka.....	241
XVIII. KOSMOLOGIJA IR ASTROFIZIKA.....	244
18.1. Kosmologija.....	244
18.2. Astrofizika.....	251
Santrauka.....	259
FIZIKOS ISTORIJOS ETAPAI IR DĖSNINGUMAI.....	262
I PRIEDAS. SVARBIAUSIŲJŲ FIZIKOS ATRADIMŲ CHRONOLOGIJA.....	268
II PRIEDAS. PAGRINDINIŲ FIZIKOS SĄVOKŲ RAIDA.....	282
LITERATŪRA.....	321
PAVEIKSLĖLIŲ ŠALTINIAI.....	324
ASMENVARDŽIŲ RODYKLĖ.....	330

PRATARMĖ

Vincas Čepinskis, vienas iš Lietuvos universiteto Kaune kūrėjų, pirmojo lietuviško fizikos vadovėlio aukštajai mokyklai autorius, pabrėždavo, kad fizikas turi žinoti savojo mokslo istoriją. Daugiatomėse „Fizikos paskaitose“ jis derino chronologinį ir sisteminių dėstymą, pateikė nemažai žinių apie žymiausius mokslininkus ir jų atradimų aplinkybes. Nuo 1926 m. atskirą fizikos istorijos kursą Lietuvos universitete skaitė Kęstutis Šliūpas, vėliau jį pakeitė Antanas Žvironas. Pastarasis paliko įdomius konspektus, deja, parengti fizikos istorijos vadovėlio jis nespėjo. Po karo šis kursas buvo dėstomas keliose aukštosiose mokyklose, bet vadovėlis nebuvo išleistas.

Šis pirmasis fizikos istorijos vadovėlis lietuvių kalba yra skirtas aukštųjų mokyklų fizikos specialybės studentams, mokytojams, taip pat fizikams, besidomintiems savojo mokslo istorija. Skaitytojas turėtų būti susipažinęs su aukštosios mokyklos bendruoju fizikos kursu, nes dėsniai ir reiškiniai, kurių atradimo istorija aprašoma, laikomi žinomais, ypač klasikinės fizikos. Vadovėlių autorius parengė dėstydamas fizikos istoriją Vilniaus pedagoginio universiteto studentams.

Dauguma fizikos istorijos vadovėlių, išleistų užsienio kalbomis, yra didelės apimties, kartais net dviejų tomų. Kadangi Lietuvos aukštosiose mokyklose dėstomi gana trumpi fizikos istorijos kursai, tad šis vadovėlis daug kuklesnių užmojų, jame apibūdinami tik svarbesni atradimai ir pagrindiniai jų autoriai. Pateikiamos tiksliai pačių žymiausių fizikų trumpos biografijos. Vis dėlto nesinorėjo, kad istorija virstų sausu atradimų išvardijimu, todėl vadovėlyje yra įterpta ir įdomesnių faktų, atskleidžiančių kai kurių atradimų aplinkybes (tokios žinios dažniausiai pateikiamos smulkiu šriftu). Fizikos istorija siejama su visuotine istorija ir civilizacijos raida.

Vadovėlis supažindina su ilga, beveik pustrėčio tūkstančio metų siekiančia pasaulinės fizikos istorija nuo Demokrites'o ir Aristoteles'o iki XXI a. pradžios. Tiesa, fizika, kaip mes ją dabar suprantame, pradėjo formotis tik XVI a., betgi trumpa pažintis su senąja fizika – gamtos filosofija – būtina, norint suprasti fizikos mokslo ištakas, kai kurių jos idėjų kilmę, raidos dėsningumus. Antra vertus, XX a. pabaigos ir šio amžiaus pradžios fizika dar nėra galutinai sudėliota į „lentynėles“, objektyviai išnagrinėta mokslo istorikų. Čia teko naudotis ne tik istorijos veikalais, bet ir mokslo pasiekimų apžvalgomis. Deja, vadovėlyje beveik neminimos kai kurios gana specialios šiuolaikinės fizikos sritys, kurios nėra nagrinėjamos bendrajame fizikos kurse,

nes jų svarbiausių rezultatų išskaičiavimas be platesnio reiškinių paaiškinimo vargu ar būtų tikslingas.

Šiame vadovėlyje nenagrinėjama Lietuvos fizikos istorija. Nesinorėjo sekti kai kurių šalių fizikos istorikų tradicija hiperbolizuoti savo šalies mokslo laimėjimus. Lietuvoje buvo atlikta, ypač per pastaruosius kelis dešimtmečius, svarbių fizikos darbų, bet jie vis dėlto neprilygsta patiems svarbiausiems atradimams, kurie apibūdinami trumpame vadovėlyje apie pasaulio fizikos raidą. Lietuvos fizikos istorijai turėtų būti skirta atskira knyga.

Autorius nėra istorikas profesionalas, tad naudojosi ne tiek sunkiai prieinamais pirminiais šaltiniais, kiek fizikos istorijos veikalais bei vadovėliais (svarbesni iš jų nurodyti literatūros sąraše knygos pabaigoje). Vargu ar pavyko išvengti ne visai pagrįstų, diskutuotinų ar pernelyg kategoriškų teiginių, iš dalies tai nulemta ir nedidelės vadovėlio apimties, nesant galimybės pateikti išsamesnių aiškinimų. Reikia pažymėti, kad įvairiuose šaltiniuose pateikiamos atradimų datos kartais skiriasi, nes nurodomos pirmųjų ar galutinių rezultatų gavimo ar publikavimo datos. Kadangi tai vadovėlis, o ne istorijos veikalas, autorius neduoda nuorodų į šaltinius.

Šiame vadovėlyje minima daug įvairių laikų ir tautų mokslininkų, tad iškyla jų asmenvardžių rašybos klausimas, kuris lietuvių kalboje nėra galutinai išspręstas iki šiol. Daugelyje kitų kalbų autentiškos pavardės nėra keičiamos ar kaitomos. Lietuvių kalboje pirmiausia buvo atsisakyta gramatinti kitų kalbų moteriškas pavardes, nes prirašyti joms *-aitė* ar *-ienė* galūnes nėra galimybės. Prie to pripratome ir visai nekliūva. Tačiau vyriškos originalios pavardės lietuvinamos ar bent gramatinamos pridedant lietuviškas galūnes. Vis dėlto pastebima tendencija mažiau keisti kitų kalbų asmenvardžius: atsisakyta tai daryti nerišliame tekste, o mokslo darbuose ir aukštųjų mokyklų vadovėliuose dažniausiai pateikiama (kiek tai leidžia taisyklės) originali forma. Valstybinės lietuvių kalbos komisijos 2016 m. nutarimas (toliau VLKK 16) gerokai išplečia tipus asmenvardžių, kurie nėra gramatinami ar gali būti negramatinami. Juo remiantis ir pateikiami šiame vadovėlyje užsienio mokslininkų asmenvardžiai. O skaitytojams, kuriuos domintų jų rašybos taisyklės, svarbiausiosios nurodytos toliau smulkiu šriftu.

Pateikiant svetimų kalbų asmenvardžius stengtasi, atsižvelgiant į VLKK 16 nuostatas, kuo labiau išsaugoti autentišką formą.

Pagal VLKK 16, negramatinami, vartojami originalia forma ir nekaitomi asmenvardžiai:

- kurie baigiasi kirčiuotu balsiu; toks baigmuo gali būti išreikštas balse (Arago, Bose, Fermi, Nambu), keliomis balsėmis (Curie, Lee, Mie) arba balse ir viena ar dviem priebalsėmis (Auger, Carnot, Fermat, Lavoisier, Racah, Desaguliers).

- kurie baigiasi balsių sandūra ar dvibalsiu (de Broglie, Faraday, Fizeau, Galilei).

VLKK 16 leidžia negramatinti ir asmenvardžių, kurie baigiasi nekirčiuotais tariamais balsiais *e, i, o, u*, (Avogadro, Guericke, Pauli, da Vinci). Nuoseklų tą taisyklę pratęsti ir asmenvardžiams, kurie baigiasi *y* ir *a*.

VLKK 16 rekomenduoja gramatinti asmenvardžius, kurie baigiasi priebalsiu, bet gale rašoma netariama raidė arba dvi raidės. Prie tokių asmenvardžių galūnės dedamos tik po apostrofo (Ampere'as, Blake'as, Colbert'as, Hooke'as, Hubble'as, Mersenne'as).

Asmenvardžiams, pasibaigiantiems priebalsiu, galūnę pridedama. Norint aiškiai nurodyti originalią formą, ji atskiriama apostrofu (Bacon'as, Franklin'as, Newton'as, Pascal'is). Tokiu būdu leidžiama rašyti ir rusiškas pavardes, tačiau tai būtų neįprasta, tad joms apostrofas praleidžiamas.

Neįprastai atrodo ir lietuviškos galūnės, pridedamos prie panašias galūnes turinčių kitų kalbų asmenvardžių, ypač vardininko linksniu. Tad VLKK 16 rekomenduoja graikų ir latvių asmenvardžių, kurie baigiasi priebalse, vardininką palikti autentišką, tik tai kitiems linksniams galūnę pridėti po apostrofo. Siekiant nuoseklumo tai taikyta ir kitų kalbų asmenvardžiams, kurie baigiasi galūnėmis *-as, -is, -os, -us*. Dar reikia paminėti Lietuvių kalbos komisijos 1997 m. nutarimą, kuris siūlo įprastiniams asmenvardžiams išlaikyti tradicinę formą, tai galėtų būti taikoma senovės Graikijos filosofams ir vėlesnių laikų žinomiems fizikams. Deja, sunkiai įmanoma atskirti, kurie asmenvardžiai įprasti ir kurie mažiau įprasti, tad, vengiant painiavos, stengiasi visus pateikti autentiška forma.

Kitų kalbų asmenvardžių lietuviškas tarimas yra nurodytas asmenvardžių rodyklėje knygos gale. Tačiau tą tarimą (taip pat visą autentišką asmenvardį) galima išsikviesti pastačius pelės žymeklį ties ta pavarde (pirmą kartą minima) tekste. Rodyklėje pateiktos vadovėlyje minimų mokslininkų pavardės kartu su vardais leidžia internete lengvai surasti daugiau žinių apie juos.

Rengiant naują vadovėlio leidimą, fizikos terminai buvo tikslinami naudojantis „Fizikos terminų žodynu“, kuris dabar yra prieinamas internete. Šiame žodyne pateikta išsami ir suderinta fizikos terminų sistema. Be abejo, būtų labai reikalingas ir fizikos terminų aiškinamasis žodynas, ypač tais atvejais, kai yra pateikiami du panašios reikšmės terminai, kurie atitinka tą patį kitų pagrindinių kalbų terminą.

Norminant fizikos terminus, labiau nei matematikos ar netgi kai kurių humanitarinių mokslų, pasireiškė tendencija tarptautinius terminus keisti lietuviškais atitikmenimis. Pasiūlyta tikrai sklandžių terminų. Vis dėlto kyla abejonių dėl kai kurių lietuvių kalboje plačiai prigijusių tarptautinių terminų, kurie paplitę įvairiose kalbose, keitimo, ypač jeigu jie tebevartojami kitose Lietuvos mokslo srityse. Vargu ar visi tokie siūlymai prigis. Tad šiame leidime neskubėta keisti *stacionarus* į *nuostovus*, *procesas* į *vyksmas*, *indika-*

torius į *rodytuvas*, *perturbacija* į *trikdis*, *scintiliacija* į *blyksėjimas*. Antra vertus, „Fizikos terminų žodynas“ kartais pateikia ir tarptautinį, ir lietuvišką terminus, ypač kai jų prasmės nėra visai vienodos, kaip antai *eksperimentas* ir *bandymas*, *efektas* ir *reiškinys*. Vargu ar tikslinga jau prigijusį *erdvėlaikis* pervadinti *erdvės ir laiko kontinuumas*. Sunku sutikti su *judėjimo kiekis* keitimu į *judesio kiekis*, nes šis dydis (kaip ir *judėjimo greitis*, *judėjimo kryptis*) apibūdina kūno judėjimą, o ne judesį.

Autoriui malonu prisiminti, kad šio vadovėlio pirmasis leidimas atsirado parėmus Lietuvos valstybiniam mokslo ir studijų fondui bei Aukštųjų mokyklų bendrųjų vadovėlių leidybos komisijai, o vertingas pastabas pateikė jo recenzantai doc. M. Balevičius, dėst. O. Damskis ir doc. D. Grabauskas. Rengiant naują variantą, daug pagelbėjo A. Momkauskaitė, o kai kuriuos netikslumus nurodė prof. A. Matulis. Už galimybę išleisti pataisytą ir papildytą vadovėlio elektroninį variantą autorius dėkingas Vilniaus universiteto Fizikos fakultetui ir jo dekanui prof. V. Balevičiui.

Kritinius atsiliepimus ir pastabas galima siųsti autoriui elektroninio pašto adresu *romualdas.karazija@tfai.vu.lt*

SENOJI FIZIKA

I. FIZIKOS ATsirADIMAS SENOVĖS GRAIKIJOJE

1.1. MOKSLO ŽINIOS EGIPTE IR BABILONIJOJE

Pažindami gamtos reiškinius, išrasdami ir naudodami įrankius bei paprasčiausius mechanizmus, žmonės dar labai senais laikais įgijo kai kurių fizikos žinių. Kaip liudija archeologiniai radiniai, maždaug 3000 m. pr. m. e. jau buvo žinomas ratas, III tūkstantmetyje pr. m. e. – plūgas, svarstyklės, gulsčiukas, kampamatis, skriestuvai, replės, II tūkstantmetyje pr. m. e. – dumplės, svertas, pleištas, sifonas, vandens laikrodis.

Prieš tris tūkstančius metų labiausiai išsivysčiusiose mokslo požiūriu šalyse Egipte ir Babilonijoje buvo sukauptos platesnės mokslo žinios, jos užfiksuotos rankraščiuose arba jų fragmentuose. Šiose šalyse jau gana tiksliai žinota metų trukmė, mokėta numatyti Mėnulio užtemimus. Babilonijoje buvo įvestos dangaus koordinatės, žvaigždės sugrupuotos į žvaigždynus ir išskirta dangaus juosta – Zodiakas, kuria juda Saulė, Mėnulis bei „dievų žvaigždės“ – planetos. Taip pat Babilonijoje buvo sukurta ir šešiasdešimtainė skaičiavimo sistema (kampų, lankų ir laiko skaičiavime išlikusi ligi šiol), mokėta spręsti antrosios ir kai kurias trečiosios eilės algebrines lygtis.

Egipte ir Babilonijoje žinios buvo labai vertinamos ir net slepiamos, jas kaupė ir saugojo žyniai. Mokslo pradmenys tebebuvo susiję su religija ir magija – būtent tais laikais atsirado astrologija ir alchemija (dabartinė astrologija yra to „maginio mokslo“ reliktas ir atspindi ano meto pasaulio sampratą). Pagrindiniai dangaus kūnai – Saulė, Mėnulis ir planetos – buvo siejami su dievais, tad iš šviesulių judėjimo, jų išsidėstymo buvo mėginama išsiaiškinti dievų valią, žmonių ir valstybių likimus. Be to, buvo ir praktinis astronominių stebėjimų tikslas – žemdirbiams reikėjo žinoti darbų ir švenčių datas. Su magija mažiau susijusios to meto matematikos žinios – tiesiog buvo pateikiami paprasčiausi aritmetinių ir geometrinių uždavinių sprendimo būdai (nors kai kuriems skaičiams irgi teikta ypatinga, maginė prasmė).

Kadangi tais laikais manyta, kad svarbiausius dangaus ir žemės reiškinius lemia dievai, net nemėginta racionaliai aiškinti pasaulio sandaros, ieškoti bendresnių dėsningumų. To meto mokslo žinias sudarė nurodymai, kaip spręsti konkrečius uždavinius, tam sudarytos lentelės bei skaičiavimo

pavyzdžiai. Būtent tokios astronomijos ir matematikos žinios yra išlikusios užrašytos Babilonijos molinėse dantiraščio lentelėse ir Egipto papirusuose. Pavyzdžiui, vietoj dabar Pythagoras'o vardu žinomos teoremos būdavo pateikiamos konkrečios taisyklės įvairios formos stačiųjų trikampių kraštinėms apskaičiuoti. „Daryk tą patį panašiu atveju“, – nurodoma skaitytojui. Įrodymų nepateikiama, nes žinios buvo gaunamos klaidų ir bandymų metodu. Didžiausias tuo metu naudotas apibendrinimas – tai uždavinių klasifikacija pagal jų tipus.

Panašios tuo metu turėjo būti ir fizikos žinios. Deja, jokių užrašų, kuriuos būtų galima priskirti „empirinei fizikai“, nėra rasta. O juk tokios žinios buvo reikalingos statant didžiules piramides ir šventyklas, drėkinimo įrenginius, gaminant dirbinius iš metalo ir pan. Tuo metu jau naudoti paprasčiausieji mechanizmai – svertas, nuožulnioji plokštuma, pleištas, taigi turėtas supratimas apie jų veikimą.

Įvairiai aiškinama, kodėl nerasta jokių fizikos žinių išlikusiuose gana gausiuose Babilonijos ir Egipto rašytiniuose šaltiniuose. Galbūt jos buvo įslaptintos – pateikiamos drauge su užkalbėjimais ir aukomis, tad fizikos receptų atskyrimas nuo magijos formulių neturėjo prasmės? O gal fizikos žinios buvo labai vertinamos ir žynių perduodamos iš kartos į kartą tik žodžiu?

To laikotarpio Indijos ir Kinijos architektūros bei materialiosios kultūros paminklai liudija, kad šiose šalyse buvo pasiektas ne ką menkesnis mokslo žinių lygis negu Babilonijoje ir Egipte. O pirmosios gamtos mokslo žinios tose Rytų šalyse buvo užrašytos I tūkstantmečio pr. m. e. viduryje, t. y. mokslo atsiradimo senovės Graikijoje laikotarpiu.

Mokslo požymiai. Daugelis mokslo istorikų sutaria, kad Babilonijoje ir Egipte mokslo žinios dar nesudarė mokslo. Mokslas reiškinius aiškina racionaliomis priežastimis, o tai yra neįmanoma, kol tos žinios nėra atsiskyrusios nuo religijos ir magijos. Kitas būtinas mokslo požymis yra jo sisteminumas. Kaip plytų ar akmenų krūva dar nėra pastatas, taip ir žinių rinkinys dar nėra mokslas. Juo tampa tik susietos į vieningą sistemą žinios. Pagaliau mokslui būdingas sistemingas naujų žinių kaupimas vadovaujantis ne tik praktiniais, bet ir grynai pažintiniais tikslais. Babilonijoje ir ypač Egipte žinios buvo kaupiamos labai iš lėto ir atsitiktinai, o bendrų pažintinių tikslų žyniai negalėjo siekti.

Gamtos mokslas ir jo dalis – fizika – atsirado tik senovės Graikijoje.

1.2. PIRMINIŲ PRADŲ IDĖJA

Graikų mokslo stebuklas ir jo priežastys. Staigus senovės Graikijos kultūros, meno ir mokslo iškilimas dažnai vadinamas graikų stebuklu. Iš

tikrųjų, to meto Graikijoje, kur gyventojų skaičius, matyt, nesiekė milijono (taigi buvo gerokai mažesnis negu dabartinėje Lietuvoje), per keletą šimtmečių iškilo tiek genijų, padaryta tiek svarbių atradimų, nulėmusių tolesnę mūsų civilizacijos raidą, kad tai vadinama stebuklu.

Bendros sąlygos, lėmusios graikų civilizacijos suklestėjimą, buvo šios:

- savita Graikijos valstybinė sandara – asociacija laisvųjų miestų – valstybių, kurių daugelyje valdymo forma buvo gana demokratiška, skatinusi kritinį mąstymą, diskusijas, toleravusi pažiūrų įvairovę;
- palanki Graikijos geografinė padėtis arti pagrindinių civilizacijos centrų, svarbiausių prekybinių jūros kelių sankryžoje, skatinusi glaudžius ryšius su įvairiomis šalimis, tarp jų – su Egiptu bei Babilonija, ir sudariusi „kryžminio kultūrų apdulkinimo“ galimybę;
- graikams būdingas racionalumas, smalsumas, religinis pakantumas, gebėjimas perimti ir kūrybiškai panaudoti kitų tautų pasiekimus.

Pagrindinė priežastis, lėmusi mokslo atsiradimą senovės Graikijoje, buvo mokslo žinių atsiskyrimas nuo religijos. Tai tapo įmanoma dėl to, kad graikų religija, palyginti su kaimyninių tautų religijomis, buvo labai nuosaiki, žmogiška, griežtai nereglamentuojanti viso dvasinio gyvenimo. Kaip žinome iš graikų mitų, jų dievai panašūs į žmones, taip pat klystantys, patiriantys nesėkmes, valdomi aistrų, nuolat bendraujantys su žmonėmis, ne tik baudžiantys juos, bet ir padedantys spręsti įvairias problemas. Buvo viešai vaidinamos



1.1 pav. Senovės Graikijos mokslo centrai bei žymių filosofų gimtinės (■) ir kiti svarbesni to meto miestai (●). Taškeliiais pažymėtos graikų kolonizuotos pakrantės.

Aristofanes'o komedijos, taigi leista netgi ironiškai pasišaipyti iš dievų. Todėl senovės Graikijoje tapo įmanoma diskutuoti dėl pasaulio sandaros ir mėginti ją racionaliai paaiškinti (kai kurių filosofų persekiojimus dėl nepagarbos dievams lėmė ne tiek religiniai, kiek politiniai motyvai). Graikai pasižymėjo dvasios stiprybe ir nebuvo linkę į misticizmą, kuris yra silpnųjų požymis.

Reikia pabrėžti, kad VII a. pr. m. e., kai prasidėjo graikų mokslo kilimas, jų mokslo žinios buvo gerokai menkesnės negu babiloniečių ar egiptiečių. Legendose minima, jog ne vienas graikų išminčius yra vykęs semtis žinių į Egiptą ir kitas šalis. Graikai kūrė mokslą remdamiesi daugelio tautų bei kartų sukauptomis žiniomis, pasinaudodami ankstesne patirtimi, o ne atsiribodami nuo jos.

Gamtos pradų paieškos. Graikų gamtos filosofijos pradininku laikomas Thales, gyvenęs 624–546 m. pr. m. e.

Thales buvo kilmingas ir turtingas Mileto miesto, įsikūrusio Mažosios Azijos pakrantėje (dabar Turkija), gyventojas, pirklys ir keliautojas, o kartu – poetas ir mąstytojas. Kelionėse Thales įgijo įvairių žinių (pavyzdžiui, jis žinojo, kad mineralas magnetitas traukia geležį, o patrintas gintaras – šiaudeliu; pasak legendos, jis numatė Saulės užtemimą). Thales ne tik domėjosi įvairiais reiškiniais, bet ir mėgino išvelgti jų priežastis. Matyt, jokių veikalų Thales neparašė, o savo idėjas skelbė žodžiu.

Thales pirmasis, remdamasis protu, o ne tikėjimu, mėgino nustatyti pirminį pasaulio pradą ir priėjo išvadą, jog toks pradas yra vanduo. Anot Thales'o, viskas atsirado iš vandens ir virsta vandeniu.

Thales'o mintys paskatino graikus domėtis filosofiniais klausimais. Milete, o netrukus ir kituose Graikijos miestuose, atsirado išminčių, kurių kiekvienas savaip aiškino pasaulio kilmę ir skelbė savo mokymą ne tik gimtajame mieste, bet ir keliaudami iš vienos vietos į kitą. Tai buvo bendras mokslas apie gamtą – gamtos filosofija, tik vėliau, daugiausia Aristoteles'o dėka, nuo jos atsiskyrė kiti mokslai. Šiame vadovėlyje nėra galimybės aptarti daugelio žymių senovės Graikijos filosofų mokslinių pažiūrų, todėl tik trumpai apibūdinsime pagrindinius to meto mokslo bruožus, svarbiausią fizikai pirminio prado idėją bei kai kurias kosmologines idėjas.

Senovės graikų filosofai, vos pradėję tyrinėti gamtą, ėmėsi – su jaunatvei būdinga drąsa – pačios sunkiausios problemos, kurios dar nėra išsprendusi net šių dienų fizika. Patyrus racionalaus pažinimo galią, atrodė, kad įmanoma iš karto suvokti pasaulio pagrindų pagrindą – pirminį pradą. Manyta, kad tai gali pasiekti filosofas nuosekliai protaudamas. O rinkti faktus ir mėginti juos palaipsniui apibendrinti atrodė esąs amatininko, o ne išminčiaus vertas užsiėmimas.

Kaip minėta, Thales pirminiu pradū laikė vandenį. Vėlesni filosofai, netgi jo paties mokyklos atstovai, priėjo kitokią išvadą; antai Anaximenes (585–528 m. pr. m. e.) skelbė, kad pirminis pradus esąs oras, Herakleitos (apie 540–480 m. pr. m. e.) juo laikė ugnį, o Empedokles (490–430 m. pr. m. e.) teigė, kad yra keturi pirminiai pradai: vanduo, žemė, oras ir ugnis. Šiais pradais vėliau rėmėsi antikos gamtos filosofija.

Pirminis pradus dar tebebuvo racionalizuotas dieviškasis pradus. Manoma, kad jo idėją antikos filosofai iškėlė lygindami įvairias religijas, atmesdami antropomorfinius bei kitokius įvaizdžius ir išskirdami racionalų branduolį. Iš tikrųjų, įvairiose, taip pat Egipto ir Babilonijos, religijose labai svarbų vaidmenį vaidino dievai, tiesiogiai susiję su vandeniu, personifikavę jį. Vanduo buvo tapatinamas su pradine pasaulio būseną. Indijos tautų religijose oras laikytas pasaulio dvasia, atitinkančia žmogaus dvasią. Graikų svarbiausias dievas Dzeusas buvo ugnies dievas, ugnis vaidino ypatingą vaidmenį ir Persijoje plačiai paplitusiame Zoroastres'o mokyme. Daugelis tautų nuo seno garbino Žemę kaip visos gyvybės ir apskritai pasaulio kūrėją.

Tiesa, buvo siūlomi ir kitokie, netapatūs konkrečioms žmogų supančioms substancijoms, pirminiai pradai. Antai Anaximandras (610–546 m. pr. m. e.) pasiūlė apeironą – amžiną, beribę, neturinčią savybių, neapibrėžtą pirminę medžiagą. O Pythagoras (570–apie 495 m. pr. m. e.) ir jo mokiniai teigė, kad pasaulio pradus yra skaičius. Tuo remdamiesi, pitagoriečiai pirmieji priėjo išvadą, kad visi gamtos reiškiniai paklūsta griežtiems matematiniam dėsnimams.

Graikų filosofai, teigdami, kad pirminis pradus yra nesukuriamas ir nesunaikinamas, tik pereina iš vienos formos į kitą, nustatė pirmąjį tvermės dėsnį, kuris atitinka materijos tvermę.

Deja, viltis, kad išvelgus pirminį pradą, staiga atsiskleis gamtos harmonija ir paaiškės jos įvairovė, neišsipildė. Mėginimai paaiškinti, koku būdu, pavyzdžiui, oras sutirštėdamas ar išretėdamas sudaro įvairias medžiagas ir lemia jų savybes, buvo naivūs ir neįtikinami. Prado transformacijoms paaiškinti buvo įvedamos iracionalios jėgos, kaip antai Meilė ir Neapykanta (Empedokles) ar tarpusavyje besivaržančios priešybės (tamsa – šviesa, šiluma – šaltis ir pan.).

Taigi sukurti mokslo sistemą iš karto išvelgus pirminį pradą, t. y. pastatyti mokslo piramidę pradėdant nuo viršūnės, pasirodė besąs neįmanomas uždavinys. Vis dėlto graikų gamtos filosofija nesisuko uždaramė rate, ji tobulėjo ir gilėjo. Apie tai vaizdžiai byloja kosmologinių idėjų evoliucija. Anot pirmojo filosofo Thales'o, Žemė – tai blynas, plaukiojantis vandenyje. Jo mokiny Anaximandras manė, kad Žemė – cilindro formos, o Saulė,

Mėnulis ir žvaigždės – tai skylės neskaidriuose žieduose, pro kurias matyti ugnies sferos. Pythagoras, supratęs, kad Mėnulį jo užtemimo metu uždengia Žemės šešėlis, priėjo išvadą, kad Žemė yra rutulys. O vienas iš Pythagoras'o mokinių Philolaos iškėlė drąsią idėją, kad Žemė yra viena iš planetų, tiesa, jis manė, kad jos kartu su Saule sukasi aplink neregimą ugnį. Anaxagoras (apie 510–428 m. pr. m. e.) tvirtino, kad Saulė ir žvaigždės yra dideli įkaitę akmenys. Jis spėjo, kad, be mūsų pasaulio, egzistuoja ir daugybė kitų pasaulių, atsirandančių ir išnykstančių. Beje, viename išlikusiame Anaxagoras'o veikalo fragmente suformuluotas materijos tvermės principas: „Joks daiktas neatsiranda ir neišnyksta, bet susijungia iš egzistuojančių daiktų ir atsiskiria.“

Taigi nors graikų filosofams nepavyko iš karto įžvelgti pasaulio sandaros, jie iškėlė svarbių idėjų apie visuotinį gamtos reiškinių priežastingumą ir juos lemiančius matematinius dėsniumus, materijos tvermę, daugelio pasaulių egzistavimą, dangaus kūnų giminingumą Žemei ir kt.

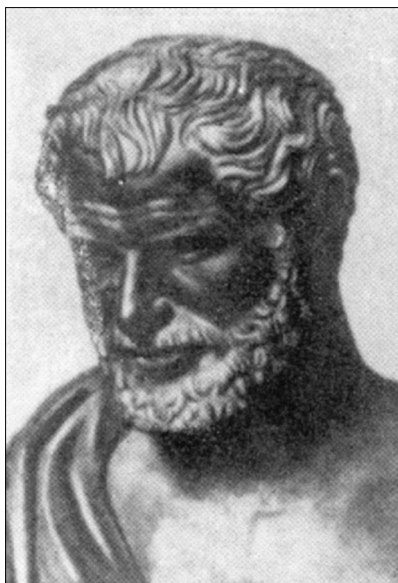
1.3. ATOMŲ IR TUŠTUMOS HIPOTEZĖ

Leukippos ir Demokritos. Plėtojant gamtos pradų idėją, buvo paskelbta pirmoji fizikos hipotezė, teigianti, kad egzistuoja pirminės dalelės – atomai – bei tuštuma. Jos autoriai – Leukippos ir Demokritos.

Leukippos (V a. pr. m. e. antra pusė) – pusiau legendinė asmenybė. Nėra išlikę nei jo veikalų fragmentų, nei kokių nors žinių apie Leukippos'o gyvenimą. Vis dėlto kaip istorinis asmuo Leukippos minimas įvairiuose anksčiau antikos šaltiniuose, tarp jų – Aristoteles'o veikaluose. Žymysis jo mokinys Demokritos, užuot siūlęs savo originalų mokymą, kaip buvo įprasta to meto filosofijoje, toliau plėtojo Leukippos'o idėjas, pranoko ir užtemdė savo mokytoją. Antra vertus, atomizmas buvo labai priešiškai vertinamas daugelio vėlesnių senovės Graikijos filosofų, kurie stengėsi ištrinti jo pradininko atminimą ir netgi ragino naikinti atomizmą skelbiančius veikalus. Matyt, dėl tos priežasties neišliko ir jokių Demokritos'o veikalų, tik nedideli jų fragmentai kitų autorių kūrinuose, o Demokritos'o biografijoje sunku atskirti tikrus faktus nuo legendų.

Demokritos gimė apie 460 m. pr. m. e. Abderų mieste (graikų kolonija Trakijoje, Egėjo jūros pakrantėje), turtingo ir įtakingo miestiečio šeimoje. Jis gavo gerą išsilavinimą, o paveldėjęs didelį tėvo turta, jį panaudojo kelionėms. Demokritos lankėsi Egipte, Babilonijoje, Persijoje, galbūt netgi Etiopijoje ir Indijoje.

Pasak vienos iš legendų, grįžusį į savo miestą Demokritos'ą tėvynainiai apkaltino tėvo turto iššvaistymu. Atsakydamas į šį kaltinimą, filosofas perskaitė susirinkusiems ištrauką iš savo veikalo „Megas Diakosmos“ („Didžioji pasaulio



1.2 pav. Demokritos.

sandara“). Klausytojai buvo taip sužavėti, kad ne tik atsisakė kaltinimo, bet ir apdovanojo Demokritos'ą keliais šimtais talentų bei pastatė jam dar gyvam esant bronzinį paminklą.

Demokritos buvo vienas mokyčiausių ir žymiausių to meto filosofų, jis parašė apie 60 veikalų iš gamtos filosofijos, matematikos, etikos ir kitų mokslų, išplėtojo bendrą gamtos sampratą, pagrįstą atomų egzistavimu. Demokritos rėmėsi stebėjimais, bet laikė pojūčiais įgyjamą pažinimą tamsiuoju pažinimu, o tikrasis pažinimas esąs pasiekiamas tik protu. Pasak legendos, Demokritos į gyvenimo pabaigą net apakinęs save, idant reiškinį išorės regėjimas netrukdytų jų esmės regėjimui protu.

Demokritos mirė sulaukęs gilios senatvės – maždaug devyniasdešimties metų.

Atomizmo mokymas. Manoma, kad Leukippos iškėlė pradines atomizmo idėjas, o Demokritos jas išplėtojo į vieningą, nuoseklią sistemą. Toliau kalbėsime apie mus pasiekusį Demokritos'o mokymą.

Pagrindinis atomizmo teiginys: pasaulį sudaro pirminės dalelės – atomai – ir tuštuma, kurioje jie juda. Atomai neturi vidinės sandaros, yra nedalomi (gr. *atomos* – nedalus), sudaryti iš vienos ir tos pačios pirminės medžiagos. Jie neturi spalvos nei kvapo ir skiriasi tik dydžiu bei forma. Atomai nematomi dėl savo mažumo (tiesa, anot vieno senovės veikalo, Demokritos manęs, kad galimi ir dideli atomai). Atomų forma esanti labai įvairi – jie apvalūs, kampuoti, įgaubti, iškili, su kabliukais šonuose ir pan. Antai sielos bei ugnies atomai esą labai maži ir apvalūs, o žemės atomai gerokai didesni.

Atomai yra amžini – nesukuriami ir nesunaikinami. Jie sąveikauja tik susidurdami bei stumdydami vieni kitus (nors Demokritos manė, kad ir atomams galioja to meto moksle pripažintas veikimo būdas „panašus traukia panašų“). Atomai jungiasi vieni su kitais nelygumais bei kabliukais ir tokiu būdu sudaro įvairiausių kūnus, tarsi alfabeto raidės – žodžius ir tekstus. Netgi dievai esą sudaryti iš atomų. Bet koks kitimas yra tik atomų susijungimas ar atsiskyrimas.

Demokritos padarė svarbią išvadą, kad atomai turi nuolat netvarkingai judėti (tarsi dulkelės, apšviestos saulės spindulių pluošteliu). Tiesa, jo argumentai buvo kitokie negu šiuolaikinio mokslo: atomai priversti judėti, nes

Visata yra begalinė ir neturi dugno, ant kurio atomai galėtų nusileisti.

Ne mažiau originali nei atomų idėja buvo ir tuštumos idėja. Seniau graikų filosofai manė, kad erdvė be kūnų yra užpildyta oru arba ypatinga dangaus medžiaga – eteriu. Leukippos ir Demokritos įvedė absoliučiai tuščią, begalinę, neveiklią tuštumą kaip areną, kurioje juda atomai (Leukippos ją vadino Didžiąja tuštuma). Tai buvo stulbinama, paradoksali naujovė, kurią ypač smarkiai kritikavo kiti filosofai – kaip gali egzistuoti neegzistuojantis niekas. Ši idėja vėliau atvedė prie Newton'o absoliučiosios erdvės sampratos.

Iš siūlomo paprasto, mechaninio pasaulio modelio išplaukė griežtas priešastingumas: „Nė vienas daiktas neatsiranda be priežasties, bet viskas atsiranda kokiu nors pagrindu ir dėlei būtinumo.“

Remdamasis atomų ir tuštumos egzistavimu, Demokritos aiškino Žemės susidarymą, jos evoliuciją ir įvairius joje vykstančius reiškinius. Sukibus daugybei atomų, atsirado kosminis sūkurys. Aplink jį susidarė plėvelė, kuri trukdė atomams išlėkti į tuštumą. Didžiausieji atomai susitelkė sūkurio centre, ir iš jų palaipsniui susiformavo Žemė. Kiti dangaus kūnai susidarė iš atskirų sūkurių ir, matyt, tik vėliau pateko į Žemės aplinką.

Anot Demokritos'o, egzistuoja ir kiti pasauliai, kai kurie visiškai nepanašūs į mūsų, neturintys Saulės ir Mėnulio arba priešingai – turintys didesnį jų skaičių.

Demokritos'o pateikti kūnų savybių aiškinimai juos sudarančių atomų savybėmis buvo spekuliatyvūs ir gana naivūs (ugnis tokia laki, nes jos atomai yra labai maži ir apvalūs; panašūs atomai sudaro ir dvasią, o kadangi jie yra susitelkę galvoje, tai galva esanti apvali ir pan.).

Verta paminėti Demokritos'o iškeltą originalią regėjimo hipotezę. Anot jos, nuo kiekvieno kūno atsiskiria plonyčiai atomų sluoksniai – apvalkalai. Pakliuvę į akis, jie veikia ten esančius tokius pačius atomus (panašus traukia panašų) ir perduoda jiems, o šie – sielos atomams daiktų vaizdus.

Apskritai, Demokritos'o atomizmas buvo nuosekliausias ir artimiausias fizikai mokymas apie gamtą laikotarpiu iki Aristoteles'o. Buvo iškeltos genialios pirminių dalelių egzistavimo, jų betvarkio judėjimo, tuštumos idėjos, kurios suvaidino svarbų vaidmenį tolesnėje fizikos raidoje. Aišku, neparemtos jokiais tiesioginiais faktais, tos idėjos liko labiau filosofinės negu fizikinės, o jų konkretinimas buvo gana spekuliatyvus ir naivus. Iš tikrųjų tiek atomai, tiek tuštuma (vakuumas) pasirodė esą nepalyginamai sudėtingesni objektai, bet mokslo vaikystėje būtent jų supaprastinta samprata leido sukurti pirmąjį tikrai racionalų pasaulio sandaros modelį.

Atomizmo ištakos. Atomizmas nebuvo netikėtas ar net išskirtinis reiškinys to meto graikų gamtos filosofijoje, jam atsirasti sudarė sąlygas filo-

sofijos raida.

Pythagoras skelbė savotišką skaičių atomizmą: pats mažiausias skaičius vienetas, jo tapatintas su tašku, vaidino mažiausio prado vaidmenį; pritraukdamas aplinkinę beribę, neturinčią struktūros aplinką, vienetas išsi-tempia į ilgį, plotį ir aukštį, sukurdamas dvejetą, trejetą ir ketvertą, atitin-kančius liniją, plokštumą bei erdvinį kūną, o po to iš jų susidarą dideli kūnai. Elėjos mokyklos atstovas Zenon'as mėgo nagrinėti įvairius judėjimo užda-vinius, susijusius su kelio atkarpų begaliniu dalijimu (ar pavys Achilas vėžlį, ar galima per baigtinį laiko tarpą nueiti begalinį skaičių vis mažėjančių at-karpų ir pan.) ir, kadangi tais laikais matematinė begalybės samprata dar buvo neaiški, tai gaudavo paradoksalius rezultatus. Jie kėlė abejonę, ar begalinis netgi tiesės atkarpos dalijimas turi prasmę.

Didelę įtaką graikų filosofijai turėjo Parmenides'o mokymas. Jis priė-jo išvadą, kad tikroji būtis turi būti vienalytė, neturinti struktūros ir nedaloma. Manoma, kad veikiami Parmenides'o idėjų V a. pr. m. e. filosofai Empedok-les, Anaxagoras ir Leukippos postulavo įvairius pirminius pradus: Empedok-les – vandenį, orą, ugnį ir žemę, kurie sudaro kūnų įvairovę maišydamiesi tarpusavyje, Anaxagoras – daiktų sėklas (kaulas sudarytas iš mažyčių kaule-lių, kraujas iš kraujo dalelių ir pan.), o Leukippos spėjo esant nedalomas daleles – atomus.

Įdomu, kad maždaug Leukippos'o gyvenimo laikotarpiu ar net anks-čiau Indijoje irgi kilo pirminių dalelių idėja. Išminčius Uluka, pramintas Kanada, mokė apie mažiausias nedalomas daleles – parmanus, kurie yra ke-turių rūšių – žemės, vandens, oro ir šviesos. Be to, Kanada ir jo sekėjai pri-pažino dar keturias nematerialias substancijas – laiką, erdvę, dvasią ir protą – bei nesuvokiamą pojūčiais, visur prasiskverbiančią substanciją – akašą. Patys parmanai esą pasyvūs, jų judėjimo priežastis – nematerialios jėgos.

Ar galėjo Leukippos ar Demokritos žinoti apie indų atomizmą? Tokios galimybės kategoriškai atmesti negalima, tais laikais tarp Graikijos ir Indijos egzistavo tam tikri ryšiai, nors, aišku, susipažinti su tolimos tautos filosofi-nėmis idėjomis yra daug sunkiau, negu atsigabenti to krašto prekių. Labiau tikėtina, kad panašios pagrindinės idėjos kilo nepriklausomai, pasiekus tam tikrą pažinimo lygį.

Vis dėlto Leukippos'o ir Demokritos'o atomizmas yra kur kas racio-nalesnis, nuoseklesnis, artimesnis fizikai negu Kanados mokymas, kuris dar nebuvo atsiskyręs nuo religijos vaizdinių.

Platon'o mintys apie kūnų struktūrą ir virsmus. Žymus graikų fi-losofas Platon'as (427–347 m. pr. m. e.) daugiausia nagrinėjo etikos, estetikos bei filosofines būties problemas. Jis griežtai kritikavo Demokritos'o mokymą

apie atomus ir tuštumą kaip grynai materialistinį mokymą, tačiau savo veikale „Timajus“ Platon’as pateikė originalių samprotavimų apie gamtos sandarą. Kaip tik tuo metu matematikas Theaetetus buvo išplėtojęs taisyklingųjų briaunainių teoriją, ir Platon’as, vadovaudamasis gamtai būdinga simetrija, padarė išvadą, kad pirminės medžiagos dalelės turi tokių tuščiavidurių briaunainių formą. Tradiciškai pripažindamas keturias pirmines materijos rūšis: vandenį, žemę, orą ir ugnį, Platon’as, remdamasis jų judrumu, aktyvumu bei tankiu, spėjo, kad ugnies dalelės yra tetraedrai, oro – oktaedrai, vandens – ikosaedrai, o žemės – kubai. (Penktą taisyklingąją briaunainį – dodekaedrą Platon’o sekėjai vėliau susiejo su dangaus medžiaga eteriu.) Taisyklingieji briaunainiai gali būti sukonstruoti iš trikampių, tad, anot Platon’o, pagrindinės materijos rūšys yra kilusios iš tos pačios pirminės medžiagos, jos dalelės yra trikampio formos. Taigi jeigu Platon’o trikampus sietume su šiuolaikiniais atomais, tai briaunainius atitiktų molekules.

Remdamasis tuo, kad tetraedrai, oktaedrai ir ikosaedrai gali būti sudaryti iš tokių pačių trikampių, Platon’as įrodinėjo, kad ugnis, oras ir vanduo gali virsti vieni kitais. Virsmus sukelia dalelių – briaunainių – tarpusavio smūgiai, ypač jų susidūrimai su labai judriomis ir mažomis ugnies dalelėmis. Tokios buvo pirmosios idėjos apie mažiausių dalelių hierarchinę struktūrą ir medžiagos virsmus.

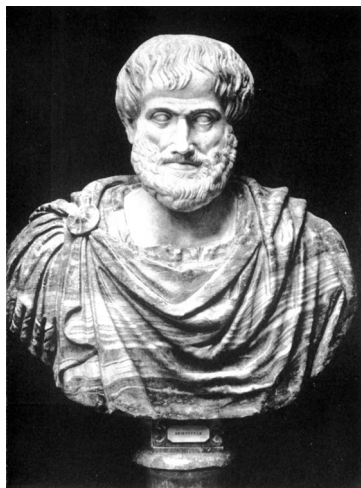
Demokritos’o sekėjai Epikuros ir Lucretius. Demokritos’o mokymas netgi tolerantiškiems graikams atrodė pernelyg laisvamaniškas, nuvertinantis dievus ir žmones, nepaliekantis jokios pasirinkimo laisvės. Tad jis turėjo daug priešininkų ir mažai šalininkų. Vienintelis žymus Demokritos’o sekėjas buvo Epikuros (341–270 m. pr. m. e.), kilęs iš Samo salos, mokėsis Atėnuose. Siekdamas išvengti labiausiai kritikuojamo griežto determinizmo, Epikuros padarė prielaidą, kad atomai judėdami gali savaime iškrypti iš tiesaus kelio. Tas atomų elgesio neapibrėžtumas, už kurį Epikuros buvo ne kartą kritikuotas (M.T. Cicero rašė, kad „nieko gėdingesnio negali nutikti fizikui“), tam tikra prasme pasitvirtino kvantinėje atomo teorijoje, suformulavus neapibrėžtumo principą. Epikuros priskyrė atomams dar vieną papildomą savybę – svorį. Be to, jis pateikė daugiau argumentų atomizmo naudai ir išplėtojo įvairių reiškinių aiškinimą remdamasis atomų judėjimu ir savybėmis. Deja, ir Epikuros’o veikalų išliko tik fragmentai. Užtat mūsų laikus pasiekė romėnų poeto Lucretius’o Carus’o (94–51 m. pr. m. e.) visa poema „Apie daiktų prigimtį“ (yra ir jos vertimas į lietuvių k.), kurioje jis labai vaizdžiai eilėmis aprašė Epikuros’o mokymą (tai vienas iš nedaugelio tikros mokslo ir meno sintezės pavyzdžių).

1.4. ARISTOTELES'ŲO FIZIKA

Per du amžius (VI–IV a. pr. m. e.) senovės Graikijoje, vykstant filosofiniams ginčams, buvo paskelbta daug svarbių gamtos mokslo idėjų, ištobulinta mokslo kalba, sukaupta įvairių žinių. Tuo remdamasis Aristoteles sukūrė pirmąją visuotinę mokslo sistemą, kuri sudarė mokslo pagrindą daugiau kaip du tūkstančius metų – iki XVI a. pabaigos.

Aristoteles'ų gyvenimas ir veikla. Aristoteles gimė 384 m. pr. m. e. Stageiros mieste (netoli nuo Demokritos'ų gimtinių Abderų). Jo tėvas Nikomaxos buvo Makedonijos karaliaus gydytojas ir draugas. Eidamas aštuonioliktus metus, jaunuolis išvyko į to meto filosofijos centrą Atėnus, kur garsėjo prieš dvidešimt metų įkurta Platon'ų Akademija – pirmoji mokslo įstaiga. Čia Aristoteles netruko išsiskirti gabumais, tapo dėstytoju ir dirbo Akademijoje apie 20 metų. Platon'as jį vadino savo mokyklos protu. Tačiau Aristoteles dažnai nesutikdavo ir ginčydavosi su savo mokytoju: Platon'as teigė, kad pasaulį galima pažinti grynu mąstymu, o Aristoteles stengėsi remtis stebėjimais ir žmonių patyrimu. Plačiai žinomas Aristoteles'ų posakis: „Platon'as mano draugas, bet tiesa dar brangesnė.“ Laimė, filosofiniai jų ginčai nekliudė geriems tarpusavio santykiams.

Po Platon'ų mirties Aristoteles gyveno Asos mieste (Mažoji Azija) ir netolimoje Lesbos saloje, rinko žinias savo veikalams, o vėliau keletą metų buvo Makedonijos karaliaus Pilypo II sūnaus Aleksandro (būsimojo Aleksandro Didžiojo) mokytoju. Aleksandru subrendus ir užsiėmus valstybės reikalais, Aristoteles grįžo į Atėnus, kur greta Apolono Likėjiečio šventyklos



1.3 pav. Aristoteles.

įkūrė savo filosofijos mokyklą, vadintą Likėjumi. Darbo jame metai – Aristoteles'ų kūrybinės brandos laikotarpis. Čia jis išplėtojo savo mokslo sistemą, parašė daugelį veikalų, skaitė įvairius kursus. Aristoteles mėgo dėstyti savo klausytojams vaikščiodamas sodo alėjomis, tad jo sekėjams prigijo *peripatetikų* (vaikščiojančiųjų) vardas. Likėjuje buvo sukaupta didelė biblioteka, mokslinės kolekcijos (jas papildydavo ir Aleksandras Didysis, siūsdavęs savo mokytojui karo žygių metu aptiktas įdomybes). Aristoteles ir jo mokiniai vykdė įvairius tyrimus, nors fizikos eksperimentai, išskyrus paprasčiausius kokybinius bandymus, čia, kaip apskritai senovės

Graikijoje, matyt, nebuvo atliekami (tam kliudė ne tik prietaisų stoka, bet ir tais laikais paplitęs įsitikinimas, kad kokybės negalima matuoti kiekybe).

Po ankstyvos Aleksandro Didžiojo mirties Atėnai siekė išsivaduoti iš Makedonijos valdžios. Aristoteles, matyt, dėl jo ryšių su Aleksandru, pateko į nemalonę, buvo apkaltintas dievų negerbimu ir, nenorėdamas sulaukti Sokrates'o likimo, pabėgo į netolimą Eubojos salą. Čia jis ir mirė 322 m. pr. m. e., sulaukęs 62 metų.

Aristoteles'o sistema ir atskirų mokslų atsiradimas. Remdamasis graikų ir kitų tautų sukauptomis žiniomis, Aristoteles pirmasis stengėsi statyti mokslo piramidę ant faktų pagrindo. Deja, tuo metu daugelis žinių buvo netikslios ir neišsamios, kiekybiniai tyrimo metodai ir matematiniai apibendrinimo būdai dar nesukurti. Aristoteles išplėtojo logiką ir ją taikė mokslo faktams apibendrinti. Vis dėlto jo sistemos pagrindą sudarė bendri filosofiniai principai, kurie buvo daugiau jo išmonės ir intuicijos negu nuoseklus apibendrinimo rezultatas.

Dar prieš Aristotelį nuo bendro mokslo apie gamtą pradėjo atsiskirti įvairūs mokslai – V a. pr. m. e. – Pythagoras'o ir jo mokinių dėka – matematika, o IV a. pr. m. e. viduryje Eudoxos'o darbuose – astronomija. Aristoteles, sistemindamas žinias, tapo daugelio mokslų pradininku – biologijos, fizikos, geografijos, taip pat humanitarinių mokslų – logikos, psichologijos, etikos, poetikos ir kt.

Vienas iš Aristoteles'o veikalų buvo pavadintas „Fizika“ (Aristoteles ir jo mokiniai pirmąsias penkias šio veikalų knygas – dabartiniu supratimu, skyrius – vadino „Apie fizikos principus“ arba trumpai „Fizika“, o kelis likusius skyrius „Apie gamtą“). Pavadinimas kilęs iš graikiško žodžio *φύσις* (*physis*) – gamta. Aristoteles fiziką suprato kaip mokslą apie bendriausius gamtos dėsningumus: „juk mes tada būname užtikrinti pažinę bet kokį daiktą, kai sužinome jo prigimties priežastis, pirminius pradus ir kai išskaidome juos iki pačių elementų. <...> aišku, kad ir moksle apie gamtą būtina, visų pirma, apibrėžti tai, kas priskirtina pradams.“ Fizikai ir artimoms gamtos mokslų sritims taip pat skirti Aristoteles'o veikalai „Apie dangų“, „Apie atsiradimą ir išnykimą“ bei „Meteorologika“. Visi jie parašyti gana lakoniškai, manoma, kad tai Aristoteles'o paskaitų, skaitytų Likėje, konspektai, kurie buvo skirti jo mokiniams.

Čia beveik neliesime bendrų Aristoteles'o gamtamokslinių pažiūrų, o tik artimiausius fizikai (dabartine prasme) klausimus – jo mokymą apie materiją bei Visatos sandarą, taip pat jo kūnų judėjimo teoriją.

Materija, pirminiai elementai ir Visatos sandara. Anot Aristoteles'o, realūs daiktai atsiranda materijai susijungus su forma. Materija – tai,

iš ko padarytas daiktas, jo galimybė. Forma – daikto esmė, kuri realizuojasi įsikūnydama materijoje.

Egzistuoja neturinti jokių savybių pirminė materija. Veikiama pirminių jėgų – karščio, šalčio, sausumo ir drėgmės – ta materija virsta keturiais elementais, arba stichijomis – vandeniu, žeme, oru ir ugnimi, o iš jų susidaro visi mūsų aplinkos daiktai. Sunkiausias iš elementų – žemė – susitelkia Visatos centre ir sudaro rutulio pavidalo Žemę, ją supa vanduo, vandenį – oras, o viršuje yra pati lengviausia – ugnis. Toliau išsidėsčiusios kelios dangaus sferos, kurios sukasi įvairiu greičiu apie skirtingas ašis; prie pačios tolimiausios sferos pritvirtintos žvaigždės. Dangaus sritis užpildyta eteriu – amžinu, nekintančiu elementu, iš jo sudarytos ir sferos bei dangaus kūnai. Už žvaigždžių sferos nebėra nei materijos, nei erdvės, taigi Aristoteles'o Visata yra baigtinė, rutulio formos.

Remdamasis daugelio kartų patirtimi, kad Žemėje viskas kinta ir yra, o dangaus kūnai juda nesikeisdami tomis pačiomis trajektorijomis, Aristoteles padarė išvadą, kad Žemės ir dangaus pasauliai yra skirtingi – kintantis Žemės pasaulis, kuriame keturi elementai virsta vienas kitu, ir amžinas, tobulas dangaus pasaulis.

Mokslas apie judėjimą. Aristoteles judėjimui teikė gana plačią prasmę, juo vadindamas bet koki kitimą ar virsmą. Čia nagrinėsime tik jo išplėtotą mokslą apie mechaninį kūnų judėjimą. Tokį judėjimą Aristoteles apibrėžė kaip kūno padėties kitimą kito kūno atžvilgiu.

Danguje esąs galimas tik judėjimas apskritimu, kurį Aristoteles laikė paprasčiausiu ir tobuliausiu judėjimu. Dangaus sferos juda pačios, įsuktos pirminio judintojo, arba Dievo.

Judėjimą Žemės pasaulyje Aristoteles skirstė į natūralų ir priverstinį. Natūraliam judėjimui nereikalingas išorinis poveikis, jį lemia kūnų prigimtis. Sunkūs kūnai krinta žemyn, link Žemės centro, o lengvi kūnai, kaip dūmai ar ugnis, kyla aukštyn, kad užimtų jiems skirtą vietą. Remdamasis šiuo aiškinimu ir apibendrindamas stebėjimus, kad sunkūs kūnai ore krinta greičiau nei lengvesni, Aristoteles padarė išvadą, kad kūno laisvojo kritimo greitis yra tiesiogiai proporcingas jo svoriui (dabartiniu supratimu – masei). Iš tikrųjų tai apytiksliai galioja tik kūnų kritimui ore nedideliu greičiu (klasikinė fizika aprašo idealų atvejį – kūnų kritimą tuštumoje, bet Aristoteles nagrinėjo realų judėjimą, neišskirdamas vienos pagrindinės priežasties). Krintančio kūno greitėjimą Aristoteles aiškino jo svorio didėjimu kūnui artėjant į jam skirtą vietą.

Priverstinis judėjimas vyksta veikiant išorinei jėgai. Kūno greitis tiesiogiai proporcingas veikiančiai jėgai ir atvirkščiai proporcingas aplinkos pasipriešinimui. Taigi Aristoteles'o mechanikoje inercijos dėsnis negalioja –

priverstinis judėjimas pastoviu greičiu galimas tik kūną veikiant jėgai, o jos neveikiamas kūnas sustoja. Vadinasi, Aristoteles aprašo judėjimą esant trinčiai, betgi jo neįmanoma apibūdinti vienu bendru paprastu dėsniu. Aristoteles'o suformuluotas dėsnis yra tik apytikris. Taikant šį dėsnį judėjimui tuštumoje, kūno greitis, nesant aplinkos pasipriešinimo, turėtų būti begalinis. Šį paradoksą Aristoteles išsprendė teigdamas, kad tuštuma gamtoje yra negalima.

Kodėl gi kūnas nesustoja iš karto, vos tik jį nustoja veikti jėga (pavyzdžiui, rankos išmestas akmuo juda ir toliau, jos neveikiamas)? Aristoteles tai aiškino gamtai būdinga „tuštumos baime“. Kad kūnui judant už jo nesusedarytų tuštuma, į tą vietą veržiasi oras ir stumia kūną, kaip vėjas burę.

Viena iš pagrindinių priežasčių, kodėl Aristoteles atsisakė jam žinomos hipotezės apie Žemės judėjimą ir laikė ją nejudančia, buvo iš jo teorijos išplaukiantis milžiniškos Žemės priverstinio judėjimo negalimumas.

Apskritai galima pasakyti, kad Aristoteles'o mokslas apie kūnų judėjimą rėmėsi netiksliais, kokybiniais kūnų judėjimo stebėjimais. Dabartiniu požiūriu, rezultatai buvo apibendrinti nekritiškai ir negriežtai, naudojantis tik loginiais, o ne matematiniais metodais, kartais remiantis išmoningomis, bet spekuliatyviomis idėjomis. Be to, Aristoteles nagrinėjo realų judėjimą (esant aplinkos pasipriešinimui), kurio negalima aprašyti bendrais, paprastais dėsniais. Vis dėlto tas pirmasis mėginimas sukurti nuoseklų, vieningą judėjimo teoriją buvo genialus pasiekimas, sudarė pagrindą tolesniems tyrimams ir padarė didžiulę įtaką fizikos raidai.

Kiti fizikiniai reiškiniai Aristoteles'o veikaluose nagrinėjami tik labai glaustai. Aiškindamas šviesos prigimtį, jis rėmėsi antikos laikais paplitusia Pythagoras'o idėja, kad šviesa yra akių spinduliai – jie atsispindi nuo daiktų ir, grįžę į akis, praneša žmogui apie jį supančius daiktus. Aristoteles papildė šią gana naivią šviesos sampratą nelabai aiškia idėja apie aplinkos tarpininkavimą. Jis jau žinojo teisingą šviesos atspindžio dėsnį ir beveik įspėjo vaivorykštės prigimtį, teigdamas, kad tai yra šviesos aidas nuo lietaus lašelių, primenantis garso aidą (vis dėlto šviesa lašeliuose turi atsispindėti ne vieną, o du kartus). Aristoteles pagrindinėmis spalvomis laikė baltą ir juodą – joms maišantis įvairiu santykiu, juodai spalvai „pažeidžiant baltos spalvos paprastumą“, susidaro visos kitos spalvos. Jo veikaluose taip pat yra konkrečių žinių iš akustikos.

SANTRAUKA

I tūkstantmečio pr. m. e. pradžioje Babilonijoje ir Egipte mokslo žinios tebebuvo susijusios su religija bei magija, o tas žinias sudarė receptai, kaip spręsti konkrečius uždavinius; bendri dėsniai ir metodai dar nebuvo for-

muluojami.

Mokslas atsirado senovės Graikijoje maždaug I tūkstantmečio pr. m. e. viduryje, kai pirmą kartą buvo imtasi racionaliai ir sistemingai aiškinti pasaulio sandarą. Graikų mąstytojai mėgino gamtos reiškinių įvairovėje iš karto įžvelgti pirminį pradą ir atskleisti pagrindinį gamtos sandaros principą. Tokiu pirminiu materialiu pradū buvo laikomas vanduo (Thales), oras (Anaximenes), ugnis (Herakleitos), jie visi kartu su žeme (Empedokles) ar neturinti savybių neapibrėžta pirminė medžiaga (Anaximandros). Buvo iškelta pirminio prado tvermės idėja, atitinkanti materijos tvermę. Pythagoras ir jo mokiniai, laikydami pirminiu pradū skaičių, priėjo išvadą, kad gamtos reiškiniai paklūsta griežtiems matematiniais dėsningumams.

Leukippos ir Demokritos pasiūlė labai paprastą ir racionalų pasaulio sandaros modelį, teigdami, jog viskas yra sudaryta iš mažyčių nedalomų atomų, judančių begalinėje tuštumoje. Atomai skiriasi savo dydžiu ir forma, jie visą laiką netvarkingai juda, susidurdami vieni su kitais ir sukibdami kabliukais bei nelygumais. Tai buvo pirmoji fizikos hipotezė. Deja, ją patikrinti tapo įmanoma tik po daugelio amžių. Vienintelis žymus Demokritos'o sekėjas antikos laikais Epikuros, siekdamas išvengti griežto determinizmo, išplaukiančio iš atomų hipotezės, padarė prielaidą, kad atomai gali savaime nukrypti nuo tiesaus kelio.

Po dviejų amžių graikų filosofijos ir kultūros sparčios raidos IV a. pr. m. e. Aristoteles pirmasis pamėgino sukurti visuotinę mokslo sistemą, paremtą stebėjimais ir patyrimu. Deja, tuo metu daugelis žinių buvo netikslios, kiekybiniai tyrimo metodai ir matematiniai apibendrinimo būdai dar nesukurti, tad Aristoteles, darydamas plačius apibendrinimus, dažnai rėmėsi sveiku protu, intuicija bei spekuliatyviomis idėjomis. Sistemindamas žinias ir konkretindamas mokslinių tyrimų kryptis, Aristoteles tapo daugelio mokslų, tarp jų ir fizikos, pradininku. Aristoteles'o fizikos pagrindą sudarė mokymas apie pirminius elementus, Visatos sandarą ir kūnų judėjimą. Kitų fizikinių reiškinių, tarp jų ir šviesos, jis dar beveik nenagrinėjo. Nekritiškai apibendrinęs stebėjimų rezultatus, Aristoteles padarė išvadą apie Žemės ir dangaus pasaulių skirtingumą, išplėtojo geocentrinę hipotezę, suskirstė judėjimą į natūralų ir priverstinį. Aristoteles'o mechanikos dėsniai (kūno laisvojo kritimo greitis tiesiogiai proporcingas jo svoriui, priverstinio kūno judėjimo greitis tiesiogiai proporcingas veikiančiai jėgai ir atvirkščiai proporcingas aplinkos pasipriešinimui) nesutampa su šiuolaikinės mechanikos dėsniais, nes jie aprašo idealų judėjimą, o Aristoteles nagrinėjo realų judėjimą ore. O tokio judėjimo negalima aprašyti paprastais, bendrais dėsniais, tad Aristoteles'o mechanikos teiginiai yra tik labai apytikriai.

II. ALEKSANDRIJOS MUZIEJUS. KONKREČIŲ FIZIKINIŲ TYRIMŲ PRADŽIA

2.1. ALEKSANDRIJA – PASAULIO MOKSLO CENTRAS

Aleksandro Didžiojo sukurtą imperiją po jo mirties 323 m. pr. m. e. pasidalijo artimiausieji karvedžiai. Susikūrusiose valstybėse graikai sudarė pagrindinį, bet mažą valdžios ir kultūros branduolį, stipriai veikiamą vietinių tradicijų. Graikų kultūros tiesioginis sąlytis su senosiomis Persijos, Babilonijos, Egipto, Indijos kultūromis buvo gana vaisingas ir davė pradžių reikšmingam civilizacijos raidos laikotarpiui, vadinamam helenizmo vardu.

Egiptas kartu su Nilo deltoje Aleksandro Didžiojo įkurta būsimąja imperijos sostine Aleksandrija atiteko jo karvedžiui Ptolemaios'ui, kuris tapo karaliumi.

Ptolemaios I, nors pats buvo neišsilavinęs karys, nutarė įgyvendinti Aleksandro idėją paversti Aleksandriją pasaulio kultūros centru. Savo patarėju jis pasikvietė žinomą Atėnų mokslininką peripatetiką Demetrios'ą. Šis atsivežė į Aleksandriją Aristoteles'o veikalų rinkinį, kuris davė pradžių Aleksandrijos bibliotekai. Knygų (tiksliau, popiruso ritinių, ant kurių tuo metu buvo rašomi veikalai) rinkimas tapo Ptolemaios'o I ir jo įpėdinių pomėgiu. Joms įsigyti buvo skiriamos didelės lėšos, rankraščiai perkami arba kopijuojami (tam palankias sąlygas sudarė būtent Egipte augantis ir čia nuo seno kaip rašomoji medžiaga naudojamas daugiametis augalas popirusas). Palaipsniui Biblioteka tapo unikaliu graikų ir kitų tautų grožinės ir mokslinės literatūros lobynu; I a. pr. m. e. viduryje joje buvo sukaupta net apie 400 000 rankraščių (kadangi tai unikali biblioteka, ji paprastai rašoma iš didžiosios raidės). Aleksandrijos pavyzdžiu vėliau bibliotekos buvo kuriamos ir kitų helenistinių valstybių sostinėse Pergame, Antiochijoje, bet jos toli gražu neprilygo Aleksandrijos bibliotekai.

Manoma, kad, patarus Demetrios'ui, Ptolemaios I prie Bibliotekos įkūrė mokslininkų namus, vadintus Muziejumi. Žodis *muziejus* (tiksliau, *muziejonas*) tais laikais reiškė šventovę su mūzų statulomis, kur rinkdavosi jų gerbėjai – filosofai, menininkai ar rašytojai. Ligi tol ne vienas graikų valdovas buvo globojęs menininkus, bet idėja surinkti žymiausius mokslininkus ir sudaryti jiems sąlygas atsidėti moksliniams tyrimams buvo nauja ir tikrai vaisinga.

Aleksandrijos muziejus įėjo į karališkųjų rūmų kompleksą. Muziejų sudarė didelis pastatas, pasivaikščiojimų vieta ir dengta galerija. Pastate, kaip manoma, buvo Biblioteka, skaityklos ir darbo kabinetai, salės diskusijoms bei paskaitoms, taip pat valgomoji salė (mokslininkai gyveno mieste). Vėliau Serapio šventykloje buvo įkurta antroji – mažesnė biblioteka tiems skaitytojams, kurie neturėjo teisės įeiti į karaliaus rūmus.

Muziejaus klestėjimo laikotarpiu jame darbavosi apie šimtą mokslininkų, išlaikomų valstybės. Jie tyrinėjo rankraščius, diskutavo tarpusavyje, rašė naujus veikalus, skaitė paskaitas mokiniams. Galimybė naudotis Biblioteka bei įvairiomis kolekcijomis, keistis idėjomis su žymiausiais pasaulio mokslininkais sudarė labai palankias sąlygas plėtoti mokslą. Tiesa, egzistavo ir kiti mokslo centrai – Pergame, Rodo saloje, Atėnuose, Efese, bet juose dirbo kur kas mažesnės mokslininkų grupės ir labiau buvo plėtojamos tik tam tikros mokslo šakos (filosofija Atėnuose, humanitariniai mokslai Pergame ir pan.). Be to, tie centrai, išskyrus Atėnus, buvo ne tokie ilgaamžiai kaip Aleksandrijos muziejus – jis vaidino pasaulio mokslo sostinės vaidmenį ištisus šešetą amžių.

Aleksandrijos mokykla, įkurta Aristoteles'o sekėjų, perėmė jo nuostatą rinkti ir sisteminti žinias, bet atsisakė tradicijos grįsti tas žinias bendromis filosofinėmis idėjomis. Pirmą kartą istorijoje konkretūs mokslai čia atsiskyrė nuo filosofijos. Tai buvo toks pat esminis žingsnis mokslo raidoje, kaip ir jo atsiskyrimas nuo religijos trejetu šimtmečių anksčiau. Tiesa, šis mokslo pokytis Aleksandrijoje buvo nesuprastas Viduramžių Europoje ir įvertintas tik Renesanso laikais.

Aleksandrijoje gamtos mokslai toliau diferencijavosi, mokslininkai specializavosi atskirose srityse, nors kai kurie genijai padarė svarbių atradimų keliuose moksluose. Muziejuje dirbę įžymūs fizikai ir matematikai (Archimedes, Eukleides), mechanikai (Ktesibius, Heron), astronomai (Aristarchos, Hipparchos, Ptolemaios), geografs (Eratostenes, Strabo), medikas (Galenos) ir kt. pradėjo konkrečius sistemingus tyrimus ir padėjo tų mokslo sričių pagrindus. Eukleides savo garsiajame veikale „Pradmenys“ sukūrė geometrijos pagrindus ir suteikė šiam mokslui grakščią, deduktyvinę formą. Daugeliui mokslininkų kartų „Pradmenys“ buvo mokslinio griežtumo idealas, šiuo veikalu sekė netgi I. Newton'as rašydamas savo „Gamtos filosofijos matematinius pagrindus“. Aristarchos pasiūlė pirmąją heliocentrinę sistemą, kuri, deja, buvo per ankstyva, pranokusi savo laiką; vėliau kitas Aleksandrijos mokslininkas Klaudios Ptolemaios išplėtojo geocentrinę sistemą, jos matematinį aparatą. Eratostenes taip tiksliai nustatė Žemės skersmenį, jog jo rezultatas buvo pralenktas tik XVII a. Deja, čia nėra galimybės paminėti net svarbiausių atradimų, kurie buvo padaryti Aleksandrijoje, o fizikos atradimus aptarsime

atskirai kitose šio skyriaus dalyse.

Aleksandrijos muziejus išgyveno kelis pakilimo ir nuosmukio laikotarpius, jį niokojo karai, gaisrai ir religiniai fanatikai, ir galų gale šios unikalios įstaigos neliko. Palankiausias Muziejaus ir Bibliotekos veikimo sąlygos buvo pirmuosius pusantro šimto metų, vėliau Muziejus kentėjo dėl Ptolemaios'ų dinastijos tarpusavio karų, sumažėjo valdovų dėmesys ir parama mokslui. Romai įsikišus į Egipte vykusį dinastinį karą tarp Kleopatros ir jos brolio, 49 m. pr. m. e. degė karalių rūmai, manoma, kad tada nukentėjo ir Biblioteka. Netrukus Egiptas buvo prijungtas prie Romos imperijos. Kai kurie imperatoriai domėjosi Muziejumi ir rėmė jį, bet apskritai romėnai nelabai vertino gamtos mokslų ir patys neplėtojo jų. Be to, pačiame Muziejuje pasireiškė kai kurios nuosmukio tendencijos – polinkis į senųjų veikalų komentavimą ir kompiliavimą, taip pat į gamtos reiškinių aiškinimą antgamtinėmis ir fantastinėmis priežastimis.

272 m. Romos imperatoriaus Aureliano karo su atskilusiu Egiptu metu sudegė karaliaus rūmai Aleksandrijoje, matyt, kartu su Muziejumi ir Biblioteka. Tačiau išliko mažoji biblioteka, kuri leido atkurti Muziejų.

Tuo metu Aleksandrijoje, kaip ir visoje Romos imperijoje, palaipsniui įsigalėjo krikščionybė. Ji priešiška vertino graikų kultūrą ir mokslą, siedama juos su pagoniškąja religija. IV a. pradžioje krikščionybė buvo paskelbta oficialia Romos imperijos religija. 391 m. imperatoriui įsakius uždaryti visas pagonių šventyklas, krikščionių minia sunaikino Serapio šventyklą kartu su joje buvusią biblioteką.

Net po šio smūgio Aleksandrijoje dar liko mokslininkų grupė, tęsianti senąsias Muziejaus tradicijas. Čia netgi iškilo pirmoji moteris mokslininkė Hypatia (apie 370–415 m.), garsėjusi savo darbais iš filosofijos, matematikos ir astronomijos. Deja, 415 m. krikščionių fanatikų minia ją nužudė; matyt, po to buvo nusiaubta ir mokslininkų buveinė. Aleksandrijos mokslinė mokykla nustojo egzistavusi.

2.2. ARCHIMEDES'O ATRADIMAI IR IŠRADIMAI

Gyvenimas ir veikla. Archimedes yra vienas žymiausių visų laikų mokslininkų, genialus matematikas, fizikas ir inžinierius. Jis pirmasis susiejo fiziką su matematika ir su praktinių problemų sprendimu, kūrė prietaisus kiekybiniam matavimams ir vykdė bandymus. Jis yra statikos ir hidrostatikos pradininkas.

Archimedes gimė 287 m. pr. m. e. Sicilijos sostinėje Sirakūzuose, astronomo Pheidias'o šeimoje. Jaunuolis gavo gerą gamtamokslinį išsilavinimą; matyt, jis netrukus po Eukleides'o „Pradmenų“ pasirodymo susipažino

su šiuo veikalu, padariusiu didelę įtaką Archimedes'o mokslinei veiklai. Be to, jis domėjosi karo mašinomis, paplitusiomis po Aleksandro Didžiojo žygių, ir kitokiais įrenginiais.

Archimedes ilgą laiką lavinosi ir dirbo Aleksandrijos muziejuje. Čia jis išgarsėjo kaip talentingas inžinierius – projektavo apsaugines dambas nuo Nilo potvynių, išrado vandens sraigta (mediniame lankais sutvirtintame vamzdyje besisukantis sraigtas) vandeniui kelti, kuris ilgus amžius buvo naudojamas Egipte ir gretimose šalyse žemei drėkinti bei pelkėtoms vietoms sausinti.

Grižęs iš Aleksandrijos į Sirakūzus, Archimedes ir toliau palaikė glaudžius ryšius su Muziejumi, čia buvo kopijuojami ir nagrinėjami jo veikalai. Archimedes labai išradingai derino matematikos, fizikos ir technikos problemų sprendimą – matyt, darbai įvairiose srityse jam teikdavo papildomų akstinių ir idėjų. Archimedes ėmėsi sunkiausių to meto matematikos problemų – geometrinių figūrų ploto, tūrio ir paviršiaus ploto skaičiavimo, jo išvystytuose metoduose glūdėjo integralinio skaičiavimo pradai.

Antra vertus, Archimedes vykdė bandymus, kuriais remdamasis formulavo statikos taisykles, netgi tokiu būdu tikrino figūrų tūrio ir ploto skaičiavimo rezultatus. Jis sukonstravo pirmuosius žinomus prietaisus – medžiagų santykiui lydinyje nustatyti (jį minėsime toliau), Saulės regimajam dydžiui matuoti, bei pirmąjį planetariumą, judinamą suslėgto oro. Pastarasis buvo laikomas technikos stebuklu ir kaip karo grobis išvežtas į Romą.

Apie Archimedes'ą, dar jam gyvam esant, sklido legendos. Kas iš skaitytojų nėra girdėjęs pasakojimo, kaip Archimedes, maudydamasis vonioje, įžvelgė pagrindinį hidrostatikos dėsnį ir nuogas bėgo Sirakūzų gatvėmis šaukdamas „Eureka!“ („Radau!“). Kitą kartą Archimedes, naudodamasis paprastais mechanizmais, nustebusių žiūrovų akivaizdoje nukėlė nuo seklumos galerą su visu jos kroviniu ir įgula. Daugiausia legendų, turinčių istorinį pagrindą, susijusios su Sirakūzų gynyba nuo romėnų kariuomenės. Vadovaujama konsulo Claudius'o Marcellus'o, ji 214 m. pr. m. e. apsupo miestą iš sausumos ir jūros. Sirakūzų gyventojai iš anksto ruošėsi gynybai ir Archimedes'o vadovaujami pagamino įvairių karo mašinų. Romėnai taip pat atsigabeno mašinų miesto sienoms griauti, tačiau jos neprilygo Archimedes'o išrastosioms. Pasak Plutarchus'o, vaizdžiai aprašiusio Sirakūzų gynybą, didžiausią baimę romėnams sukėlė milžiniškos, lynais valdomos gervės (kranai). Jos geležiniais kabliais kėlė ir mėtė ant puolančiųjų didžiulius akmenis, o nustvėrusios nedidelį laivą, netgi pakeldavo ir nuskandindavo jį. Kitas senovės istorikas teigė, kad



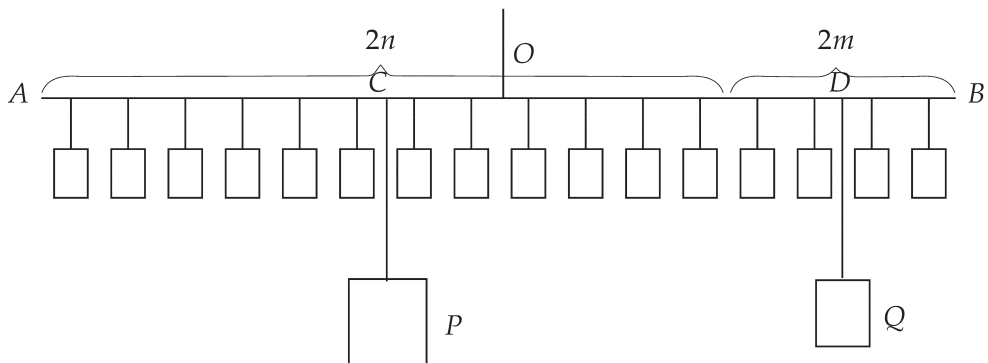
2.1 pav. Archimedes.

miesto gynybai buvo panaudoti ir įgaubtieji metaliniai veidrodžiai – karių būriui sukoncentravus jais saulės spindulius į dervuotą laivo šoną, šis ėmęs smilkėti ir užsiliepsnojęs. Ši legenda atrodo mažai įtikima, bet neseniai atlikus panašų bandymą, iš tikrųjų tuo būdu pavyko uždegti laivą.

Romėnai atsisakė minties paimti miestą šturmu ir perėjo prie ilgalaikės apgulties. Įsiveržti į miestą jiems padėjo išdavikas. Romėnų kariams siaubiant ir grobiant Sirakūzus, žuvo ir Archimedes, tuo metu buvęs 75 metų amžiaus. Kai romėnų būrys įsiveržė į jo namus, Archimedes sprendęs kažkokį uždavinį ir prašęs leisti užbaigti, bet kareivis jo nepasigailėjo. Liko nebaigtas Archimedes'o svarbiausias fizikos veikalas „Apie plūduriuojančius kūnus“; jis liudija, kad Archimedes išliko labai kūrybingas ligi senatvės. Jo antkapyje buvo iškaltas rutulys, įterptas į cilindrą, – jų tūrių ir paviršiaus plotų santykio nustatymą Archimedes laikė vienu iš svarbiausių savo rezultatų.

Statika ir hidrostatika. Nors paprasčiausieji mechanizmai buvo naudojami nuo senų laikų, Archimedes pirmasis jų veikimui paaiškinti pritaikė griežtus metodus. Jis įvedė svarbią svorio (dabartiniu supratimu – masės) centro sąvoką ir apibrėžė ją taip: „Tam tikro kūno svorio centras yra jo viduje esantis taškas, pasižymintis ta savybe, kad tame taške mintyse pakabinus sunkų kūną, šis liks rimtyje ir išsaugos pradinę padėtį.“ Archimedes nustatė daugelio plokščių ir erdviųjų taisyklingų kūnų svorio centrus. Jis suprato, kad nagrinėjant kūnų sistemos pusiausvyrą, kūną galima pakeisti tašku, kuriame yra sukonzentruota kūno masė, t. y. įvedė materialųjį tašką. Naudodamasis svorio centro sąvoka, jis įrodė sverto dėsnį. Verta trumpai susipažinti, koks buvo tas pirmasis griežtas fizikos dėsnio įrodymas.

Visų pirma, Archimedes, apibendrinęs bandymų rezultatus, suformulavo kelis dėsningumus apie kūnų pusiausvyrą bei jų svorio centrus. Toliau jis nagrinėjo svarelius, kybančius ant pakabinto strypo, ir naudojami šia



2.2 pav. Archimedes'o sverto dėsnio įrodymas.

pagrindine taisykle: „Vienodi svareliai, kybantys vienodu atstumu nuo strypo pakabinimo taško, atsveria vienas kitą.“

Tarkime, ant besvorio strypo AB lygiais tarpais yra pakabinta $2n + 2m$ vienodų svarelių (2.2 pav.). Kadangi jie simetriškai išsidėstę pakabinimo taško O atžvilgiu, tai strypas su svareliais, suprantama, bus pusiausvyroje. Remiantis svorio centro apibrėžimu, tam tikrą skaičių svarelių galima pakeisti vienu svarsčiu, kurio svoris lygus jų svorių sumai ir pakabintu ties svarelių svorio centru. Tokiu būdu $2n$ svarelių pakeičiama svarsčiu P , o likę $2m$ svarelių – Q . Dėl to strypo pusiausvyra neturi pasikeisti (tai teigta kita taisykle). Naudojantis brėžiniu, lengva išreikšti atstumų OC ir OD santykį taip:

$$\frac{OC}{OD} = \frac{m}{n}, \quad \text{kai} \quad \frac{P}{Q} = \frac{n}{m}.$$

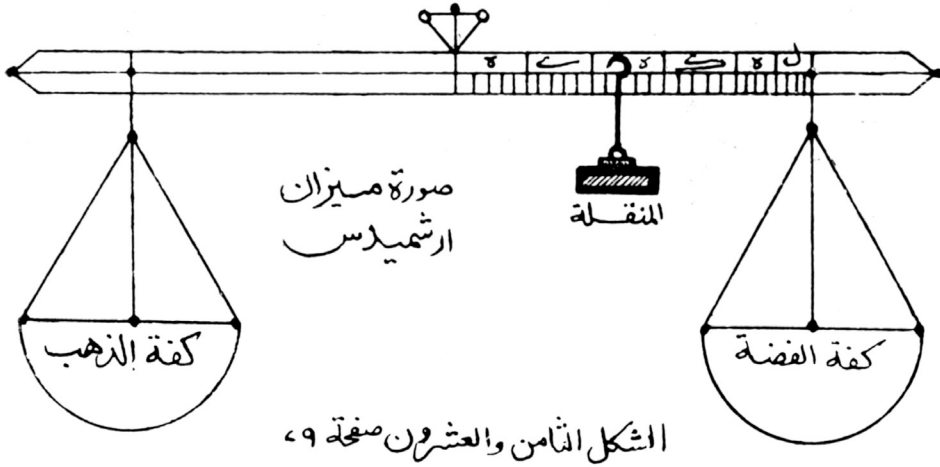
Vadinasi, svertą veikiant nevienodo dydžio jėgoms, jis bus pusiausvyroje, jei yra tenkinama sąlyga:

$$\frac{P}{Q} = \frac{OD}{OC}.$$

Šį rezultatą Archimedes apibendrino atvejui, kai skaičiai m ir n nėra sveikieji, ir tuo būdu įrodė sverto dėsnį (jo vadintą teorema): „Svarečiai yra pusiausvyroje, jei ilgiai, ant kurių jie yra pakabinti, atvirkščiai proporcingi jų svoriams“.

Kitame veikale „Apie plūduriuojančius kūnus“, kurio kopija taip pat pasiekė mūsų laikus (dalis – graikų kalba, kita dalis – vertimu į arabų kalbą), Archimedes nagrinėja skysčių ir juose panardintų kūnų pusiausvyrą. Čia vėlgi jis iš pradžių, remdamasis bandymais, postuluoja skysčio savybes (įvedamas idealųjį skystį): „Tarkime, skystis yra tokios prigimties, kad jo dalelės pasiskirsčiusios tolygiai ir mažiau suspaustos dalelės yra išstumiamos labiau suspaustų ir kad kiekviena iš dalelių yra spaudžiama skysčio, esančio virš jos, jeigu tik skystis nėra uždarame inde ir nėra spaudžiamas ko nors kito“. Po to jis matematiškai įrodė dėsnį, dabar vadinamą Archimedes'o dėsniumi, tiesa, jį suformulavęs penkiaais atskirais teiginiais, kaip antai: „2. Kūnas, lengvesnis už skystį, įleistas į jį, nepasineria visas – tam tikra dalis kūno lieka iškilusi virš skysčio;“, „5. Kūnas, sunkesnis už skystį, įleistas į jį grims tol, kol pasieks dugną ir skystyje taps lengvesnis dydžiu, lygiu svoriui skysčio, kurio tūris lygus panardinto kūno tūriui.“

Nors šiuose teiginiuose Archimedes dar neįvedė savitojo svorio termino, bet iš tikrųjų, kalbėdamas apie lengvesnius, sunkesnius ir ypač „turinčius lygų svorį su to paties tūrio skysčio svoriu“ kūnus, jis jau praktiškai vartojo šią sąvoką. Būtent savitojo svorio samprata ir padėjo jam išspręsti garsųjį uždavinį apie aukso karūnos grynumą. Anot kai kurių šaltinių, Archimedes buvo sukonstravęs svarstyklės, kuriomis galima tiesiogiai nustatyti aukso ir



2.3 pav. Svarstyklės aukso ir sidabro santykiui lydinyje nustatyti (išradimas priskiriamas Archimedes'ui). Piešinys iš arabų mokslininko al-Khazini „Knygos apie išminties svarstyklės“ (XII a.).

sidabro santykį lydinyje (2.3 pav.). Padėjus ant svarstyklių lėkštelių lygaus svorio tiriamojo lydinio ir gryno aukso gabalus ir įleidus abi lėkšteles į vandenį, pusiausvyra sutrikdavo (skirtingo santykinio svorio medžiagos išstumia nevienodą tūrį vandens); pusiausvyra buvo atstatoma stumdant papildomą svarelį, kurio padėtis atitinkamai sugraduotoje skalėje parodydavo sidabro santykį lydinyje.

Žinoma, kad Archimedes buvo parašęs ir didelį veikalą „Katoptrika“ – taip buvo vadinamos žinios apie veidrodžius ir atspindį nuo jų. Deja, tas veikalas neišliko.

Tyrimų griežtumu ir konkretumu Archimedes labiausiai iš visų senųjų graikų mokslininkų priartėjo prie klasikinės fizikos.

2.3. EUKLEIDES'O IR PTOLEMAIOS'O GEOMETRINĖ OPTIKA

Nors šviesa tiesiogiai veikia žmogaus pojūčius, ji yra daug sudėtingesnis reiškinys negu kūnų judėjimas. Tad pirmosios hipotezės apie jos prigimtį buvo gana naivios, netgi fantastinės. Senovės Graikijoje, Aleksandrijos muziejuje ir netgi viduramžių Europoje labiausiai paplitusi buvo Pythagoras'o hipotezė, kad šviesa yra akių spinduliai. Jie tarsi išskėsti pirštai apčiuopia daiktus ir grįžę į akis perduoda informaciją žmogui. Iš tikrųjų regėjimas yra toks įstabus dalykas, jog filosofai buvo linkę priskirti jo priežastį ne pasyviai gamtai, o pačiam žmogui. (Tik akių šviesa, kaip ir proto šviesa, leidžia įžvelgti pasaulio darną.) Tos hipotezės palikimas yra ir dabar dar vartojamas posakis „akių šviesa“.

Prieš pradėdant kalbėti apie Aleksandrijos mokslininkų optikos darbus, reikia pažymėti, kad optika tais laikais reiškė mokslą apie regėjimą, o atspindį nuo veidrodžių nagrinėjo katoptrika, perspektyvos dėsningumus ir jų panaudojimą scenos dekoracijose – skenografija; dar vėliau buvo išskirta dioptrika – mokslas apie šviesos matavimus. Mes, aišku, vartosime optikos terminą šiuolaikine prasme.

Seniausią mums žinomą optikos veikalą parašė didysis matematikas Eukleides (apie 350–apie 265 m. pr. m. e.) Jis sudarytas iš dviejų knygų „Optika“ ir „Katoptrika“, dažniausiai vadinamų bendru „Optikos“ pavadinimu. Šiame veikale Eukleides naudoja akių spindulių hipotezę ir pirmąjį tiesia-eigio šviesos spindulių sklidimo postulatą formuluoja taip: „Spinduliai, išeinantys iš akių, sklinda tiesiu keliu į begalybę.“ Kaip matome, nors prielaida apie spindulių prigimtį neteisinga, tas postulatą yra iš esmės teisingas, nes sklidimo ypatumai nepriklauso nuo spindulių krypties. O formuluodamas kitą postulatą: „Šviesos spindulių atspindžio kampas yra lygus kritimo kampui“, Eukleides jau vartoja terminą *šviesos spindulys* (neįvesdamas jo apibrėžimo).

Spindulių lūžimo dėsnio Eukleides dar nežinojo, nors šį reiškinį tyrė. Tad atitinkamu postulatu jis aprašė patį lūžimo reiškinį: „Jei kokį nors daiktą padėsime indo dugne ir atitrauksime indą nuo akių tiek, kad to daikto nebeamatytume, tai jis vėl taps matomas indą pripylus vandens“ (2.4 pav.).

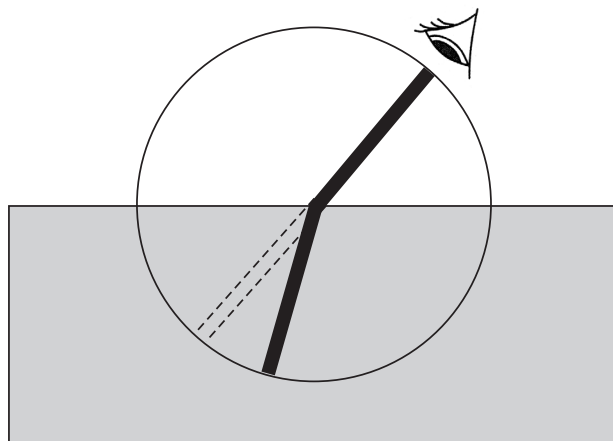
Kitais postulatais jis apibendrino pagrindinius perspektyvos dėsningumus, pavyzdžiui: „Daiktai, matomi dideliais kampais, atrodo didesni, matomi mažesniais kampais, atrodo mažesni, o matomi lygiais kampais, atrodo vienodi.“

Remdamasis suformuluotais postulatais, Eukleides nagrinėjo šešėlių susidarymą, daiktų atvaizdus, gaunamus šviesai sklindant pro mažus plyšius, regimąjį daiktų dydį priklausomai nuo jų nuotolio iki akių ir kita, o „Katoptrikoje“ teisingai aprašė spindulių atspindį nuo plokščiojo, iškiliojo ir įgaubtojo veidrodžių.

Taigi Eukleides sukūrė geometrinės optikos pagrindus.



2.4 pav. Eukleides'o bandymas spindulių lūžimui stebėti.



2.5 pav. Ptolemaios'o prietaiso šviesos lūžimui tirti schema.

dėsni. Ptolemaios naudojo paprastą prietaisą, sudarytą iš medinio skritulio su laipsnių skale jo pakraštyje ir dviejų liniuočių: vienos, pritvirtintos nejudamai prie skritulio, ir kitos, besisukančios apie jo centrą (2.5 pav.). Skritulys būdavo iki pusės panardinamas į vandenį ir, žiūrint nejudamos, vandenyje esančios liniuotės kryptimi, antroji pasukama taip, kad atrodytų esanti pirmosios liniuotės tęsinys. Iš tikrųjų, dėl spindulių lūžimo pereinant iš oro į vandenį, tos liniuotės sudarydavo tam tikrą kampą (lygų kritimo ir lūžio kampų skirtumui), kuris ir buvo nustatomas ištraukus skritulį iš vandens. Deja, remdamasis gautais rezultatais, Ptolemaios suformulavo netikslų dėsnį, kad lūžio kampo ir kritimo kampo santykis yra pastovus; iš tikrųjų tai galioja tik esant mažiems kampams. Kai kurie mokslo istorikai įtaria, kad Ptolemaios šiek tiek „priderino“ rezultatus prie tikėtino dėsnio, nes jie pernelyg gerai jį atitinka, o paklaidos kinta įtartinai taisyklingai.

Ptolemaios'o dėsniumi buvo naudojamosi ilgus amžius, net ir pastebėjus, kad jis yra tik apytikris.

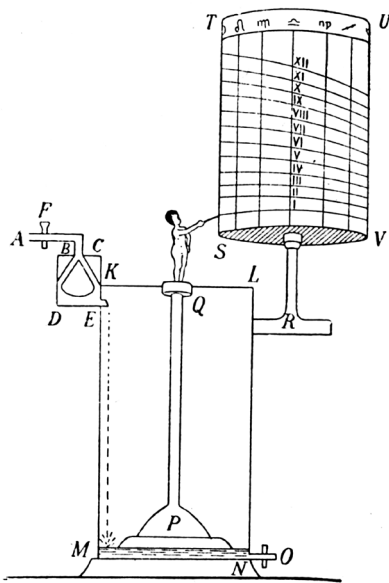
2.4. ALEKSANDRIJOS MECHANIKAI

Mechanika, kaip ir optika, antikos laikais turėjo kitokią prasmę negu dabar – mechanika buvo vadinamas mokslas apie mechanizmus ir mašinas (gr. *mechane* – mašina ar bet kokia „gudrybė“), o bendros žinios apie judėjimą buvo priskiriamos fizikai.

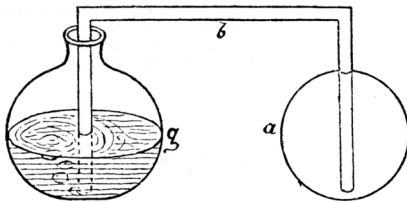
Aleksandrijoje dirbo keli žymūs mechanizmų ir techninių žaislų kūrėjai, kurie naudojo suspausto oro, garų ir skysčių savybes. Šios krypties pradininkas buvo genialus savamokslis, Aleksandrijos kirpėjo sūnus Ktesibius

Kaip buvo minėta, Archimedes'o optikos veikalas neišliko, tad apie jo indėlį į optikos mokslą nieko tikro pasakyti negalima.

Žymus Aleksandrijos astronomas Klaudios Ptolemaios (apie 100 – apie 170 m.) (ne karalių giminaitis) domėjosi šviesa kaip informacijos apie žvaigždes šaltiniu, tyrė spindulių sklaidimą ore ir vandenyje. Jis mėgino eksperimentiškai nustatyti spindulių lūžimo



2.6 pav. Ktesibius'o vandens laikrodis.



2.7 pav. Philon'o bandymas, įrodantis, kad kaitinamas oras plečiasi.

būt jis buvo Ktesibius'o mokinys), vėliau Philon'as gyveno Rodo saloje. Jis parašė devynių dalių technikos enciklopediją „Mechanika“, bet išliko tik trys dalys, skirtos karo mašinoms ir tvirtovių apgūčiai. Fizikiniu požiūriu įdomesnis jo veikalas „Pneumatika“, kuriame aprašomi įrenginiai, naudojantys suspaustą orą ir vandenį. Philon'as rašė apie skysčio savybę kilti paskui orą, ištraukiamą iš indo (tokiu būdu, įleidus į vyno indą vamzdelį ir burna siurbiant orą, galima degustuoti vyną), betgi jis aiškino tai skysčio gebėjimu „prisiklijuoti“ prie oro.

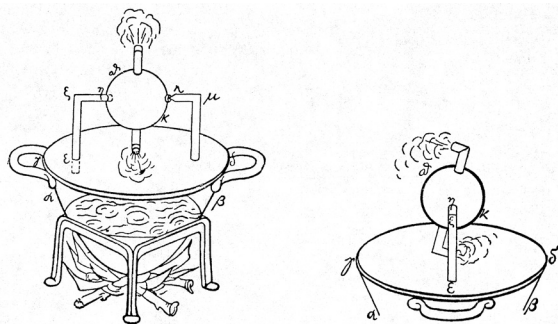
Philon'as žinojo, kad kaitinamas oras plečiasi, ir demonstravo šią savybę tokiu paprastu bandymu (2.7 pav.). Lenktas vamzdelis vienu galu įstatomas į tuščiaidurį uždarą indą, o kitu galu įleidžiamas į atvirą indą su vandeniu. Pašildžius indą su oru, pavyzdžiui, padėjus jį saulės atokaitoje, oras

(apie 285–222 m. pr. m. e.).

Vienas iš žymiausių Ktesibius'o išradimų – save reguliuojantis vandens laikrodis. Ligi tol naudotų vandens laikrodžių pagrindinis trūkumas buvo tas, kad vandens lašėjimo greitis priklausė nuo vandens lygio inde. Ktesibius sugalvojo labai paprastą ir originalų sprendimą (2.6 pav.). Pro angą *F* vanduo teka į tarpinį indą *BCDE*, o iš jo laša į pagrindinį indą *KLMN*. Tarpinio indo viduje įtaisyta plūdė, kuri automatiškai reguliuoja ištekančio vandens kiekį: ji kyla aukštyn kartu su vandeniu ir sumažina ar net visai uždaro angą. O laiką parodo pagrindiniame inde plaukiojanti žmogaus figūrėlė.

Ktesibius taip pat išrado vandens siurbį, kurį sudarė cilindras su jame slankiojančiu stūmokliu bei dviem vožtuvais. Siurblys buvo naudojamas gėsinant tais laikais gana dažnus gaisrus. Be to, Ktesibius pritaikė vandens siurbį naujam muzikos instrumentui – vargonams – sukurti (tik vėliau vandenį pakeitė oras, o jam pūsti buvo panaudotos dumplys).

III a. pr. m. e. pabaigoje Muziejuje dirbo Philon'as, kilęs iš Bizantijos (gal-



2.8 pav. Eolipilas.

pagal tai, kokius veikalus jis citavo savo raštuose, taip pat pagal jo minimą Mėnulio užtemimą). Laimė, išliko pagrindiniai Heron'o veikalai, tarp jų ir svarbiausias jo veikalas „Pneumatika“. Jo pirmtakai Ktesibius ir Philon'as buvo praktikai, o Heron'as ne tik kūrė mechanizmus, bet ir analizavo jų savybes. Antai jis paaikšino savo pamėgto prietaiso – sifono – veikimą skysčio srovės nenutrūkstamumu.

„Pneumatikoje“ aprašyta daug įvairių labai išradingų mechanizmų, kaip antai šventyklos durys, atsidarančios užkūrus aukojimo ugnį, šviestuvai, automatiškai užsipildantis alyva, įvairūs sifonai bei jų reguliuojami žaislai (pavyzdžiui, paukštelis ir pelėda – paukštelis švilpia, kai pelėda nosisukusi, bet nutyla jai atsigręžus) ir kt. Pats įdomiausias Heron'o išrastas mechanizmas – eolipilas (pavadintas graikų vėjų dievo Eolo vardu).

Eolipilą (2.8 pav.) sudarė tuščiaaviduris geležinis rutulys, užmautas ant dviejų vamzdelių, jungiančių jį su uždaru pagrindiniu indu. Jame kaitinant vandenį, garai vamzdeliais pakliūdavo į rutulį ir iš jo veržėsi per du lenktus vamzdelius, įtaisytus statmenai ašiai, sukdami rutulį į priešingą pusę. Taigi eolipilas buvo garo turbinos prototipas, išrastas devyniolika šimtmečių anksčiau. Betgi Heron'as nieko nerašė apie galimą praktinį šio mechanizmo pritaikymą.

Ar galėjo žmonija garo mašiną pradėti naudoti dar helenizmo laikotarpiu? Tuo metu metalo apdirbimo technika jau buvo pakankamai išvystyta, o mechanizmų kūrėjams, kaip matėme, išradingumo netrūko, tad, matyt, nedidelio našumo mašina iš principo galėjo būti sukonstruota. Tačiau metalas tais laikais buvo gana brangus, o įvairius fizinius darbus atlikdavo vergai, to meto pigi darbo jėga. Taigi vergovinės visuomenės sąlygomis, esant silpnai išvystytai gamybai, Heron'o išradimas negalėjo būti pritaikytas. Beje, jo veikalas buvo žinomas ir feodalinėje Europoje, bet baudžiavos sąlygomis garo mašinos poreikio taip pat nebuvo. Ji buvo sukurta tik prasidėjus pramonės revoliucijai.

burbuliukais pradeda veržtis per kitą vamzdelio galą. Po to atšaldžius uždarąjį indą, oro slėgis jame mažėja ir vanduo vamzdeliu ima kilti aukštyn.

Garsiausias iš Aleksandrijos mechanikų buvo Heron'as. Jokių žinių apie jo gyvenimą neiškilo (Heron'o gyvenimo laikotarpis – I a. antroji pusė – buvo nustatytas

Daugelis Aleksandrijos muziejuje išrastų mechanizmų buvo tik įdomūs ir išmoningi žaislai, demonstravę suspausto oro, garų ar skysčių savybes, bet neturėję jokio poveikio to meto gamybai.

Dar verta paminėti Aleksandrijoje VI a. dirbusį Joanes'ą Philopponos'ą (gr. – Darbštuolis), kuris nagrinėjo bendrus kūnų judėjimo klausimus. Komentuodamas Aristoteles'o „Fiziką“, Philopponos suabejojo kai kuriomis jos išvadomis. Jeigu, anot Aristoteles'o, kūną, kurio nebeveikia pašalinė jėga, stumia į jo vietą besiveržiantis oras, tai strėlė buku galu turėtų lėkti toliau negu strėlė nusmailintu galu, bet esti priešingai. Kas palaiko įsukto rato judėjimą, juk oras į jo vietą nesiveržia? Philopponos iškėlė mintį, kad judintojas suteikia judančiam kūnui kažkokios galios ar jėgos, kuri palaiko jo judėjimą. Ta jėga yra palaiptisui išaikvojama dėl aplinkos pasipriešinimo, ir tada kūnas sustoja. Tai buvo pirmas intuityvus judėjimo kiekio ar energijos numatymas. Philopponos nepatikėjo ir Aristoteles'o teiginiu, kad kūnas tuštumoje, nesant aplinkos pasipriešinimo, turėtų kristi begaliniu greičiu. Vietoj Aristoteles'o dėsnio, nusakančio krintančio kūno greitį $v \sim P/R$ (čia P – kūno svoris, o R – aplinkos pasipriešinimas), Philopponos pasiūlė dėsnį $v \sim P - R$, kuris tiksliau aprašo kritimą.

SANTRAUKA

Po Aleksandro Didžiojo karo žygių graikų kultūros tiesioginis sąlytis su senovės Rytų kultūromis davė pradžią vaisingam helenizmo laikotarpiui. Ypač palankios sąlygos tolesnei mokslo raidai susidarė Aleksandrijoje, kur buvo sukaupta unikali Biblioteka ir įkurtas Muziejus – pirmoji valstybės išlaikoma mokslo įstaiga. Joje buvo perimta Aristoteles'o nuostata remtis patyrimu, sisteminti mokslo žinias, bet atsisakyta tradicijos tas žinias grįsti bendromis filosofinėmis idėjomis. Aleksandrijoje pirmą kartą mokslas atsiskyrė nuo filosofijos, mokslininkai užsiėmė konkrečiais atskirų mokslo sričių tyrimais.

Muziejus gyvavo, naikinamas karų bei gaisrų ir vėl atsigaudamas, beveik šešis šimtus metų. Be jo, egzistavo ir keli kiti mažesni mokslo centrai Pergame, Rodo saloje, Efese, Atėnuose.

Žymiausias helenizmo laikotarpio fizikas Archimedes (dirbęs Aleksandrijoje, o vėliau savo gimtinėje – Sirakūzuose) pirmasis fizikoje pritaikė griežtus matematikos metodus. Jis padėjo statikos ir hidrostatikos pagrindus: įvedė svorio centro sąvoką ir nustatė šį centrą įvairioms plokščioms bei erdvinėms figūroms, įrodė svorto dėsnį, pagrindinį hidrostatikos dėsnį ir kt. Archimedes konstravo prietaisus ir juos naudojo kiekybiniam matavimams atlikti. Jis taikė savo atradimus praktikoje, konstruodamas mašinas bei

įrenginius.

Eukleides sukūrė geometrinės optikos pagrindus: remdamasis tiesiaieigio šviesos sklidimo, atspindžio, perspektyvos dėsniais, jis aprašė šešėlių susidarymą, spindulių atspindį nuo plokščiojo, iškilojo bei įgaubtojo veidrodžių ir kt. Vėliau Ptolemaios nustatė apytikrą spindulių lūžimo dėsnį, kuris galiojo tik mažiems kampams.

Ktesibius, Philon'as ir Heron'as išrado įvairių mechanizmų, naudojančių suspausto oro, garų bei skysčių savybes, bet daugelis, tarp jų ir eolipilas – garo turbinos prototipas, nebuvo pritaikyti praktikoje ir išliko tik kaip įdomių, išradingų žaislų pavyzdžiai.

Aleksandrijos mokslas buvo pralenkęs savo laiką fenomenas, išplėtotas Muziejuje dirbusių mokslininkų, esant labai palankioms jų kūrybos ir bendravimo sąlygoms, bet mažai susijęs su to meto visuomene bei jos reikmėmis. Tai buvo tarsi aukštas bokštas labai menkais pamatais, tad jis neatlaikė istorijos kataklizmų, ir naujojo mokslo kūrimas buvo pratęstas Europoje tik po daugelio amžių.

III. VIDURAMŽIŲ FIZIKA IR MOKSLO ATGIMIMAS

3.1. MOKSLO ESTAFETĘ PERIMA ARABAI IR PERDUODA EUROPIEČIAMS

Romėnai plėtojo kai kuriuos humanitarinius bei praktinius mokslus, sukūrė įspūdingų architektūros paminklų, bet jokių žymesnių atradimų gamtos mokslų srityje jie nepadarė. Buvo parengtos tik kelios gamtos žinių enciklopedijos.

IV a. pabaigoje susilpnėjusi Romos imperija suskilo į Vakarų ir Rytų imperijas, o netrukus V a. pradžioje Vakarų Romos imperiją užplūdo klajoklių gentys iš Azijos stepių – hunai ir alanai bei jų vejami vestgotai, vandalai ir kt. Ypač nuo jų nukentėjo miestai, kurie traukė barbarus savo turtais. 410 m. vestgotams užgrobus Romą, šis netoli milijono gyventojų turėjęs miestas virto beveik negyvenamais griuvėsiais.

Europoje susikūrė naujos valstybės, iš pradžių netgi be nuolatinių sostinių. Ne tik didikai, bet ir karaliai dažnai buvo neraštingi. Europos kultūra ir mokslas buvo nublokšti daugelį amžių atgal. V–XI amžiai Europos istorijoje vadinami tamsiaisiais amžiais. Jungiamoji grandis tarp Romos imperijos ir Viduramžių Europos – krikščionybė. Būtent vienuolynai tapo to meto kultūros židiniais: čia saugoti ir perrašinėti rankraščiai – ne tik religinio, bet ir pasaulietinio turinio, steigiamos mokyklos. Vis dėlto to meto mokslo žinios gana naivios, jos vėl siejamos ne tik su filosofija, bet ir su religija, pajungtos jos dogmoms („Visų mokslų viršūnė – teologija“). Žemė laikoma plokščia, dangus įsivaizduojamas kaip krištolinis gaubtas, besiremiantis į stulpus Žemės pakraščiuose ir pan.

Antikos kultūra ir mokslas iš dalies išliko Rytų Romos imperijoje – Bizantijoje (ją turkai osmanai galutinai nukariavo tik XV a.). Deja, VI a. čia, kaip pagoniškos, buvo uždarytos visos filosofijos mokyklos. Vėliau Rytų krikščionių požiūris į antikos kultūrą pasidarė pakantesnis, Aristoteles'o ir kai kurių kitų filosofų veikalai buvo žinomi ir komentuojami, bet mokslo raida Bizantijoje tarsi sustojo. Bažnyčiai gana griežtai reglamentuojant kultūrą ir įtariai žiūrint į naujoves, originalių idėjų skelbimas buvo pavojingas užsiėmimas.

VII a. pradžioje Arabijoje pranašas Mahometas sukūrė naują – islamo – religiją ir ėmė vienyti arabų gentis. Vadovaujant jo įpėdiniams kalifams, arabai per šimtmetį nukariavo Artimųjų Rytų šalis, Persiją, Šiaurės

Afriką, netgi Pirėnų pusiasalį ir įkūrė didžiulę imperiją. Iš pradžių arabai įtariai žiūrėjo į graikų kultūrą, bet netrukus susidomėjo ja ir palaipsniui perėmė jos pasiekimus. Kalifų nurodymu graikų mokslininkų kūriniai buvo verčiami į arabų kalbą, o Damaske ir Bagdade, sekant Aleksandrijos muziejumi, buvo įkurtos mokslo ir mokymo įstaigos. Mokslininkams pripažįstant pagrindines islamo tiesas, gamtamoksliniai tyrimai nebuvo varžomi. Mokslo pagrindų arabai laikė Aristoteles'o sistemą, bet jie vertino ir Archimedes'o, Eukleides'o, Heron'o darbus, vykdė konkrečius tyrimus. Arabų fizikos pasiekimai neprilygo Aleksandrijos mokslininkų atradimams, bet vis dėlto mechanikos ir ypač optikos srityse gauta naujų rezultatų.

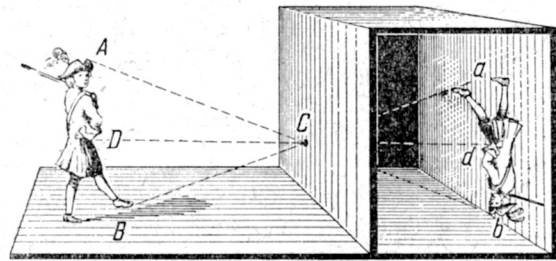
Žymiausias arabų optikas ibn al Haitam'as (965–1040), vėliau Europoje žinomas sulotynintu Alhazen'o vardu, gyveno ir dirbo Egipte. Jis atmetė akių spindulių hipotezę ir teigė, kad šviesą spinduliuoja arba ją atspindi patys matomi kūnai. Pagrindiniame Alhazen'o veikalė „Optikos lobynas“ minima tamsioji kamera, optinis prietaisas, kuris vėlyvaisiais viduramžiais plačiai paplito Europoje (lotyniškai vadintas *camera obscura*). Jį sudarė tamsi dėžė, kurios vienoje sienoje padaryta maža skylutė (3.1 pav.). Pro ją į vidų patenkantys šviesos spinduliai priešingoje sienoje sukuria apverstą daiktų, esančių priešais skylutę, vaizdą.

Alhazen'as teisingai aprašė akies sandarą. Jis teigė, kad nuo matomo kūno ateinantys spinduliai sudaro tarsi piramidę, kurios viršūnė yra akyje. Betgi Alhazen'as padarė neteisingą išvadą, kad vaizdas susidaro lęšiuke, o ne tinklainėje, nes čia jis, kaip ir tamsiojoje kameroje, turėtų būti apverstas. Tik J. Kepler'is vėliau suprato: vaizdas susidaro tinklainėje apverstas, bet žmogaus smegenys jį atverčia.

Alhazen'as rašė, kad stiklinio rutulio nuopjova, padėta plokščiuoju paviršiumi ant daikto, padidina jo vaizdą, deja, tos lęšio idėjos neišvystė.

Originaliausias arabų mechanikos veikalas – al-Khazini „Knyga apie išminties svarstyklės“, parašyta XII a. pradžioje. Joje pateikiami įvairių kietųjų kūnų ir skysčių tankiai (savitieji svoriai), nustatyti gana dideliu tikslumu. Al-Khazini pastebėjo, kad vandens tankis priklauso nuo temperatūros.

Arabų imperijai nusitęsęs ligi Indo ir Syrdarjos upių, arabai perėmė



3.1 pav. Tamsioji kamera (*camera obscura*) – fotoaparato prototipas, naudotas viduramžiais.

kai kurias mokslo žinias ir iš kinų bei indų. Šiose šalyse mokslas dar nebuvo atsiskyręs nuo religijos ir filosofijos, tai trukdė plėtoti atskiras jo šakas, vykdyti konkrečius sistemingus tyrimus. Kai kurie ankstyvi išradimai nepaskatino sparčios mokslo pažangos, Pietų Azijos civilizacijos tarsi užsisklendė savų idėjų rate. Iš kinų arabai perėmė kompasą, parako ir popieriaus išradimus, kuriuos vėliau perdavė europiečiams.

Arabų kalifate greta dvasinių mokyklų VIII–IX a. buvo kuriamos ir aukštosios pasaulietinės mokyklos – universitetai – Kordovoje (755 m.), Bagdade (795 m.), Kaire (972 m.) ir kitur. Pirėnų pusiasalio universitetuose mokėsi ir europiečiai, kurie čia susipažindavo su senaisiais graikų mokslininkų veikalais. Antai Kordovoje išsilavinimą gavo Gerbert'as, kuris vėliau tapo popiežiumi Silvestru II. Arabų pavyzdžiu universitetai buvo pradėti steigti ir Vakarų Europoje: Bolonijoje (1088 m.), Oksforde (1167 m.), Kembrižde (1209 m.), Paryžiuje (1215 m.) ir kt. Juose imta versti iš arabų kalbos graikų filosofų veikalus.

3.2. VIDURAMŽIŲ FIZIKA VAKARŲ EUROPOJE

XIII a. Vakarų Europos universitetuose iš naujo atrandami antikos mokslininkų veikalai. Didesnį susidomėjimą sukėlė filosofiniai kūriniai, ypač Aristoteles'o mokslo sistema, negu konkretūs atskirų mokslų rezultatai, gauti Aleksandrijoje. Viduramžių fizika prasidėjo nuo Aristoteles'o veikalų komentavimo, nuo diskusijų apie jo idėjas (lakoniškus ir daugiaprasmius Aristoteles'o tekstus gerokai painiojo vertimai iš netikslių arabų šaltinių). Žymiausieji to meto teologai Albertus Magnus ir Thomas Aquinas kritikavo Aristoteles'ą remdamiesi religiniais argumentais. Tik vėliau Aristoteles'o sistema palaipsniui buvo suderinta su krikščionybės dogmomis.

Domėjimąsi gamtos mokslais skatino ne tik pažintis su antikos idėjomis, bet ir technikos, amatų plitimas Europoje, intensyvus miestų augimas ir bažnyčių statybos, kryžiaus žygiai. Europos šalyse imta statyti vandens malūnus, pilyse ir miestų centruose pasirodo dar netobuli mechaniniai laikrodžiai. (Manoma, kad pirmąjį tokį svarsčiais varomą, dar neturintį švytuoklės laikrodį pagamino ir įtaisė Magdeburgo miesto bokšte apie 1000 m. jau minėtas Gerbert'as.) Kaip buvo rašyta, XII–XIII a. Europą pasiekė kompasas, parako ir popieriaus išradimai. Lėšį XIII a. išrado, matyt, nežinomas Europos amatininkas. (Tiesa, šis paprasčiausias optinis prietaisas galėjo būti atsitiktinai išrastas ir daug senesniais laikais, nes panašus objektas buvo rastas atliekant kasinėjimus senovinėje Asirijos sostinėje bei paminėtas viename Egipto papiruse.)

Vienas iš originaliausių to meto mokslininkų – pranciškonų vienuo-

lis Roger'is Bacon'as (1220–1292). Jis baigė Oksfordo universitetą, tačiau, skirtingai nuo daugelio savo kolegų, ieškojo tiesos ne tik religiniuose bei filosofiniuose veikaluose, bet ir tiesiogiai tyrinėdamas gamtos reiškinius. Pagrindinio jo veikalo „Opus majus“ („Didysis veikalas“) viena dalis pavadinta „Apie eksperimentinį mokslą“, kurioje R. Bacon'as aprašė tamsiąją kamerą, sferinį veidrodį (bei nustatė tokio veidrodžio židinį), lęšį, taip pat aiškino, tiesa, netiksliai, vaivorykštės susidarymą ir kt.

R. Bacon'as intuityviai numatė kai kuriuos ateities išradimus: „Galima pagaminti plaukymo priemonės, judančias be irkluotojų, upių ir jūrų laivus, kurie plauktų, valdomi vieno žmogaus. Taip pat galima padaryti vežimą be arklių, judantį nepaprastu greičiu, <...> galima sukurti skraidymo aparatus: žmogus, sėdintis aparato viduryje, tam tikros mašinos pagalba judina tarsi paukščio sparnus, <...> skaidrūs kūnai gali būti taip sudaryti, kad tolimi daiktai atrodytų priartinti, ir priešingai, kad neįsivaizduojamu atstumu skaitytume mažiausias raides ir skirtume smulčiausius daiktus, taip pat galėtume apžiūrinėti žvaigždes, kaip panorėtume.“ R. Bacon'as buvo apkaltintas magija ir burtais (nors jis pats prieš juos kovojo) ir ilgus metus praleido kalėjime.

Panašiu laiku kaip R. Bacon'as gyveno ir prancūzas Pierre'as de Maricourt'as, vadintas Peregrinus'u. Kompasso paplitimas ir susidomėjimas juo paskatino Peregrinus'ą aprašyti magneto savybes laiške savo draugui. Čia pasakojama, kaip nustatyti magneto polius tuo metu naudotiems apvaliems magnetams, įmagnetinti geležį, kaip magnetą perpjauti į du magnetus. Peregrinus pažymėjo, kad priešingi magneto poliai traukia vienas kitą, o vienodi poliai – stumia. Jo veikale aprašytas kompasas jau panašus į dabartinį (anksčiau buvo naudojama mažiau patogi magnetinė rodyklė, įtaisyta ant plūdės, plaukiojančios vandenyje). Peregrinus atmetė tuo metu paplitusį aiškinimą, kad kompasso rodyklę traukia arti Žemės Šiaurės ašigalio esantys dideli magnetito klodai; vietoj to jis pasiūlė miglotą hipotezę, kad magnetą veikia dangaus sfera. Laiškas plito nuorašais ir buvo išspausdintas tik XVI a. pabaigoje.

R. Bacon'as ir Peregrinus – išimtytys tarp viduramžių mokslininkų, kuriems būdingas abstraktus, spekuliatyvus problemų nagrinėjimas. Vis dėlto iš pradžių, kol Aristoteles dar netapo neginčijamu autoritetu, ir toks nagrinėjimas kartais buvo vaisingas. XIV a. svarbių rezultatų sprendžiant bendras mechaninio judėjimo problemas gavo Oksfordo ir Sorbonos (Paryžiaus) universitetų filosofai.

Oksfordo scholastas William'as Heytesbury savo traktate „Sofizmų sprendimo taisyklės“ jau mini greitį, kurį kūnas turi tam tikru laiko momentu, t. y. momentinį greitį, taip pat greičio prieaugį, t. y., dabartiniu supratimu, pagreitį. Oksforde vyko diskusija, pradėta dar arabų mokslininkų, apie galimy-

bę nagrinėti judėjimą dvejopu požiūriu: kartu su jį sukėlusia priežastimi ir judėjimą kaip tokį, domintis tik jo rezultatu. Taigi buvo išvelgta mechanikos skirstymo į dinamiką ir kinematiką galimybė.

Žymus Sorbonos universiteto filosofas Jean'as Buridan'as (1292–1363) savo traktate „Klausimai aštuonioms Aristoteles'o „Fizikos“ knygoms“ toliau plėtojo Philopponos'o iškeltą judėjimo galios sąvoką, pavadinęs ją lotynišku žodžiu *impetus*, reiškiančiu veržimąsi, spaudimą. Anot Buridan'o, „*impetus* yra įterpiamas judintojo į judantį kūną ir vykstant judėjimui jis mažėja, yra ardomas arba sulaikomas pasipriešinimo ar priešingos tendencijos“. Buridan'as nurodo, kad *impetus* veikia kūną tą pačia kryptimi, kaip ir judintojas. Pasitelkęs konkrečius pavyzdžius, Buridan'as prieina išvadą, kad *impetus* priklauso nuo kūnui suteikto greičio ir kūne esančio „materijos kiekio“. Taigi šioje sąvokoje galima išvelgti judėjimo kiekį, teisingiau, kokybinį, filosofinį jo analogą, nes nei *impetus*, nei materijos kiekis ar jėga dar neturėjo griežtų apibrėžimų ir nebuvo matuojami dydžiai. J. Buridan'o mokinys Albertus Saks'as judėjimą skirstė ne į natūralų ir priverstinį, kaip siūlė Aristoteles, o į slenkamąjį, sukamąjį, tolygųjį ir kintamąjį judėjimą, pastarojo atveju dar paminėdamas tolygiai kintamą judėjimą. Sukimuisi apibūdinti jis įvedė kampinio greičio sąvoką.

Šios viduramžių mokslininkų idėjos nebuvo pagrįstos bandymais ar matavimais, o tik loginiais samprotavimais ir kai kuriais kokybiniais stebėjimais. Vėliau, Aristoteles'ą pripažinus neklystančiu autoritetu, jo mokymui prieštaraujančios idėjos buvo atmestos ir pamirštos, tad Renesanso mokslininkams teko iš naujo atradinėti tuos pačius dalykus, bet jau remiantis bandymais.

Viduramžių mokslininkų ieškojimus varžė mokslo priklausomybė nuo teologijos, būtinumas derinti išvadas apie pasaulį ir gamtą su religijos teiginiais. Siekdamas mokslo savarankiškumo, Oksfordo filosofas William'as Ockham'as plėtojo dar arabų mokslininkų keltą idėją apie dvi galinčias skirtis tiesas – filosofinę tiesą, pažįstamą protu, ir religinę tiesą, suvokiamą tikėjimu. Tačiau popiežius kategoriškai pasmerkė šį mokymą, įsakė sudeginti filosofo raštus ir atskyrė jį nuo Bažnyčios.

Teologai, kai ką Aristoteles'o mokyme nutylėdami, o kai ką – išradingai interpretuodami, suderino jį su krikščionybe. XV a. Aristoteles tapo neginčijamu autoritetu, o jo mokslo sistema – pripažintu, oficialiuoju mokslu. Ji buvo vadinama netgi mokslo biblija, o Aristoteles – Kristaus pirmtaku gamtos karalystėje. Vienas iš Aristoteles'o komentatorių rašė: „Aristoteles'o mokymas – aukščiausia tiesa, nes jo intelektas – žmogaus intelekto viršūnė. Todėl teisingai sakoma, kad jis buvo sukurtas ir padovanotas mums Dievo

valia, idant mes žinotume viską, kas verta žinojimo.“

Taigi pagrindiniu mokslo tikslu tapo Aristoteles'o veikalų nagrinėjimas ir komentavimas. XV–XVI a. fizika virto grynai knyginis mokslas – scholastika, atitrūkusiu nuo praktikos mokslu. Aleksandrijos mokykla buvo perėmusi iš Aristoteles'o mokymo racionalias idėjas, o viduramžių fizika – metafizines, spekuliatyvias idėjas. Įsitvirtino Aristoteles'o išvada apie dangaus ir Žemės pasaulių skirtingumą. Jo iškelta „tuštumos baimės“ idėja tapo viena iš svarbiausių viduramžių fizikoje, ta baimė, vadinta lotyniškai *horror vacui*, buvo aiškinami įvairūs reiškiniai skysčiuose ir dujose. Absoliutinant formą, kaip vieną iš pagrindinių Aristoteles'o sąvokų, buvo teigiama, kad forma lemia įvairias kūnų savybes, pavyzdžiui, kūnų plūdrumą vandenyje. Mokslas virto filosofiniu žaidimu sąvokomis, kurios nebuvo griežtai apibrėžtos ir atitiko nematuojamus dydžius. O susidūrus su prieštaravimais, buvo siūlomos papildomos esmės ar substancijos.

Taigi Aristoteles'o sistema, antikos laikais buvusi genialiu mokslo proveržiu, vėlyvaisiais viduramžiais virto mokslo stabdžiu.

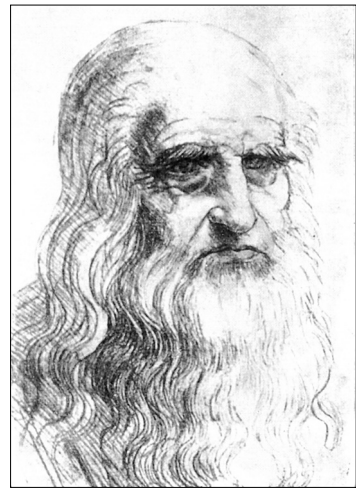
3.3. MOKSLO ATGIMIMO PRADININKAI

Besiplečianti gamyba ir prekybiniai ryšiai, miestų augimas, veiklios ir praktiškos buržuazijos klasės kilimas parengė sąlygas Vakarų Europos civilizacijai atsinaujinti. Kultūros atgimimas, arba Renesansas, prasidėjo XIV a. Italijoje, kuri tuo metu buvo viena iš labiausiai išsivysčiusių šalių, o XV–XVI a., skatinamas palankių veiksnių, išplito daugelyje Europos šalių. 1440 m. buvo išrastas knygų spausdinimas, kuris atvėrė naujas galimybes žinioms ir mokslui plisti. 1453 m. turkams užgrobus Konstantinopolį, į Pietų Europą plūstelėjo graikų pabėgėliai, tarp jų – menininkai ir mokslininkai, kurie sužadino naują domėjimosi antikos kultūra bangą. Prasidėjo didžiųjų geografinių atradimų laikotarpis: 1492 m. Christoforus Columbus atrado Ameriką, po kelerių metų Vasco da Gama – jūrų kelią į Indiją, o 1519–1522 m. Fernao Magalhaes atliko pirmąją kelionę aplink Žemę. Taigi įvyko tikrasis planetos atradimas, europiečius sužavėjo jos gamtos ir tautų įvairovė, o naujų žemių kolonizavimas suteikė naują stimulą prekybai ir gamybai. Šie visi pokyčiai, aišku, skatino ir mokslo atsinaujinimą. Technikos progresas, jūreivystė kėlė naujas fizikos problemas. Vis dėlto jos, kaip tiksliojo mokslo, vystymąsi lemia ne tik iškilusios problemos, bet ir jų sprendimo galimybės, susijusios su reikalingų prietaisų bei matematinių metodų egzistavimu. Be to, mokslas, ypač tais laikais, buvo daug silpniau susijęs su visuomene negu menas ar literatūra ir todėl lėčiau reaguodavo į jos pokyčius. Mokslines idėjas vertino siauras specialistų ratas, kuriame vyravo Aristoteles'o šalininkai. Tad viduramžių mokslas buvo

gana inertiškas, ir esminis jo atgimimas prasidėjo tik XVII a. Tuo tarpu XV–XVI a. tik pavieniai mokslininkai, nepaisydami persekiojimų ir Bažnyčios bei mokslo autoritetų pasmerkimo, drįso kritikuoti atgyvenusias pažiūras ir atkakliai ieškojo naujų mokslo kelių. Tokius žymiausius, pralenkusius savo laiką mokslininkus ir paminėsime šiame poskyryje.

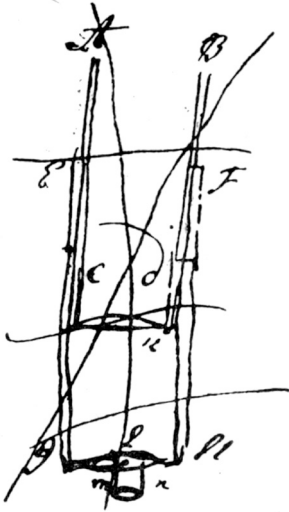
Nicolaus Cusanus (1401–1464, tikroji pavardė – Krebs) užėmė aukštą poziciją Katalikų Bažnyčios hierarchijoje – buvo kardinolas. Jo veikalai parašyti paniu scholastiniu stiliumi, bet juose greta bendrų samprotavimų keliamos mintys apie patyrimo ir net bandymų svarbą moksle, nurodomas būtinumas derinti įvairius metodus patikimoms žinioms gauti, siūlomi konkretūs fizikos eksperimentai (įvairių kūnų kritimo laiko matavimas naudojantis vandens laikrodžiu, oro drėgnio nustatymas jo aprašytu higrometru, magnetu traukos jėgos matavimas svarstyklėmis ir pan.). Ar jis pats mėgino atlikti panašius eksperimentus, Cusanus nerašo. Jis teigia, kad Žemė negali būti nejudančiu Visatos centru, nes judėjimas yra bendra kūnų savybė, o Visata yra begalinė, neturinti ypatingo centro. Tai Cusanus apibendrino kaip kosmologinę principą: gamtos dėsniai bet kurioje Visatos dalyje turi būti vienodi.

Leonardo da Vinci (1452–1519) – vienas iš Renesanso titanų, universalus genijus – menininkas, inžinierius, mokslininkas. Jo meno kūriniai buvo pripažinti ir įvertinti amžininkų, padarė didžiulę įtaką meno raidai, tačiau jo pasiūlytos techninės ir mokslinės idėjos buvo per ankstyvos, liko nesuprastos ir net užmirštos. Leonardo da Vinci, matydamas, kad jo mokslinė veikla lieka neįvertinta, jai skyrė mažiau laiko, tad neparašė nė vieno mokslo veikalo. Kylančias mintis ir idėjas jis užrašinėjo lakoniškai, pačiam sau, slaptaraščiu (kurį buvo galima perskaityti žiūrint į tekstą veidrodyje), tikėdamasis ateityje parašyti didelį sistemingą veikalą – žmogaus žinių enciklopediją. Deja, tas jo sumanymas liko neįgyvendintas. O po Leonardo da Vinci mirties jo rankraščiai buvo išgrobstyti ir išsklaidyti, dalis jų dingo. Išlikę užrašai buvo paskelbti tik XIX ir net XX a.

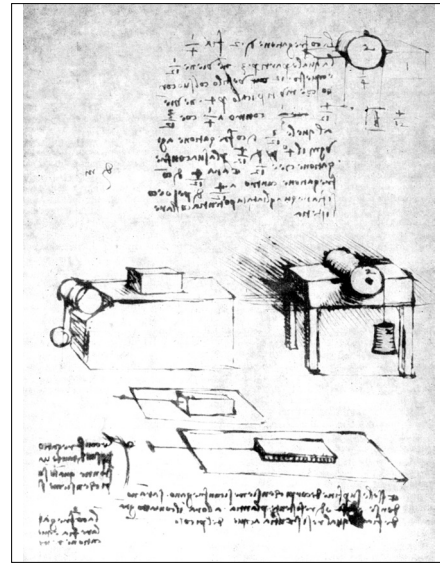


3.2 pav. Leonardo da Vinci.

Leonardo da Vinci numatė daugelį vėlesnių mūsų civilizacijos išradimų: povandeninį laivą, sraigtasparnį, parašiutą, tanką, aukštakrosnę, ekskavatorių, audimo bei valcavimo stakles, rutulinį guolį ir kt. Jo išradingumas tiesiog stulbina. Tiesa, esant tik lakoniškiems eskizams ir trumpiems ko-



3.3 pav. Leonardo da Vinci piešinys, kuris primena žiūrono schemą.



3.4 pav. Leonardo da Vinci rankraščio puslapis, kuriame aprašyti jo bandymai kūnų trinciai tirti.

mentarams „pačiam sau“, dažnai sunku suprasti, kiek subrandinta buvo mokslininko idėja. Antai vienas iš jo piešinių primena dviejų lęšių žiūroną (3.3 pav.), bet neaišku, ar tai tiktai vaizduotės polėkis, ar konkreti idėja (kodėl tuomet Leonardo pats nesukūrė šio paprasto prietaiso ir nepritaikė bent jau karinėms reikmėms?). Antra vertus, daugelio kitų jo išradimų dar negalėta techniškai įgyvendinti arba tuo metu nebuvo praktinio jų poreikio.

Leonardo da Vinci ne tik ne tik teigė, kad „žinojimas – bandymo dukra“, bet ir pats vykdė sistemingus stebėjimus ir bandymus. Antai jis atliko judančių kūnų trinties matavimus (3.4 pav.) ir nustatė dėsnį, jog trinties jėga yra tiesiogiai proporcinga kūno svoriui. Tiesa, jis manė, kad visų medžiagų trinties koeficientas lygus $1/4$ (tai tik apytikslė vidutinė reikšmė). Leonardo keletą metų atkakliai stengėsi sukurti amžinąjį variklį ir, matyt, pirmasis padarė aiškia išvadą, kad tai yra neįmanoma. Pastebėjęs, kad paukščio sparno viršus yra išlenktas labiau negu jo apačia, ir nustatęs, kad oro srauto didesniu greičiu aptekamas kūnas yra slegiamas mažiau, da Vinci paaikšino sparno keliamąją jėgą.

Jis taip pat tyrė kūnų smūgius, deformacijas ir pan. Atrasti bendresnius dėsnius jam kliudė dar nesuformuluotos pagrindinės fizikos sąvokos, prietaisų stoka (pagaliau turėjo įtakos tai, kad Leonardo da Vinci nebuvo baigęs sistemingų gamtos mokslų studijų). Štai kaip vaizdžiai, bet negriežtai jis apibūdino jėgą: „Jėga aš vadinu dvasinį gebėjimą, neregimą potencialą, kuri per atsitiktinę išorinę prievartą yra sukeliama judėjimo, patalpinama ir įsilie-

ja į kūnus, kurie yra išstumiami ir iškreipiami iš savo natūralios būties; jėga jiems suteikia nuostabios galios aktyvų gyvenimą, ji priverčia visus sukurtus daiktus keisti formą ir padėtį; ji įnirtingai siekia savo norimos žūties ir persiduoda priežasčių grandine. Lėtumas daro ją didelę, o greitis daro ją silpną. Prievara ją pagimdo, o laisvė pražudo, ir tuo greičiau, kuo ji pati didesnė. Įnirtingai veja ji viską, kas trukdo jos susinaikinimui: ji siekia nugalėti, pašalinti savo priežastį, papsipriešinimą jai ir laimėdama susinaikina pati.“

Da Vinci mene įžiūrimas mokslinis racionalumas, o jo mokslinėje kūryboje neretai pasireiškė meninis polėkis.

Mikolaj'us Kopernik'as (1473–1543) ir **Giordano Bruno** (1548–1600) – naujosios astronomijos kūrėjai, tačiau jų idėjos turėjo didelės įtakos ir fizikos raidai.

M. Kopernik'as daugiau kaip tris dešimtmečius plėtojo heliocentrinę sistemą ir ją išdėstė savo pagrindiniame veikalė „Apie dangaus sferų sukimąsi“ (1543 m.). Jis atskleidė, kad Žemės sukimasis aplink Saulę ir apie savo ašį paprastai paaiškina sudėtingą dangaus šviesulių judėjimą, mįslingas planetų trajektorijų kilpas (tiesa, jis manė, kad planetos juda aplink Saulę apskritimais). Kopernik'o sistema reiškė atsisakymą išskirtinės Žemės vietos, kartu ir žmogaus padėties Visatoje. Suprasdamas, kad šios esminės išvados prieštarauja Bažnyčios mokymui, Kopernik'as dėsė išleisti savo veikalą, ir šis pasirodė tik prieš pat autoriaus mirtį. Iš tikrųjų, paaiškėjus šio veikalo svarbai, inkvizicija jį įtraukė į draudžiamųjų knygų sąrašą, o vėliau jis buvo leistas spausdinti su kupiūromis.

Dominikonų vienuolis filosofas G. Bruno aktyviai propagavo Kopernik'o sistemą ir plėtojo naują pasaulio sampratą. Jis skelbė, kad Saulė yra eilinė žvaigždė, kad ir kitos žvaigždės turi planetas, kuriose egzistuoja gyvybė. Bruno spėjo, kad žvaigždės, tarp jų ir Saulė, sukasi apie savo ašį, kad Saulės sistemoje gali būti dar neatrastų planetų.

G. Bruno gyvenimas – tai ištisa klajonių ir persekiojimų grandinė. Suimtas inkvizicijos ir neatsisakęs savo pažiūrų, jis buvo gyvas sudegintas ant laužo.

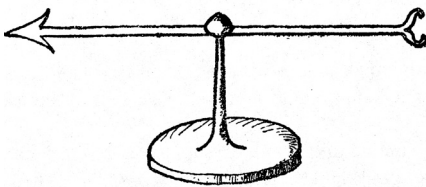
Francesco Maurolico (1494–1575) – italų kunigas, humanistas, rimtai domėjęsis matematika ir fizika. Gimė tėvų graikų, pabėgusių iš Konstantinopolio, šeimoje. Savo pirmtakų ir paties įgytas žinias iš optikos jis apibendrino nedideliame traktate „Pranešimas, nušviečiantis šviesą ir šešėlius“. Jame rašoma, kad šviesos spindulys, krintantis kampu į stiklo plokštelę lygiagrečiais paviršiais, pereina per ją pasislinkdamas, bet nekeisdamas savo krypties. Maurolico išskyrė septynias vaivorykštės spalvas (ligi tol buvo įžiūrimos tik trys), paaiškino tamsiosios kameros veikimą. Jis aprašė lęšių savybes: iškili lę-

šiai yra glaudžiamieji, o įgaubti – sklaidomieji. Maurolico paaiškino trumparegystės ir toliaregystės priežastį ir akinių veikimą. Deja, traktatas buvo išspausdintas tik po autoriaus mirties (1611 m.), t. y. po parašymo praėjus apie šešiasdešimt metų. Tad ligi šiol istorikai nesutaria, kokį poveikį Maurolico darbas turėjo optikos raidai, ar J. Kepler'is ir kiti XVI a. pabaigos optikai galėjo būti skaitę tą rankraštį, ar minėtus atradimus padarė iš naujo.

William'as Gilbert'as (1544–1603) buvo anglų karaliaus gydytojas, bet laisvalaikiu jis vykdė elektros ir magnetizmo bandymus ir demonstruodavo juos dvariškiams bei svečiams. Jis gerokai išplėtė žinias apie elektrinius ir magnetinius reiškinius ir yra laikomas sistemingo jų tyrimo pradininku. Pro-



3.5 pav. William Gilbert.

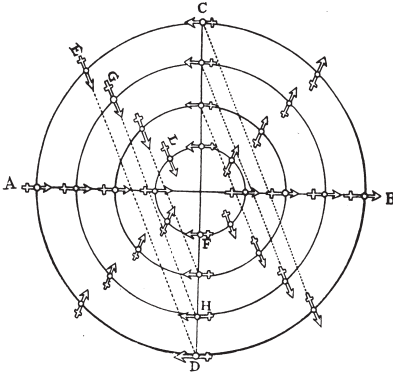


3.6 pav. W. Gilbert'o prietaisas elektringiems kūnams aptikti.

testantiškoje Anglijoje Gilbert'as nepatyrė persekiojimų, juolab kad Aristoteles savo veikaluose buvo tik užsiminęs apie šiuos reiškinius.

W. Gilbert'as nustatė, kad patrinto gintaro savybė traukti šiaudelius ir skiedreles nėra išskirtinė, ja pasižymi ir kitos medžiagos. Tokius kūnus, kurie patrinti traukia lengvus daiktus, Gilbert'as pavadino *elektringais kūnais* (gr. *elektron* – gintaras). Jiems aptikti jis sukonstravo paprastą prietaisą – elektroskopo prototipą – ant smaigalio besisukiojančią lengvą rodyklę (3.6 pav.). Tokiu būdu jis nustatė, kad ta gintaro savybė būdinga ir įvairiems brangakmeniams, kalnų kristolui, stiklui, skalūnui, sierai ir kitoms medžiagoms. Jos patrintos traukia metalo drožleles, lapelius, mažus akmenukus, žemės grumstelius, netgi vandens ir alyvos lašelius. Gilbert'as pastebėjo, kad pakaitinti liepsnoje ar sušlapinti kūnai praranda savo elektringumą.

Deja, Gilbert'as nesitenkino konkrečių eksperimentų apibendrinimu ir stengėsi spekuliatyviai paaiškinti elektringų kūnų prigimtį: jie esą kilę iš vandens, tad juos trinant išsiskiria vandens garai, kurie apsiveja gretimus daiktus ir



3.7 pav. Magnetinis Žemės modelis. Piešinys iš W. Gilbert'o veikalo „Apie magnetą“.

traukia juos prie savo šaltinio. Ši hipotezė vargu ar pranoksta senovės graikų aiškinimą (pateiktą Lucretius'o knygoje „Apie daiktų prigimtį“), kad trynimo metu prie gintaro išretėja oras, ten veržiasi aplinkinis oras ir traukia lengvus daiktus.

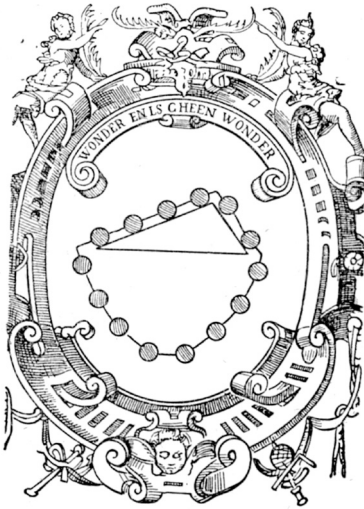
Dar daugiau bandymų W. Gilbert'as atliko tirdamas magnetus. Jis nustatė, kad magneto trauką sustiprina šalia esanti geležis, o kaitinamas magnetas netenka savo savybių; kad geležinė viela, padėta išilgai dienovidinio, kalama ir tempinama, įsimagnetina ir pan.

Gilbert'as ištekino iš magnetito „mažytę Žemę“ – planetos modelį ir, vedžiodamas jos paviršiumi magnetinę rodyklėlę, parodė, kad ši elgiasi taip pat kaip kompasas Žemės paviršiuje (3.7 pav.). Tuo remdamasis, jis padarė išvadą, kad Žemė yra didelis magnetas, o kompasas orientuojasi jos magnetinių polių kryptimis, paaiškino kompasų inklinacijos didėjimą artėjant link Žemės polių. Taigi Gilbert'as pirmą kartą įrodė, kad kosminiai reiškiniai gali būti sėkmingai modeliuojami, kaip ir mus supantys įprastiniai reiškiniai. Tolindamas rodyklę nuo „mažytės Žemės“, Gilbert'as nustatė, kad planeta turėtų būti apgaubta silpnėjančios „magnetinės galios“ sferos, primenančios atmosferą. Gilbert'o piešiniai, vaizduojantys magnetinės rodyklėlės padėtis aplink „mažytę Žemę“, buvo pirmasis žingsnis įžvelgiant magnetinio lauko linijas.

Tačiau mėgindamas įspėti magnetizmo prigimtį, W. Gilbert'as vėl, kaip ir aiškindamas elektrinius reiškinius, negalėjo pasiremti jokiais mokslo faktais ir pakartotojo naiviai Thales'o mintį, kad magnetas turi dvasią. Taigi, Gilbert'o požiūriu, elektriniai ir magnetiniai reiškiniai yra skirtingi, nesusiję tarpusavyje – šią nuomonę jis įtvirtino moksle iki XIX a.

Savo septyniolikos metų magnetizmo ir elektros tyrinėjimus, apie šešis šimtus atliktų bandymų, W. Gilbert'as apibendrino veikalė „Apie magnetą, magnetinius kūnus ir apie didelį magnetą – Žemę“ (1600 m.). Po to visą šimtmetį kiti mokslininkai nepadarė kokių nors svarbesnių šios srities atradimų, ir Gilbert'o veikalas buvo pagrindinis žinių šaltinis, pripažintas vadovas.

Simon'as Stevin'as (1548–1620) – Nyderlandų inžinierius, mechanikas ir matematikas. Dešimt metų jis keliavo po įvairias Europos šalis, vėliau dėstė Leideno universitete, tarnavo patarėju ir inžinieriumi pas grafą Mau-



3.8 pav. Vinjetė iš S. Stevin'o veikalo „Statikos pagrindai“.

rits'ą van Oranje. S. Stevin'as mokslininko pavyzdžiu laikė Archimedes'ą ir tęsė jo statikos bei hidrostatikos tyrinėjimus, taikydamas geometrinį metodą ir vykdydamas konkrečius bandymus.

S. Stevin'as nustatė, kokia jėga veikia kūną, esantį ant nuožulniosios plokštumos. Tegu ant trikampės prizmės yra užkabinta rutuliukų grandinė. Jeigu kūną, esantį ant nuožulniosios plokštumos, veiktu jėga, lygi jo svoriui, tai rutuliukai, gulintys ant ilgesnio prizmės krašto, turėtų nusverti mažesnį skaičių rutuliukų, esančių ant jos trumpesnio krašto. Tačiau grandinė yra pusiausvyroje, nes, anot S. Stevin'o, amžinasis variklis yra negalimas. Vadinasi, veikimas svorių, esančių ant vienodo aukščio, bet skirtingo nuolydžio

plokštumų, yra atvirkščiai proporcingas jų ilgiams. Jeigu įvestume jėgos terminą, kurio Stevin'as dar nevartojo (jis kalbėjo apie kūno veikimą), bendra Stevin'o išvada būtų tokia: jėga, veikianti kūną, padėtą ant nuožulniosios plokštumos, yra tiek kartų mažesnė už jo svorį, kiek kartų plokštumos aukštis mažesnis už jos ilgį. Šį rezultatą Stevin'as laikė tokiu svarbiu, kad grandinė, uždėta ant prizmės, buvo pavaizduota jo veikalo „Statikos principai“ tituliniam puslapyje su užrašu „Stebuklas, kuris nėra stebuklas“ (3.8 pav.). Stevin'as taip pat suformulavo jėgos skaidymo į dvi statmenas dedamąsias taisyklę (t. y. atskirą jėgų lygiagretinio atveį) ir įvedė jėgų (jo terminu – veikimo) vaizdavimą linijomis išilgai veikimo krypties.

S. Stevin'as taip pat nagrinėjo skysčių pusiausvyrą, teoriškai įrodė Archimedes'o hidrostatikos dėsnį, nustatė, kad skysčio slėgis nepriklauso nuo indo formos ir pateikė formulę jo slėgiui į šoninę indo sienelę apskaičiuoti.

Gyvendamas liberalumu garsėjusiuose Nyderlanduose, S. Stevin'as nepatyrė persekiojimų dėl savo naujoviškų mokslinių pažiūrų. Deja, veikalus jis spausdino olandų kalba, tad jo atradimai nepadarė didesnės įtakos mokslui ir vėliau juos nepriklausomai pakartojė G. Galilei ir kiti mokslininkai.

SANTRAUKA

Vakarų Romos imperiją V a. užplūdus barbarams, buvo sugriauta daugybė miestų, sudegintos bibliotekos, nutrūko antikinės kultūros ir mokslo tradicijos. Buvo perimta tik krikščionybė, dvasiniais centrais tapo vienuoly-

nai. Pasaulio samprata buvo nublokšta tūkstantmečiu atgal. Tačiau mokslo estafetę perėmė arabai, kurie išvertė į savo kalbą ir išsaugojo kai kuriuos antikos mokslo veikalus ir netgi pratęsė optinių bei mechaninių reiškinių tyrinėjimus. Arabai įsteigė pirmuosius universitetus, taip pat ir jų užkariautame Pirėnų pusiasalyje. Čia gavo išsilavinimą ir susipažino su antikos veikalais kai kurie europiečiai.

XII–XIII a. mokslo kilimui Vakarų Europoje jau buvo susidariusios palankios sąlygos – augo miestai, plito amatai ir prekyba. Europą pasiekė, irgi per arabus, kinų išradimai – kompasas, parakas, popierius. Italijoje, Prancūzijoje ir kitose šalyse pradėti steigti universitetai, kuriuose buvo verčiami ir studijuojami graikų filosofų kūriniai.

Vienas iš originaliausių XIII a. mokslininkų – R. Bacon’as, kuris nesisitenkino antikos veikalų komentavimu, bet ir pats vykdė bandymus, numatė kai kuriuos ateities išradimus.

Vis dėlto to meto gamtos mokslai dar nebuvo subrendę atsiskirti nuo filosofijos ir tęsti Aleksandrijos Bibliotekoje vykdytų konkrečių tyrinėjimų. Didžiulį įspūdį europiečiams padarė Aristoteles’o mokslo sistema, kuri tapo viduramžių mokslo pagrindu. Tiesa, XIII–XIV a. dar buvo galima ginčyti Aristoteles’o teiginius ir plėtoti savas originalias idėjas. Svarbiausiais gamtos mokslų centrais tuo metu tapo Oksfordo ir Sorbonos universitetai. Čia loginės analizės, o ne bandymų keliu buvo patikslinta judėjimo samprata, įvestos momentinio greičio bei pagreičio sąvokos (W. Heytesbury), išplėto-ta kūno judėjimą apibūdinančio dydžio – *impetus* – samprata (J. Buridan). Deja, vėliau tos originalios idėjos buvo užmirštos, Aristoteles’o mokymas pripažintas katalikų teologų ir paskelbtas neginčijama tiesa. XV–XVI a. oficialusis viduramžių mokslas virto Aristoteles’o veikalų komentavimu, grynai knyginis, atitrūkusiu nuo praktikos mokslu. Tuo metu Europos kultūroje ir mene vyko atsinaujinimas, kuris moksle vėlavo dėl jo uždarumo, silpnų ryšių su visuomene ir kt. Tik pavieniai mokslininkai kritikavo atgyvenusią pažiūrų sistemą ir ieškojo naujų mokslo kelių. Tokie nepripažinti amžininkų mokslo atgimimo pradininkai buvo Nicolaus Cusanus, siūlęs konkrečius fizikos eksperimentus ir įrodinęs, kad gamtos dėsniai bet kurioje Visatos dalyje turi būti vienodi, Leonardo da Vinci, tyręs kūnų trintį, smūgius, deformacijas, padaręs daug svarbių išradimų, kurie liko nerealizuoti, M. Kopernik’as ir G. Bruno, kurie plėtojo naują pasaulio sampratą, atsisakė Žemės ir net Saulės sistemos išskirtinumo. W. Gilbert’as pirmasis pradėjo nuoseklius elektrinių bei magnetinių reiškinių tyrimus, labai praplėtė tos srities žinias. S. Stevin’as, imdamas pavyzdžiu Archimedes’o darbus, išsprendė kūno, esančio ant nuožulniosios plokštumos, uždavinį bei įrodė skysčio slėgio nepriklausomumą nuo indo formos.

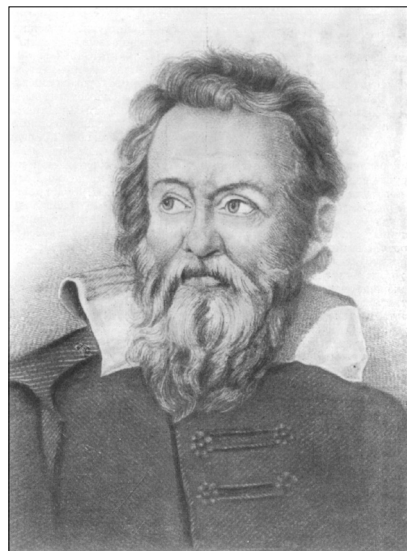
KLASIKINĖ FIZIKA

IV. G. GALILEI – KLASIKINĖS FIZIKOS PRADININKAS

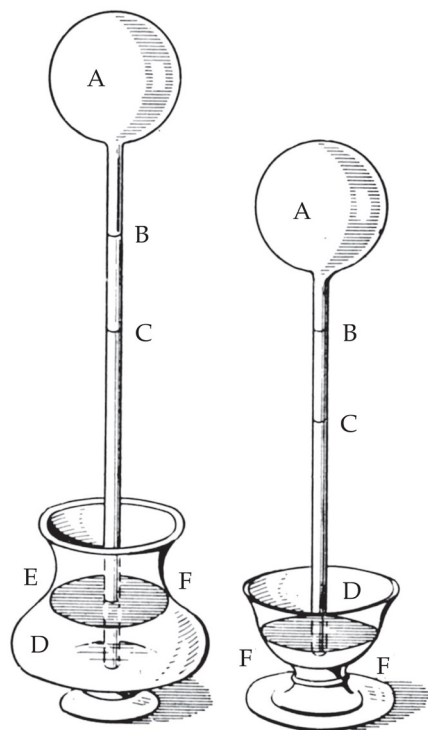
G. Galilei pirmasis iš naujųjų amžių fizikų ėmėsi nuosekliai tęsti Archimedes'o ir Eukleides'o tradiciją – kiekybiškai tirti reiškinius ir griežtai matematiškai juos aprašyti. Jis padarė esminių mechanikos ir astronomijos atradimų ir jais remdamasis įdiegė naują požiūrį į pasaulį ir fizikinius reiškinius. Jo išplėtotas tyrimų metodas ir atvertos naujos fizikos raidos perspektyvos lėmė šio mokslo atgimimo ir spartaus vystymosi pradžią. Tad Galilei pagrįstai laikomas klasikinės fizikos pradininku.

4.1. GYVENIMAS IR KOVA UŽ NAUJĄJĄ MOKSLĄ

Galileo Galilei gimė 1564 m. nedideliame Pizos mieste, priklausiusiame Toskanos hercogystei – vienai iš nepriklausomų valstybių, į kurias tuo metu buvo susiskaldžiusi Italija. Jo tėvas – kilmingas, bet neturtingas miestietis, žinomas muzikas ir kompozitorius. Vaikystėje Galileo mėgo meistrauti žaisliukus ir modelius, tačiau, vykdydamas tėvo norą, įstojo į Pizos universitetą studijuoti medicinos. Vis dėlto, susipažinęs su Eukleides'o ir Archimedes'o darbais ir jais susižavėjęs, Galilei metė mediciną ir ėmėsi savarankiškai studijuoti matematiką bei mechaniką. Pirmasis jo mokslo darbas apie kūnų svorio centrus atkreipė mokslininkų dėmesį, ir Galilei tapo matematikos dėstytoju Pizos universitete. Jis ėmė tikrinti bandymais, pavyzdžiui, mėtydamas rutulius nuo pasvirusio Pizos bokšto, Aristoteles'o mechanikos teiginius ir kritikuoti juos. Toks nepriklausomas jauno mokslininko elgesys sukėlė profesorių nepasitenkinimą, ir netrukus jam teko persikelti į Padujos universitetą. Čia jis praleido beveik dvidešimt kūrybingų metų.



4.1 pav. Galileo Galilei.



4.2 pav. G. Galilei termoskopai.

Padujoje Galilei tęsė kūnų judėjimo tyrimus; jis padarė išvadą, kad bendrus dėsnius galima nustatyti tik idealiajam judėjimui, kai nepaisoma aplinkos pasipriešinimo; tokiu būdu atrado kūnų laisvojo kritimo dėsnį.

G. Galilei interesų ratas buvo labai platus – jis domėjosi fizika, matematika, astronomija bei technika. Galilei bendravo su inžinieriais, ginklų arsenalo meistras, amatininkais ir mielai imdavosi spręsti praktines problemas. Savo namuose jis įsirengė mechanikos, o vėliau ir optikos dirbtuves, kur gamindavosi moksliniams tyrimams reikalingus prietaisus. Galilei sukūrė pirmąjį termoskopą (termometrą, dar neturintį skalės, 4.2 pav.). Jis sukonstravo mechaninį skaičiavimo prietaisą – proporciną – logaritminės liniuotės prototipą, kuris gana plačiai paplito Europoje. Vis dėlto žymiausias Galilei išradimas – dviejų lęšių žiūronas. Iš tikrųjų anksčiau už jį tokį prietaisą pagamino Nyderlandų meistras. Betgi kai 1609 m. žinia apie žiūroną pasiekė Galilei, jis nepriklausomai, loginių samprotavimų būdu pakartojo išradimą, o svarbiausia – pirmasis nukreipė žiūroną kaip teleskopą į dangų. Nors prietaisas didino tik apie 30 kartų, G. Galilei padarė keletą svarbių astronomijos atradimų. Jis įžiūrėjo, kad Mėnulis nėra tobulas rutulys, koks, pasak Aristotelės'o, turėtų būti dangaus kūnas, kad Žemės palydovo paviršiuje yra kalnų ir įdubų. Paukščių Tako juosta pasirodė esanti sudaryta iš daugybės silpnų žvaigždžių. O šalia Jupiterio Galilei atrado keturis jo palydovus – mažus mėnulių, tai liudijo Žemės ir vienos iš planetų panašumą. Suprasdamas šių atradimų reikšmę kovoje su scholastiniu mokslu, Galilei labai vaizdžiai ir įtaigiai aprašė savo stebėjimus knygelėje „Žvaigždžių pasiuntinys“. Ji sukėlė didelį ne tik mokslininkų, bet ir visuomenės susidomėjimą, netrukus buvo išversta į pagrindines Europos kalbas. Vėliau Galilei sukonstravo ir dviejų lęšių mikroskopą smulkiems daiktams stebėti (vėlgi, matyt, nepriklausomai pakartodamas Nyderlandų meistrų išradimą, padarytą keletu metų anksčiau).

1610 m. G. Galilei nutarė atsidėti moksliniams tyrimams ir priėmė Toskanos hercogo kvietimą tapti Pizos universiteto garbės profesoriumi (be

privalomo paskaitų skaitymo) ir dvaro filosofu. Augo Galilei šlovė, bet kartu stiprėjo nesutarimai su teologais bei scholastais. Nors jis, propaguodamas savo atradimus, vengė kategoriškų išvadų Kopernik'o sistemos naudai (jo teorija dar nebuvo uždrausta, nors laikoma netinkama), tačiau inkvizicija išvelgė kylantį pavojų Bažnyčios įteisintoms pažiūroms. 1616 m. Kopernik'o veikalas buvo įtrauktas į draudžiamųjų knygų sąrašą, o Galilei išpėtas mokymo apie Žemės judėjimą neskelbti jokia forma.

G. Galilei užsiėmė nuodugniais mechaninių reiškinų tyrimais, nustatė reliatyvumo principą ir inercijos dėsnį, bandymais paneigė Aristoteles'o šalininkų teiginį, kad kūno plūdrumas skystyje priklauso nuo jo formos. Tačiau Galilei neatsisakė ketinimo apibendrinti savo gautus įrodymus Kopernik'o sistemos naudai. Šešetą metų jis rašė veikalą „Dialogas apie dvi svarbiausias pasaulio sistemas – Ptolemaios'o ir Kopernik'o“. Siekdamas apeiti Bažnyčios draudimą, Galilei pasirinko pokalbio formą: trys asmenys – moks-

Dall'Indagine fatta Et osservazioni dell'altre massime della bell'aria del Pesece, e del Lunario si raccogli' la distanza dalla * dal centro della Terra più di 358. semid.

Altura Polari del Pesece. gr 11 54	Altezza della * 79. 56
del Lunario. gr. 39. 90	67. 30
Differenza dell'alt. Pol. 12 24	
12 24. Diff. dell'alt. della *	
12 24	
0. 2 Differenza di Paralleli	

Angolo B A D. gr. 12. 24 la metà del quale aggiunta a un retto di l'ang. B D F. gr. 96. 12 questo è la distanza dal centro della maggiore delle 2 elevazioni della * da l'ang. B C G. 106. 16. Il seno di questo ang. è 91996
 tang. B C G. 0 2 di questo il seno è 58.

La corda dell'arc BD. è 21602. di quali il semid. è 100000
 in relazione al semid. diam. AB
 Creasi la linea BC, la quale alla BD come il seno dell'ang.
 BDC. al seno dell'ang. BCD. cioè come 91996. a 58.

Diremo dunque per la regola aurea. Se quando la linea BD è 58. la BC. è 91996. quante la med.
 BD. fosse 21602. quanto sarebbe la d. BC. si deve moltiplicare 91996. per 21602. et il
 prodotto partir per 58. e di nuovo partire il
 quoziente per 100000. ma per far tutto in una
 sola operazione si partira il prodotto per il
 il moltiplicato di 100000 per 58. cioè per
 5800000. et secondo le 5. ult. figure che
 10000692 si partira il rest. 58. ne usi
 357 1/2 et tanti semid. et la linea BC. et le 2
 CB. BA saranno 358 1/2 et la CA. distanza
 dalla * dal centro ad sera meno di 358. semid.

58	91996.	21602	~
		21602	1
	19199		~
	575975		
	91996		
	191992		

30 | 2023706492
 3351
 43

4.3 pav. G. Galilei „Dialogas apie dvi svarbiausias pasaulio sistemas“ rankraščio puslapis.



4.4 pav. G. Galilei „Pokalbiai ir matematiniai įrodinėjimai apie dvi naujas mokslo šakas“ titulinis puslapis.

kaip užsispyrusio eretiko, pasmerkimas mirčiai (tokiu atveju sudeginant jo veikalus ir rankraščius), arba viešas erezijos išsižadėjimas ir gal net galimybė tęsti mokslinius tyrimus. Galilei buvo priverstas perskaityti oficialų išsižadėjimą; jis buvo nuteistas kalėti neapibrėžtam laikui, bet popiežius skirtą bausmę pakeitė namų areštu Arčetro kaime, netoli Florencijos, inkvizicijos priežiūroje.

G. Galilei išliko kūrybingas ligi senatvės. Nors jo regėjimas silpo, ir jis buvo izoliuotas nuo kitų mokslininkų ir net mokinių, Galilei užbaigė savo antrąjį pagrindinį veikalą, kurį rengė beveik visą gyvenimą – „Pokalbiai ir matematiniai įrodinėjimai apie dvi naujas mokslo šakas, susijusias su mechanika ir vietiniu judėjimu“. Rankraštis slapta buvo persiųstas į Nyderlandus ir čia išleistas 1638 m. Veikalas sudaro tarsi „Dialogo“ tęsinį – jis irgi parašytas tų pačių trijų veikėjų pokalbio forma, nors dėstymas yra sausesnis ir griežtesnis, o polemika – ne tokia gyva. Veikale Galilei sistemingai išdėstė savo padarytus mechanikos atradimus, pateikdamas bandymų rezultatus ir matematinis (geometrinius) įrodymus. Žemės judėjimas veikale,

lininkas Salviati, išreiškiantis Galilei pažiūras, smalsus, besidomintis mokslo naujovėmis Sagredo ir scholastas Simplicius, akiai ginantis Aristotelės'o mokymą, diskutuoja apie dangaus ir Žemės reiškinius, jų aiškinimą, remiantis tomis dviem sistemomis. Knyga parašyta labai vaizdžiai ir įtaigiai. Salviati įrodinėja, pasitelkdamas faktus, o Simplicius – autoritetų teiginius, tad pastarasis nusipelnė pašnekovų ironijos bei pašaipos. Vis dėlto galutines išvadas autorius palieka padaryti nuovokiam skaitytojui.

G. Galilei pavyko gauti leidimą spausdinti knygą, bet vos pasirodžiusi 1632 m., ji buvo pasmerkta jėzuitų ir scholastų. Popiežiaus nurodymu beveik septyniasdešimtmetis, sunkiai sergantis Galilei buvo iškvieštas į Romą, į inkvizicijos teismą. Jis mėgino ginti savo veikalą, bet jam buvo iškelta dilema: arba kankinimai ir jo,

aišku, nebuvo minimas, bet Galilei nustatyti judėjimo dėsniumai netiesiogiai neigė Kopernik'o priešininkų argumentus ir stiprino jo šalininkų teorines pozicijas. Dvi naujos pavadinime minimos mokslo šakos – tai dinamika ir medžiagų atsparumas, be to, veikale nagrinėjami kai kurie akustikos ir optikos klausimai. Medžiagų atsparumas domino Galilei savo praktiniais taikymais. Jis manė, kad medžiagos yra sudarytos iš begalinės daugybės mažų dalelių, bet stengėsi plačiau neliesti dar vienos pavojingos temos – atomų hipotezės.

Savo veikalo G. Galilei jau negalėjo matyti, nes 1637 m. visiškai apako. Jam buvo leista pasitelkti pagalbininkus, ir paskutiniaisiais gyvenimo metais Galilei tęsė mokslinius tyrimus, padedamas jaunų fizikų V. Viviani ir E. Torricelli.

G. Galilei mirė 1642 m. beveik septyniasdešimt aštuonerių metų.

4.2. FIZIKOS METODAS

Didžiulę G. Galilei įtaką fizikos raidai lėmė ne tik jo atradimai ir įtaigi jų propaganda, bet ir jo išplėtotas fizikos metodas, kurio esminiai bruožai nepakito ligi šiol. Aišku, Galilei turėjo nemažai pirmtakų, tarp jų Archimedes'ą, pradėjusį konkrečius fizikinius tyrimus ir ėmusį naudoti griežtą matematinį metodą, R. Bacon'ą ir Leonardo da Vinci, kurie, pranokdami savo laiką, pradėjo eksperimentinius gamtos tyrimus, W. Gilbert'ą, vyresnįjį G. Galilei amžininką, ėmusį modeliuoti fizikinius reiškinius ir naudoti paprasčiausią prietaisą. Vis dėlto būtent Galilei vainikavo metodo kūrimą, sujungė atskiras jo dalis į vieningą visumą. Kai kuriuos šio metodo bruožus jis aprašė nedideliame veikale „Prabuotojas“, o išsamiai pademonstravo, taikydamas metodą įvairioms fizikos problemoms spręsti. Taigi trumpai apžvelgsime Galilei požiūrį į fizikos tikslus ir metodą.

Anot jo, fizika plėtojama remiantis kiekybiniais bandymais ir stebėjimais, o ne išankstinėmis idėjomis ar intuityviu patyrimu. Pasaulį galima pažinti racionaliai, ir jo srityje, kurią įmanoma tirti prietaisais, vien tik mokslas, o ne religija ar filosofija, gali nustatyti tiesą. G. Galilei atsisakė begalinių svarstymų apie reiškinių prigimtį ir iškėlė tikslą visų pirma tirti pačius reiškinius. Tik atsakęs į klausimą *kaip?*, fizikas gali mėginti atsakyti į klausimą *kodėl?*

G. Galilei suprato, kad būtina įvesti tikslias sąvokas, atitinkančias eksperimentiškai matuojamus dydžius, pats įvedė kai kurias mechaninio judėjimo charakteristikas. Deja, pagrindinių fizikos sąvokų formavimas – ilgas ir sudėtingas procesas, tad Galilei pradėtas paieškas tęsė R. Descartes, C. Huygens'as, I. Newton'as ir kiti fizikai. Norint atlikti kiekybinius reiškinių tyrimus, reikalingi tikslūs prietaisai. Galilei pats konstravo tokius prietaisus ir juos plačiai naudojo fizikoje ir astronomijoje.

G. Galilei pirmasis aiškiai suvokė, kad bendri dėsniai aprašo tik ide-

aliuosius reiškinius ar objektus. Tiriant reiškinių, būtina išskirti svarbiausias savybes ir atsiriboti nuo neesminių savybių, t. y. sukurti idealųjį reiškinio modelį. Pavyzdžiui, kūnų laisvąjį kritimą reikia nagrinėti neatsižvelgiant į oro pasipriešinimą, kūnų judėjimą aprašyti nekreipiant dėmesio į trintį ir pan. Nustačius bendrą tokio idealiojo judėjimo dėsnį, po to galima nagrinėti ir antraeiles priežastis. Šis idealizacijos metodas tapo vienu iš pagrindinių euristinių fizikos principų.

Pasak G. Galilei, gamtos knyga „parašyta matematikos kalba, jos raides sudaro trikampiai, apskritimai ir kitos geometrinės figūros, kurių nenaudodamas žmogus negali suprasti gamtos: be jų – atsitiktinis klaidžiojimas tamsiame labirinte“. Kaip ir Archimedes, jis fizikoje naudojo geometrijos metodus, nes algebros metodai dar nebuvo pakankamai išvystyti.

Spręsdamas fizikos problemas, G. Galilei nustatė pagrindinius mokslinio tyrimo etapus. Iškilus problemai, fiziko uždavinys – sugalvoti eksperimentą, kuris leistų ištirti reiškinį. Eksperimentas kartojamas keletą kartų, taip sumažinama neesminių priežasčių įtaka ar jos visiškai išvengiama. Po to, kritiškai išnagrinėjus faktus ir pasitelkus intuiciją, iškeliama darbinė hipotezė (Galilei vartojo *aksiomos* terminą). Tolesnį tyrimo etapą Galilei vadino „matematinio plėtojimu“ – tai matematinis hipotezės formulavimas ir iš jos išplaukiančių naujų išvadų gavimas. Hipotezės teisingumas nustatomas jos išvadas patikrinus eksperimentais. Jeigu hipotezė pasitvirtina, ji virsta teorija, jeigu ne – grįžtama atgal ir vėl kartojami visi ar kai kurie tyrimo etapai. Būtent naujų išvadų gavimas ir eksperimentinis jų patikrinimas buvo svarbiausia Galilei metodinė naujovė – jo pirmtakai apsiribodavo žinomų faktų paaiškinimu.

G. Galilei savo veikaluose įrodė šio metodo efektyvumą, jis palaipsniui įsitvirtino fizikoje, užtikrino sparčią jos plėtrą, vykstančią jau keturis šimtmečius. Dabar mums Galilei metodo teiginiai atrodo akivaizdūs, netgi trivialūs, bet XVI a. antroje pusėje tai buvo revoliucingos naujovės.

Verta paminėti, kad tuo metu, kai G. Galilei praktiškai plėtojo naująjį mokslo metodą, jo amžininkas anglų filosofas Francis Bacon'as (1561–1626) teoriškai pagrindė žinių apibendrinimo būdą, leidžiantį pereiti nuo atskirų faktų prie bendrų išvadų (indukcijos metodas). Jis irgi skelbė idėjas apie bandymų ir praktinių taikymų svarbą gamtos moksluose bei naujų išvadų patikrinimą bandymais, tiesa, mažiau reikšmės teikė matematikos naudojimui. F. Bacon'o išvados buvo abstraktesnės, neparemtos konkrečiais jo paties moksliniais tyrimais ir turėjo daugiau įtakos filosofijos, o ne fizikos raidai.

Galilei metodą vėliau plėtojo ir turtino kiti žymūs fizikai, visų pirma, C. Huygens'as ir I. Newton'as.

4.3. G. GALILEI FIZIKOS ATRADIMAI

Mechanika. Reikšmingiausias yra G. Galilei indėlis į judėjimo mokslą – mechaniką, kuri nuo antikos laikų sudarė pagrindinę fizikos dalį.

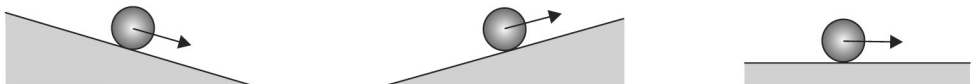
Remdamasis bandymais, o ne loginiais argumentais, kaip XIV a. filosofai, G. Galilei įvedė momentinio greičio ir pagreičio sąvokas. Momentinį greitį jis apibrėžė kaip tolygiai judančio kūno greitį nagrinėjamu momentu, dar nenaudojo nueitojo kelio ir judėjimo trukmės santykio ribos. Pagreitį jis vadino greičio prieaugiu, turėdamas galvoje greičio pokytį per tam tikrą laiko tarpą, t. y. greičio kitimo greitį. Galilei išskyrė tolygų judėjimą, kai kūnas „per lygius laiko tarpus nueina lygius atstumus“ ir tolygiai greitėjantį judėjimą, kai „per bet kuriuos lygius laiko tarpus įvyksta lygūs greičio prieaugiai“. Tie apibrėžimai nėra visai tikslūs, nes Galilei nenurodo judėjimo krypties.

Jėga – dar sudėtingesnė mechanikos sąvoka, tad G. Galilei nepateikė aiškaus jos apibrėžimo, kartais ją vartojo ir darbo bei energijos prasme. Medžiagos kiekį kūne jis dar apibūdino jo svoriu. Galbūt kai kurių griežtesnių apibrėžimų Galilei atsisakė sąmoningai, nes abu pagrindiniai jo veikalai buvo skirti ne tik mokslininkams, bet ir platesniam skaitytojų ratui.

Nagrinėdamas idealų judėjimą be trinties, G. Galilei nustatė inercijos dėsnį. Įdomus jo pateiktas šio dėsnio įrodymas (4.5 pav.). Leisdamasis žemyn nuo žulnia plokštuma, kūnas juda greitėdamas, kildamas aukšty – juda lėtėdamas, tad horizontaliu paviršiumi jis turi judėti pastoviu greičiu. Galilei nepateikė griežto šio dėsnio formulavimo, bet visais konkrečiais atvejais taikė jį teisingai.

Neigdamas Aristoteles'o šalininkų teiginį, kad Žemės judėjimas turėtų iškreipti įvairius jos paviršiuje stebimus reiškinius, G. Galilei suformulavo reliatyvumo principą. Pateiksime jo aprašymą, kaip vaizdaus ir aiškaus Galilei dėstymo pavyzdį:

„Atsiskirkite su kuriuo nors iš savo draugų erdvioje patalpoje po laivo deniu, pasiėmę su savimi musų, drugelių ir kitų panašių smulkių skraidančių vabzdžių; turėkite ir didelį indą su vandeniu ir jame plaukiojančiomis mažomis žuvytėmis; be to, aukštai pakabinkite kibirą, iš kurio vanduo lašėtų į apačioje pastatytą kitą – siaurakaklį indą. Kol laivas stovi nejudėdamas, atidžiai stebėkite, kaip



4.5 pav. Inercijos dėsnio įrodymas.

smulkūs skraidantys gyvūnai juda patalpoje tuo pačiu greičiu įvairiomis kryptimis; žuvis, kaip matysite, plaukioja vienodai visomis kryptimis; visi krintantys lašai pataikys į pastatytą indą ir jūs, mesdamas draugui kokį nors daiktą, neturėsite naudoti daugiau jėgos viena kryptimi negu kita, jei atstumai bus tie patys; ir jeigu jūs šokinėsite, atsisirdami abiem kojomis, tai nušoksite tą patį nuotolį bet kuria kryptimi. Atidžiai stebėkite visa tai, nors jums ir nekyla abejonių, kad kol laivas stovi nejudėdamas, viskas taip ir turi vykti. Po to tegu laivas ims plaukti bet koku greičiu ir, jeigu tik judėjimas vyks tolygiai ir laivas nesisups į šalis, jūs nepastebėsite nė mažiausio aprašytų reiškinių pokyčio ir nė vieną iš jų stebėdami jūs negalėsite nustatyti, juda laivas ar stovi vietoje <...>. Visų šių reiškinių vienodo vyksmo priežastis yra ta, kad visi laive esantys daiktai, netgi oras, juda laivo greičiu.“

Taigi G. Galilei priėjo išvadą, kad tolygiai judančioje sistemoje visi mechaniniai procesai vyksta taip pat, kaip ir parimusioje sistemoje.

G. Galilei teoriškai aprašė kai kuriuos svarbius kūnų judėjimo atvejus. Atlikdamas bandymus su krintančiais kūnais, jis padarė išvadą: „Jeigu visai nebūtų aplinkos pasipriešinimo, tai visi kūnai kristų vienodu greičiu.“ O tirdamas švytuoklių su švininiu ir kamštiniu rutuliais svyravimą, nustatė, kad vienodo ilgio švytuoklės svyruoja vienodu periodu.

To meto priemonėmis buvo neįmanoma išmatuoti kūno laisvojo kritimo greičio priklausomybės nuo laiko, bet G. Galilei sugalvojo originalų būdą kritimui sulėtinti. Jis suprato, kad nuožulniąja plokštuma žemyn riedantį kūną judėjimo kryptimi veikia tik dalis sunkio jėgos – tuo mažesnė, kuo mažesnis plokštumos su pagrindu sudaromas kampas. Naudodamasis nuožulniąja plokštuma, Galilei nustatė, kad laisvasis kritimas yra tolygiai greitėjantis ir kritimo greitis yra proporcingas kritimo trukmės kvadratui.

Viduramžiais būta įvairių spėliojimų, kokia trajektorija juda kamu į horizontą mestas kūnas, pavyzdžiui, iššautas patrankos sviedinys. G. Galilei paprastu būdu išsprendė šį uždavinį: jis padarė prielaidą, kad sviedinio judėjimas horizontalia ir vertikalia kryptimis vyksta nepriklausomai ir įrodė, kad, nesant oro pasipriešinimo, kūno trajektorija yra parabolė. Kartu jis atrado poslinkių sudėties ir jėgų veikimo nepriklausomumo principą.

G. Galilei nustatė ir matematinės švytuoklės izochroniškumo dėsnį: esant mažiems svyravimams, jos periodas nepriklauso nuo amplitudės, o priklauso tik nuo švytuoklės ilgio. Jos svyravimo pastovumą jis siūlė pritaikyti švytuokliniame laikrodyje.

G. Galilei ir M. Mersenne'o akustiniai tyrimai. G. Galilei ir jo amžininkas prancūzas Marin'as Mersenne'as (1588–1648) buvo fizikinės akustikos pradininkai. M. Mersenne'o veikalas „Universalioji harmonija“ pasirodė dvejis metais anksčiau negu G. Galilei „Pokalbiai“, bet Mersenne'as patyrė stiprią Galilei įtaką, jie reguliariai susirašinėjo ir aptarinėjo gautus re-

zultatus. G. Galilei ir M. Mersenne'as susiejo garso aukštį su jį skleidžiančio kūno virpesių dažniu, o garso intensyvumą – su virpesių amplitude, taip pat jie teigė, kad garsas yra ore sklindančios bangos. M. Mersenne'as išmatavo garso greitį ore, nustatė stygos virpesių dažnio priklausomybę nuo jos ilgio, svorio (masės) ir įtempimo. Galilei paneigė įsigalėjusią nuomonę, kad grynas oras yra besvoris, ir net keliais būdais nustatė oro savitąjį svorį.

Optika ir atomizmas. G. Galilei gautų rezultatų iš optikos nedaug, tačiau teleskopo išradimas ir juo padaryti astronomijos atradimai sukėlė didelį susidomėjimą optiniais prietaisais ir labai paspartino optikos raidą.

Galilei amžininkas J. Kepler'is įvedė lęšio židinio sąvoką ir užrašė lęšio formulę, nuosekliai paaiškino vaizdo susidarymą akyje.

G. Galilei pirmasis pasiūlė bandymą šviesos greičiui išmatuoti. Naktį du žmonės su žibintais atsistoja tam tikru atstumu. Vienas iš jų atidengia žibintą, tai pastebėjęs antrasis žmogus atidengia savąjį žibintą. Pirmasis stebėtojas nustato laiko tarpą, per kurį pasiūstas šviesos signalas sugrįžo atgal. Deja, Galilei bandymas nebuvo sėkmingas, nes laikas, per kurį šviesa nusklinda kelių kilometrų atstumą, yra daug mažesnis negu žmogaus reakcijos laikas.

G. Galilei pripažino mažiausių dalelių – atomų – egzistavimą, nors nemėgino įspėti jų nestebimų savybių. Jis dar neatsisakė „tuštumos baimės“ idėjos ir manė, kad būtent mažos tuštumos, esančios tarp atomų, jungia juos tarpusavyje. Taigi medžiagų atsparumą Galilei aiškino mažų tuštumų pasipriešinimu siekiant jas padidinti.

G. Galilei siejo šilumą su dalelių judėjimu, tačiau, jo nuomone, juda ne paties kūno, o į jį įsiskverbusios ugnies dalelės. Originalesnę hipotezę kėlė jo amžininkas F. Bacon'as, teigęs, kad šiluma yra ne kas kita, kaip pačios medžiagos dalelių judėjimas.

Šviesą G. Galilei laikė liepsnos atmaina, nes sukoncentruota šviesa gali įžiebtį ugnį. Taigi, jo įsitikinimu, šviesą sudaro dalelių srautas.

Kaip matome, Galilei siekė įvairius fizikinius reiškinius aiškinti kūnų judėjimu – jis buvo mechanistinio gamtos aiškinimo pradininkas.

SANTRAUKA

G. Galilei atradimai, jo išplėtotas fizikos metodas ir aktyvi kova už naująjį mokslą lėmė esminį posūkį fizikos raidoje, klasikinės fizikos pradžią.

Remdamasis eksperimentais pagrįsta judėjimo analize, G. Galilei įvedė momentinio greičio ir pagreičio sąvokas, apibrėžė tolygųjį ir tolygiai kintamą judėjimą. Jis atrado reliatyvumo principą mechaniniam judėjimui ir inercijos dėsnį, tiesa, juos suformulavo ne visai griežta forma. Galilei nustatė kūno laisvojo kritimo, kampu į horizontą mesto kūno judėjimo ir švytuoklės

dėsnius. Jis suprato tikslų matavimų svarbą gamtos moksluose ir sukonstravo nemažai įvairių prietaisų, tarp jų termoskopą, proporcingą, teleskopą ir mikroskopą.

Savo darbuose G. Galilei išplėtojo fizikos metodą. Jis atsisakė praktiškai neįgyvendinamo tikslo iš karto atskleisti reiškinio priežastis ir siekė iš pradžių atsakyti į klausimą *kaip?* ir tik po to *kodėl?* G. Galilei pirmasis suprato būtinumą išskirti pagrindines reiškinio priežastis ar savybes, nes bendri dėsniai aprašo tik idealius, o ne realius atvejus. Jis įžvelgė pagrindinius fizikos metodo etapus – tirti reiškinį kartojant eksperimentą keletą kartų, iškelti darbinę hipotezę, ją aprašyti matematiškai ir iš jos gauti naujas išvadas, kurios būtų patikrintos eksperimentais (ligi Galilei būdavo apsiribojama tik žinomų faktų paaiškinimu).

G. Galilei labai įtaigiai ir vaizdžiai propagavo naujus fizikos ir astronomijos atradimus, atkakliai kovojo prieš scholastinį mokslą, už Kopernik'o sistemos pripažinimą. Jo knygos „Žvaigždžių pasiuntinys“, „Dialogas apie dvi svarbiausias pasaulio sistemas“ ir „Pokalbiai ir matematiniai įrodinėjimai apie dvi naujas mokslo šakas“ suvaidino ypatingą vaidmenį formuojant klasikinę fiziką ir jai laimint kovoje su pasenusiomis pažiūromis.

G. Galilei dar nesukūrė naujos fizikos sistemos, bet jo atradimai kartu su vėlesniais, nemaža dalimi jo idėjų paskatintais fizikos atradimais, parengė sąlygas apibendrinantiems darbams.

V. FIZIKA NUO GALILEI IKI NEWTON'Ų

5.1. MOKSLO YPATUMAI IR RAIDOS SĄLYGOS

Pirmosios mokslų akademijos ir mokslo žurnalai. Mokslo atgimimas prasidėjo nuo gamtos mokslų – geografijos, biologijos, medicinos, astronomijos, kur buvo sukaupia daugiausia naujų žinių, prieštaraujančių pasenusioms pažiūroms, be to, šių mokslų raida buvo glaudžiau susijusi su sparčiai augančiais praktiniais visuomenės poreikiais. Nuo Galilei laikų gamtos mokslų lydere tapo fizika, kurioje dėl jos objektų paprastumo pirmiausia imta naudoti griežtus tyrimo ir rezultatų apibendrinimo metodus. Fizika tapo tiksliojo mokslo pavyzdžiu ir lyderio pozicijoje įsitvirtino ilgam laikui – iki XX a. antros pusės.

Mokslo, kaip ir kultūros, atgimimas prasidėjo Italijoje, betgi nuo XVII a. vidurio pagrindiniais mokslo šalimis tapo Prancūzija, Anglija, Vokietija ir Nyderlandai. Mokslas į šiaurę plito kartu su pramone ir prekyba. Tose šalyse įsigalint protestantizmui, mokslas buvo mažiau varžomas Bažnyčios. Antra vertus, Italijoje išliko labai stipri popiežiaus ir inkvizicijos įtaka. Prie mokslo nuosmukio šioje šalyje prisidėjo G. Bruno ir G. Galilei teismai ir pastarojo – žymiausio to meto mokslininko – izoliavimas.

Stiprėjant kapitalistinei gamybai, visuomenėje vis labiau reišėsi praktiškumas. Mokslui irgi imta kelti naudos reikalavimą, pageidauta, kad jis spręstų iškilusias praktines problemas ir teoriškai pagrįstų technikos išradimus.

Kiekybinis įvertinimas tapo būdingu praktinės veiklos bruožu. Daugelis mokslininkų konstravo prietaisus tiek moksliniam, tiek taikomiesiems matavimams: laikrodžius, chronometrų, barometrų, termometrų, jautrias svarstyklės. Prasidėjo eksperimentinio mokslo laikotarpis – nuo spekuliatyvių įrodinėjimų persimesta į kitą priešybę – į matavimus, atsisakant reiškinų priežasčių nagrinėjimo. Tuo metu teorijos plėtrą stabdė nepakankamai išvystyti matematikos, ypač algebros, metodai, griežtų sąvokų stoka. Sparti teorinės fizikos raida prasidėjo tik nuo I. Newton'o darbų.

Tiesą sakant, tuo pereinamuoju laikotarpiu fizikai dar būdingi tiek naujojo, tiek senojo mokslo bruožai, fizika tebevadinama gamtos filosofija ir kartais pasitelkiami ne tik filosofiniai, bet ir teologiniai argumentai.

Universitetuose tvirtas pozicijas turėjo scholastinis mokslas, tad naujojo mokslo šalininkai ėmė burtis į bendrijas, vadinamas mokslų akademi-

jomis. Glaudesnį mokslininkų bendradarbiavimą skatino ir eksperimentiniai tyrimai, kuriems reikėjo daugiau lėšų ir kolektyvinių pastangų.

Pirmosios mokslų akademijos irgi atsirado Italijoje. Jų pirmtakę „Gamtos paslapčių akademiją“ 1560 m. Neapolyje įkūrė mokslininkas mėgėjas, mokslo paslapčių tyrinėtojas Giovanni Battista Porta (1536–1615). Tai buvo draugų būrelis, kuris rinkdavosi jo namuose ir svarstydavo ne tik mokslo, bet ir alchemijos bei magijos klausimus. Bažnyčios vyresnybės įspėtas, Porta netrukus turėjo paleisti tą būrelį.

1603 m. aštuoniolikmetis kunigaikštis F. Cesi su trimis savo draugais Romoje įsteigė „Lūšiaakių akademiją“ (*Accademia dei Lincei*). Jie diskutuodavo gamtos mokslų klausimais, darė kai kuriuos bandymus, bet, apkaltinti bendravimu su velniu, turėjo palikti miestą. Po kelerių metų akademija buvo atgaivinta, į ją priimtas G. Galilei, kartu su juo vykdyti astronominiai stebėjimai. Vėliau Bažnyčiai apkaltinus Galilei Kopernik'o idėjų skleidimu, akademijos nariai mėgino jį ginti, bet patys susilaukė persekiojimų. Galutinai akademija nustojo egzistavusi po ankstyvos F. Cesi mirties 1630 m.

1657 m. Florencijoje grupė G. Galilei mokinių ir bendraminčių (G. Borelli, V. Viviani ir kt.) įkūrė „Bandymų akademiją“ (*Accademia del Cimento*). Jie kėlė sau tikslą atlikti kuo tikslesnius ir patikimesnius bandymus, nesiekiant teorinės jų interpretacijos, taip pat skleisti mokslo žinias visuomenėje. Bandymų rezultatai buvo laikomi kolektyviniais akademijos pasiekimais, nenurodant atradėjų pavardžių. Rezultatai nebuvo spausdinami, bet pranešami kitiems mokslininkams laiškais; tik po akademijos uždarymo jos mokslinis sekretorius L. Magalotti svarbesnius akademijos darbus aprašė veikalė „Bandymų akademijos gamtamokslinės veiklos apybraižos“ (1666 m.), kuris sulaukė daugelio leidimų bei vertimų ir buvo vadinamas eksperimentinės fizikos vadovu.

„Bandymų akademijos“ nariai patobulino Galilei termoskopą, pridėjo jam skalę ir sukūrė garsiuosius Florencijos termometrus. Buvo atlikti pirmieji sistemingi kūnų šiluminio plėtimosi tyrimai, nustatyta, kad skysčiai plečiasi labiau negu kietieji kūnai ir kad įvairių medžiagų šiluminė talpa yra nevienoda. Akademijos nariai nuolat vykdė meteorologinius stebėjimus, tyrė skysčių kietėjimą, magnetinius, elektrinius, garso ir kitus reiškinius. „Bandymų akademijos“ užsienio nariai buvo R. Boyle'is, H. Oldenburg'as ir kiti žinomi anglų ir prancūzų mokslininkai. „Bandymų akademija“ galėjo veikti tik remiama įtakingo globėjo kunigaikščio L. Medici. Jam panorus tapti kardinolu, popiežius iškėlė sąlygą paleisti akademiją, ir 1667 m. ji nustojo veikusi.

1660 m. Anglijoje, susijungus dviem naujojo mokslo entuziastų grupėms, veikusioms Londone ir Oksforde, buvo įkurta „Kolegija fizikos ir

matematikos eksperimentinėms žinioms plėtoti“. Po trejų metų ji buvo oficialiai pripažinta karaliaus ir pervadinta „Londono karališkąja draugija gamtos mokslų žinioms plėtoti“. Jos devizas buvo: „Nullius in verba“ („Nieko žodžiais“) (5.1 pav.). Karališkoji draugija įsirengė puikią laboratoriją ir įsteigė mokamą eksperimentų kuratoriaus etatą; į tas pareigas buvo paskirtas veiklus fizikas R. Hooke'as. Jis kartu su R. Boyle'iu tapo pagrindiniais idėjų generatoriais draugijoje. Be to, svarbų vaidmenį joje vaidino ilgametis draugijos sekretorius H. Oldenburg'as, jis laiškais palaikė glaudžius draugijos ryšius su daugeliu žymiausių Europos mokslininkų. Svarbiausi laišakai buvo skaitomi draugijos taryboje ir joje tvirtinami. Prieš atsirandant mokslo žurnalams, būtent laišakai buvo pagrindinis greitos informacijos apie naujus atradimus šaltinis. Dažnai laiškus skaitydavo ne tik gavėjas, jo kopijos būdavo perduodamos ir kitiems mokslininkams.

XVII a. viduryje porą dešimtmečių ypatingą informacijos centro vaidmenį atliko prancūzų mokslininkas M. Mersenne'as (5.2 pav.). Šis pranciškonų vienuolis susirašinėjo net su keliais šimtais Europos mokslininkų, skleidė žinias apie naujus atradimus, gerai žinodamas, ką jie labiausiai gali sudominti, diskutavo, kėlė naujas problemas, stengėsi įtraukti į jų sprendimą talentingus jaunuolius. Nors jo paties tiesioginis indėlis į mokslą nebuvo itin didelis, Mersenne'as labai daug prisidėjo prie naujojo mokslo įtvirtinimo. Būtent Mersenne'o bendraminčiai, kurie būrėsi Paryžiuje apie jį, sudarė branduolį po jo mirties įsteigtos (1666 m.) Paryžiaus mokslų akademijos. Jos nariams buvo įsakmiai nurodyta nekalbėti „posėdžiuose nei apie religijos paslaptis, nei apie valstybės reikalus. Ir jeigu kada bus kalbama apie



5.1 pav. Londono karališkosios draugijos herbas.



5.2 pav. Marin Mersenne. XVII a. jis Europos moksle atliko informacijos centro vaidmenį.

metafiziką, moralę, istoriją arba gramatiką, tegu ir prabėgomis, tai ne daugiau, negu tatau siejasi su fizika ir žmonių santykiais.“ Paryžiaus akademija buvo įkurta išvalgaus ministro J. Colbert'o iniciatyva. Tarp pirmųjų 21 jos nario matome jauną, bet jau garsėjantį C. Huygens'ą.

XVII a. pabaigoje mokslų akademijos susikūrė daugelyje Vakarų Europos šalių.

Spartėjant mokslo raidai, visuomenei vis labiau domintis jo atradimais, 1665 m. buvo pradėti leisti pirmieji mokslo žurnalai: „Journal des Sçavants“ („Mokslininkų žurnalas“) Paryžiuje ir „Philosophical Transactions“ („Filosofijos darbai“) Londone. „Journal des Sçavants“ įsteigė parlamento patarėjas Deni de Sallo, domėjęsis mokslo pasiekimais,

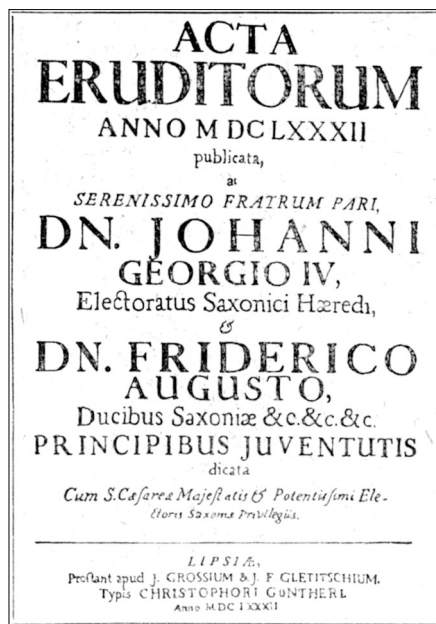
bet pats tyrimų nevykdęs; oficialiai žurnalo leidėju buvo nurodomas vienas Sallo tarnautojas. Žurnale buvo spausdinami pranešimai apie naujas knygas, atradimus ir išradimus, taip pat apie įdomius gamtos reiškinius, kometas, išsigimėlius ir kitokias keistenybes. Taigi žurnalas buvo skirtas ne tik mokslininkams, bet ir išsilavinusiai visuomenei; jis leistas prancūzų kalba.

„Philosophical Transactions“ leido Londono karališkoji draugija, bet ir jame greta pranešimų apie jos narių ir užsienio mokslininkų rezultatus nemažai buvo rašoma apie technikos naujoves, jūreivystės bei kalnakasybos problemas, pateikiami patarimai amatininkams ir žemdirbiams. Tik vėliau palaipsniui šis žurnalas tapo akademinio leidiniu ir išliko iki dabar.

1682 m. Leipcige buvo pradėtas leisti pirmasis mokslo žurnalas tarptautine lotynų kalba, skirtas tik mokslininkams – „Acta Eruditorum“ („Mokslininkų darbai“). Jame buvo spausdinami ne tik moksliniai straipsniai, bet ir knygų bei straipsnių kituose žurnaluose recenzijos. Žurnalas apėmė visas mokslo sritis ir buvo leidžiamas šimtą metų.

5.2. R. DESCARTES IR JO MOKSLO SISTEMA

Žymus filosofas, fizikas ir matematikas René Descartes (1596–1650) gimė trimis dešimtmečiais vėliau negu G. Galilei, bet lyginant jų darbus susidaro įspūdis, kad R. Descartes gyveno anksčiau – jis tęsė graikų gamtos fi-

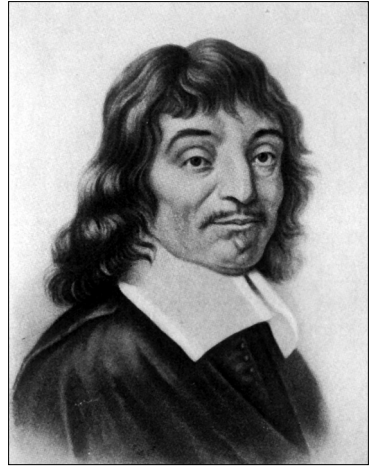


5.3 pav. Žurnalo „Acta Eruditorum“ viršelis.

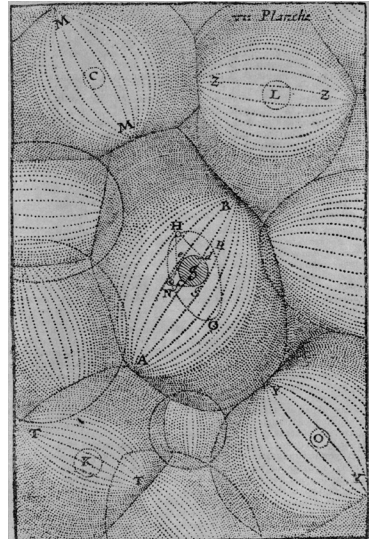
losofijos tradiciją, tačiau iš esmės atnaujino ją. R. Descartes sukūrė paskutinę bendrą gamtos filosofijos sistemą, kuri suvaidino svarbų vaidmenį įveikiant scholastinį mokslą.

R. Descartes gimė Prancūzijos provincijos miestelyje, kilmingoje šeimoje. Mokėsi garsioje jėzuitų kolegijoje, vėliau atsidavė nerūpestingam aukštuomenės gyvenimui, savo noru įstojo į kariuomenę, beveik dešimtį metų klajojo po įvairias Europos šalis. Tačiau visą tą laiką jis nepaliovė galvojęs apie filosofijos ir matematikos problemas. R. Descartes suformulavo savo filosofinės sistemos pagrindinę idėją: reikia išprotauti pradinius, bendriausius principus ir, naudojantis griežtai apibrėžtomis taisyklėmis, kaip matematikoje, gauti abejonių nekeliančius rezultatus. Descartes išplėtojo antrąjį pagrindinį pažinimo metodą – dedukciją (išvadų gavimas iš prielaidų naudojantis logikos dėsniais).

Atsiskyręs nuo draugų ir pažįstamų, Nyderlanduose R. Descartes parašė savo pagrindinį veikalą „Pasaulis“. Deja, sužinojęs apie Galilei pasmerkimą ir įkalinimą, Descartes nutarė veikalo nespausdinti, nors protestantiškoje šalyje jam inkvizicijos persekiojimas negrėsė. Po kelerių metų Descartes išleido perrašytą to veikalo dalį, pavadintą „Samprotavimas apie metodą, kaip tinkamai nukreipti savo protą ir surasti mokslo tiesą. Be to, Dioptrika, Meteorai ir Geometrija, kurie sudaro šio metodo taikymus“ (1637 m.). „Dioptrikoje“ buvo išdėstyta šviesos teorija, pateiktas šviesos lūžimo dėsnio įrodymas ir vaivorykštės susidarymo paaiškinimas. „Geometrijoje“ pirmą kartą įvestos kintamojo dydžio ir funkcijos sąvokos, algebros metodai pritaikyti geometrijoje ir suformuluoti analizinės geometrijos pagrindai. Kitame veikle „Filosofijos principai“ (1644 m.) buvo išdėstytas mokymas apie materiją ir judėjimą, suformuluotas inercijos dėsnis, įvesta judėjimo kiekio sąvoka, pateiktos hipotezės apie Visatos ir Žemės kilmę bei raidą.



5.4 pav. René Descartes.



5.5 pav. Eterio sūkuriai, kuriais R. Descartes aiškino įvairius gamtos reiškinius.

Tie veikalai atnešė R. Descartes'ui pripažinimą ir šlovę, jis įgijo daug sekėjų bei šalininkų. Mokslininkas mirė 1650 m. Švedijoje, kur buvo išvykęs mokyti karalienę Kristiną filosofijos.

Nors Descartes'o gamtos filosofijos sistema didžiąja dalimi nepasitvirtino, vis dėlto verta trumpai susipažinti su ja dėl didelės jos įtakos fizikos raidai, taip pat dėl kai kurių teisingų idėjų bei konkrečių atradimų.

Kurdamas šią sistemą, R. Descartes visų pirma suformulavo materijos ir judėjimo sąvokas bei pagrindinius gamtos dėsnius ir jais remdamasis dedukcijos būdu aiškino įvairius gamtos reiškinius. Anot R. Descartes'o, Visata yra užpildyta materija, kuri nuolat juda, tuštumos būti negali. Materija sudaryta iš susimaišiusių trijų – ugnies, oro ir žemės – elementų. Sąveika tarp kūnų perduodama tik tiesioginiu smūgiu. Taigi R. Descartes'o gamtos filosofijos pagrindą sudaro mechanika.

Formuluodamas pagrindinius gamtos dėsnius, Descartes iš tikrųjų išvelgė svarbius mechanikos principus. Štai tie trys Descartes'o dėsniai:

I. Kiekviena materijos dalis išsaugo savo būseną, kol jos kas nors nepakeičia.

II. Kiekvienas judantis kūnas stengiasi toliau judėti tiesia linija.

III. Judantis kūnas, kuris susiduria su kitu kūnu, gali suteikti jam tik tiek judėjimo, kiek pats praranda, ir atimti iš jo tiek judėjimo, kiek pats įgyja.

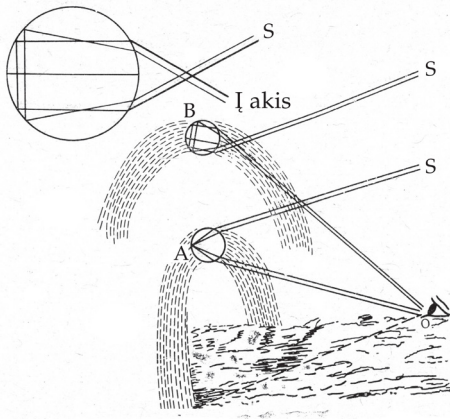
Taigi I dėsnis atitinka inercijos dėsnį parimusiam kūnui, II – inercijos dėsnį judančiam kūnui ir III – judėjimo kiekio tvermės dėsnį kūnų smūgiui. Judėjimo kiekį R. Descartes apibrėžė nelabai tiksliai kaip kūno greičio ir kūno „didumo“ sandaugą, neįveddamas masės sąvokos ir neatsižvelgdamas į tai, kad judėjimo kiekis, kaip ir greitis, turėtų būti ne skaliaras, o vektorius. Šio dydžio tvermę Descartes pagrindė tiems laikams dar įprastu teologiniu argumentu – Dievas sukūrė ne tik materiją, bet ir judėjimą, ir „savo įprastiniu veikimu išsaugo Visatoje tiek judėjimo ir rimties, kiek jų suteikė kūrimo metu“. Jėgos sąvokos Descartes dar nevertė.

Taikydamas dedukcijos metodą, bet kartu remdamasis savo intuicija bei fantazija, Descartes sukūrė Visatos ir Žemės susidarymo, jų sandaros ir įvairių fizikinių reiškinių teorijas. Suprasdamas tokio įrodymo nevienareikšmiškumą, jis suformulavo principą, kad galimos įvairios teorijos, paaiškinančios tą patį reiškinį.

Anot pagrindinės R. Descartes'o prielaidos, tuštumos gamtoje nėra, tad judėjimas turi vykti ratu, vienoms dalelėms užimant kitų dalelių vietas. Taigi, nepriklausomai nuo pradinės materijos būsenos, susidaro jos sūkuriai.

Kosminiais medžiagos sūkuriais R. Descartes aiškino žvaigždžių ir planetų susidarymą. Lengviausias – ugnies – elementas susirenka sūkurio centre, taip atsirado ugninės žvaigždės, tarp jų ir mūsų Saulė. O sunkiausias – žemės – elementas buvo išstumtas į sūkurio išorę, ir iš jo ilgainiui susiformavo planetos. Jas judina dangaus elemento (eterio) sūkurys. Jo dalelės, aptekėdamos Žemę, spaudžia kūnus planetos centro link. Taip atsirandanti Žemės trauka. Panašiomis išmoningomis, bet spekuliatyviomis hipotezėmis R. Descartes aiškino Žemės formą bei jos sandarą, taip pat įvairius gamtos reiškinius: degimą, fazinius virsmus, elektrą, magnetizmą ir kt. Pavyzdžiui, anot Descartes'o, šviesa atsiranda įkaitusio kūno dalelėms smūgiuojant į jas supančio eterio daleles. Stebėtoją, matantį daiktų atvaizdus, Descartes lygina su akluoju, kuris „jaučia“ daiktus lazda. Šviesa – tai smūgis, sklindantis neregimajame medžiaga. Kaip akklasis daiktą pajunta tuo momentu, kai šis paliečiamas kitu lazdos galu, taip ir eteris perduoda šviesą nuo matomo daikto iki akies begaliniu greičiu.

R. Descartes padarė ir konkrečių optikos atradimų. Jis kartu su W. Snell'u yra laikomas šviesos lūžimo dėsnio atradėju. Mažai žinomas Nyderlandų fizikas W. Snell'as nustatė šį dėsnį eksperimentiškai apie 1621 m., bet rezultatas liko nepaskelbtas. Po ankstyvos W. Snell'o mirties jo rankraštį su dėsnio formulavimu matė C. Huygens'as ir kiti fizikai, bet po to rankraštis dingo. R. Descartes šį dėsnį išvedė teoriškai, matyt, žinodamas apie jį. Descartes naudojosi šviesos spindulio analogija su sviedinuku, kuris yra metamas į vandens paviršių (sviedinuko greičio dedamoji, statmena paviršiui, sumažėja, o lygiagreči jam – išlieka ta pati, tad sviedinuko judėjimo kryptis keičiasi). Šio rezultato apibendrinimas šviesai nebuvo nuoseklus, nes, kaip minėta, Descartes manė šviesos greitį esant begalinį. Apie 1662 m. šį dėsnį griežtai įrodė



5.6 pav. R. Descartes'o pateiktas vaivorykštės aiškinimas (vaivorykštė susidaro šviesos spinduliams lūžus lietaus lašeliuose du kartus, o mažiau ryški antroji vaivorykštė – jiems lūžus tris kartus).

P. Fermat (1601–1665), remdamasis savo paties nustatytu principu, kad šviesa tarp dviejų erdvės taškų juda tuo keliu, kuriame užtrunka mažiausią laiko tarpą. R. Descartes taip pat paaiškino vaivorykštės susidarymą (5.6 pav.) dvigubu ir trigubu šviesos spindulių lūžimu vandens lašeliuose (spindulių eigą jis nustatė eksperimentiškai, naudodamas sferinį indą su vandeniu ir ekraną).

R. Descartes'o sistema savo universalumu, pagrindinių principų paprastumu, racionalių įvairių reiškinių paaiškinimu, kai kuriais svarbiais atradimais padarė amžininkams didžiu-

lį įspūdį. Ji derino Galilei siūlomą konkrečių tyrimų kelią su poreikiu turėti bendrą žinių sistemą. R. Descartes' o mokymas suvaidino svarbų vaidmenį kovoje su scholastiniu mokslu. Tiesa, moksle įsitvirtinusias neteisingas Descartes' o hipotezes vėliau teko atmesti, atkakliai kovojant su jo šalininkais. XVIII a. fizikas J. d'Alembert rašė: „Drištu teigti, ir su manimi daugelis sutiks, kad tada nebuvo galima sugalvoti nieko geresnio už tuos sukurius, kurie dabar tapo juokingi <...>. Tik ilga seka reiškinių, samprotavimų ir skaičiavimų galėjo priversti atsisakyti tokios patrauklios teorijos.“

5.3. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Atmosferos slėgio atradimas. Evangelista Torricelli (1608–1647) – žymiausias G. Galilei mokinys. Jis padėjo apakusiam mokslininkui tvarkyti rankraščius ir rengti „Pokalbių“ papildymus, o po Galilei mirties tapo, kaip anksčiau jo mokytojas, Pizos universiteto profesoriumi bei Toskanos dvaro filosofu ir matematiku.

G. Galilei dar nesiryžo atmesti įsitvirtinusios moksle „tuštumos baimės“, bet mėgino eksperimentiškai išmatuoti „tuštumos pasipriešinimo jėgą“, tirdamas, iki kokio aukščio galima pakelti siurbliu vandenį. E. Torricelli, tęsdamas šiuos tyrimus, 1643 m. atliko garsųjį bandymą. Jis pagamino stiklinį vamzdelį vienu uždaru galu, pripildė jį gyvsidabrio, po to užspaudė atvirą galą ir įleido vamzdelį į indą su gyvsidabriu (5.7 pav.). Skystis vamzdelyje nusileido žemyn iki tam tikro lygio, o vamzdelio viršutinėje dalyje susidarė tuštuma, nes „nieko nepateko į tą vietą“. Gyvsidabris tiek pat nusileido ir kitos formos vamzdelyje. Torricelli padarė išvadą, kad gyvsidabrio stulpelį laiko pakibusį virš indo ne „tuštumos baimė“, bet atmosferos slėgis. Tai jis aprašė laiške savo draugui, ir netrukus laiško kopijos pasklido po Europą. Tarp scholastų, R. Descartes' o šalininkų ir eksperimentatorių kilo karšta diskusija, kas yra viršutinėje vamzdelio dalyje virš gyvsidabrio – tuštuma, eteris ar gyvsidabrio garai. E. Torricelli pirmasis suprato ir vėjų susidarymo priežastį – juos sukelia ne kažkokie mistiniai Žemės garai, o nevienodas jos atmosferos įšilimas bei oro tankio priklausomybė nuo temperatūros.

B. Pascal'io darbai iš aerostatikos ir hidrostatikos. M. Mersenne'as supažindino su E. Torricelli laišku jauną, bet jau pasižymėjusį ypatingais gebėjimais prancūzą Blaise'ą Pascal'į (1623–1662). Jis jau buvo suformulavęs vieną iš pagrindinių projekcinės geometrijos teoremų ir išradęs mechaninę skaičiavimo mašiną, galinčią atlikti sudėties ir atimties veiksmus. Susidomėjęs Torricelli bandymu, B. Pascal'is pakartojo jį su vandeniu bei vynu ir pasiūlė būdą akivaizdžiai įrodyti, kad skysčio stulpelį palaiko atmosferos slėgis: stulpelis turi leistis žemyn keliant prietaisą į kalną. Pats mokslininkas dėl

silpnos sveikatos kopti negalėjo, tad bandymą atliko jo giminaitis, kuris patvirtino Torricelli hipotezę. Be to, Pascal'is nustatė, kad skysčio stulpelio aukštis priklauso nuo oro drėgnumo ir temperatūros, todėl tai galima panaudoti orų prognozei.

Šie bandymai paskatino B. Pascal'į tirti skysčių savybes. 1653 m. jis suformulavo pagrindinį hidrostatikos dėsnį (pavadintą jo vardu): skystis perduoda išorinį slėgį visomis kryptimis vienodai. Šį dėsnį Pascal'is pritaikė hidrauliniam presui išrasti. Tuo pačiu metu B. Pascal'is pasižymėjo ir matematikoje, suformulavęs pradines tikimybių teorijos idėjas. Deja, netrukus jis įstojo į religinę jansenistų bendruomenę, pasišventė religijos bei filosofijos darbams ir fizikiniais tyrimais nebeužsiėmė.

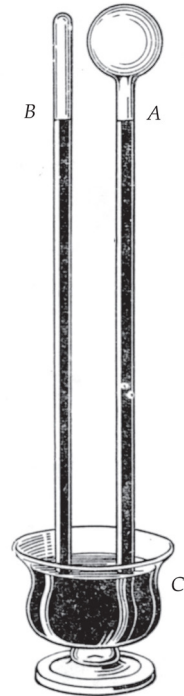
O. Guericke bandymai su išretintu oru ir elektra. XVII a. antroje pusėje efektingais fizikos bandymais su išretintu oru pagarsėjo vokiečių eksperimentatorius ir inžinierius Otto von Guericke (1602–1686). Jis buvo kilęs iš turtingos ir garsios Magdeburgo miestiečių šeimos – senelis ir du broliai buvo miesto burmistrai. O. Guericke pratęsė šią tradiciją – jis vadovavo miestui apie trisdešimt metų. Laisvalaikiu jo pamėgtas užsiėmi-



5.8 pav. Otto von Guericke.

mas buvo fizikos bandymai, kuriems parengti ir atlikti jis negailėjo lėšų.

O. Guericke sukonstravo pneumatinę mašiną (pirmąjį oro siurblių) ir ja naudodamasis atliko daug originalių ir įspūdingų bandymų su išretintu oru. Guericke įrodė, kad siurbiant iš indo orą, nustoja girdėtis jame kabančio varpelio skambėjimas, žūsta indo viduje esantys paukščiai ir gyvūnai, gęsta ugnis. Siurbiant orą iš didelio varinio indo, šis „staiga sprogdavo su baisiu trenksmu, išsilakstydamas į mažus gabalėlius, lyg būtų numestas nuo aukščiausio bokšto“, – tai akivaizdžiai liudijo veikiant atmosferos slėgio jėgą. Vokietijoje ir kitose šalyse pagarsėjo Guericke bandymai su vadinamaisiais Mag-



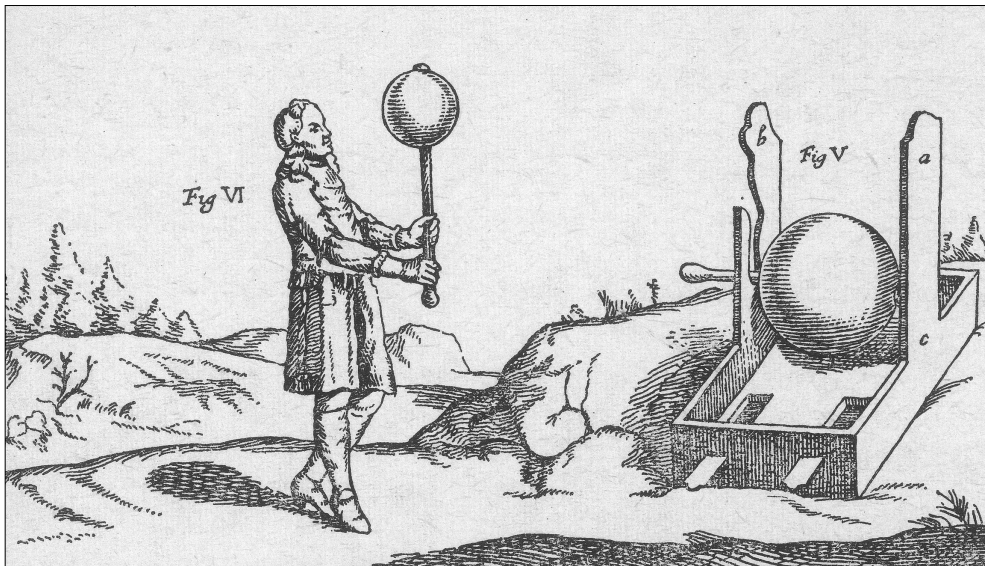
5.7 pav. E. Torricelli bandymas su įvairios formos vamzdeliais.



5.9 pav. O. Guericke knygos „Nauji vadinamieji Magdeburgo bandymai su tuščiąja erdve“ titulinis puslapis. Apačioje kairėje – Guericke išrastas oro siurblys.

deburgo pusrutuliais: glaudžiai sujungus du tuščiavidurius varinius pusrutulius ir išretinus jų viduje orą, netgi kelios poros arklių, traukiančių pusrutulius į priešingas puses, negalėdavo jų atplėšti vieno nuo kito. Tik įkinkius keliolika arklių ir juos paraginus, pusrutuliai triukšmingai atsiskirdavo. Šis bandymas buvo atliktas viešai Regensburge, dalyvaujant miestiečiams, Reichstago nariams ir netgi pačiam imperatoriui su palyda. Guericke stokoiant laiko, jo bandymus iš pradžių aprašė C. Schott'as, o vėliau ir pats O. Guericke išleido veikalą „Nauji vadinamieji Magdeburgo bandymai su tuščiąja erdve“.

O. Guericke sukonstravo ir pirmąją elektros mašiną. Ją sudarė sieros rutulys, besisukantis ant geležinės ašies (5.10 pav.); rutuliui trinantis į ranką, jis įsielektrindavo. Guericke stebėjo, kaip pūkelis, pritrauktas įelektrintojo rutulio,

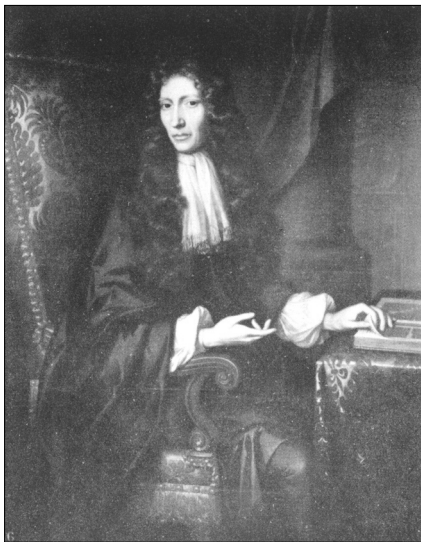


5.10 pav. Pirmoji elektros mašina (dešinėje) ir bandymas su įelektrintuoju rutuliu.

po kurio laiko nuo jo atšokdavo; tai liudijo, kad įelektrintieji kūnai gali ne tik traukti, bet ir stumti lengvus daiktus. Guericke taip pat aptiko elektrostatinės indukcijos reiškinį – įsielektrinimą kūno, laikomo netoliese patrinto sieros rutulio, – bei elektros sklidimą drėgna linine virvute. Deja, jo bandymai su elektra, skirtingai nei bandymai su išretintu oru, nesulaukė didesnio dėmesio.

R. Boyle'io dujų būsenos dėsnis ir „korpuskulinė filosofija“. Viena iš ryškiausių XVII a. antros pusės mokslo figūrų – chemikas, fizikas ir teologas Robert'as Boyle'is (1627–1691). Kilęs iš airių aristokratų šeimos, jis mokėsi privilegijuotame Itono koledže ir Šveicarijoje, keliavo po Italiją ir Prancūziją. Septyniolikmetis Boyle'is paveldėjo didžiulį turką, bet, užuot pasinėręs į aukštuomenės gyvenimą, atsidėjo rimtiems moksliniams tyrimams. Oksforde R. Boyle'is įsirengė puikią fizikos ir chemijos laboratoriją bei dirbtuves, kur jam talkino visas būrys pagalbinių (tai buvo tarsi mokslo instituto prototipas).

R. Boyle'į sužavėjo O. Guericke bandymai su išretintu oru, bet tai netrukė jam kritiškai išanalizuoti tuos bandymus ir naudotą įrangą. R. Boyle'is kartu su savo asistentu R. Hooke'u (1635–1703), vėliau tapusiu žymiu mokslininku, sukūrė tobulesnį oro siurbli. Juo naudodamasis, Boyle'is pakartojo Torricelli bandymą inde, iš kurio buvo siurbiamas oras, ir stebėjo gyvsidabrio stulpelio žemėjimą, taip pat nustatė vandens virimo temperatūros kritimą mažėjant oro slėgiui. Jis atliko kūnų laisvojo kritimo tuštumoje bandymą, kuris patvirtino Galilei išvadą, kad, nesant oro pasipriešinimo, lengvi ir sunkūs kūnai krinta vienodu greičiu. Visi tie rezultatai buvo aprašyti knygoje „Nauji mechaniniai fizikos eksperimentai, nagrinėjantys oro stangrumą ir jo padarinius“ (1660 m.).



5.11 pav. Robert Boyle.

Šioje knygoje R. Boyle'is pateikė duomenis ir apie dujų tūrio uždaroje vamzdelio dalyje mažėjimą didinant gyvsidabrio stulpelio slėgį į jį. Didikas, domėjęsis įvairiais mokslais, R. Towneley įžiūrėjo tuose rezultatuose atvirkštinę priklausomybę tarp tūrio ir slėgio, apie tai pranešė R. Boyle'ui. Šis atliko papildomus sistemingus tyrimus, kurie įrodė, jog tai yra bendras dėsnis. Į šio atradimo prioritetą vėliau pretendavo R. Hooke'as ir E. Mariotte'as. R. Hooke'as nepriklausomai stebėjo oro slėgio didėjimą mažėjant jo

tūriui, bet jo matavimai buvo ne tokie tikslūs kaip R. Boyle'io ir jis neižvelgė bendro dėsnio. O E. Mariotte'as suformulavo dėsnį iš naujo po keliolikos metų, visai neminėdamas lotynų kalba paskelbto R. Boyle'io darbo. Tiesa, Mariotte'as pirmasis pritaikė šį dėsnį slėgio priklausomybei nuo aukščio nustatyti.

R. Boyle'is buvo ne tik žymus fizikas, bet ir naujosios chemijos pradininkas. Jis chemijoje ėmė naudoti kiekybinius eksperimentinės fizikos metodus, įvedė cheminio elemento sąvoką, suformulavo naujus chemijos tikslus. Chemijos mokslo pagrindus jis išdėstė savo garsiajame veikalė „Chemikas skeptikas“ (1661 m.). R. Boyle'is išžvelgė, kad cheminiai reiškiniai gali būti paaiškinti naudojantis mažiausiųjų dalelių, jo vadintų korpuskulėmis, egzistavimu, jų susijungimu ir išsiskyrimu. Aišku, R. Boyle'io korpuskulinė chemija dar buvo labai apytikrė, o kartais ir neteisinga, bet svarbi buvo pati idėja, kad cheminiai reiškiniai yra glaudžiai susiję su medžiagos struktūra, su atomų egzistavimu.

R. Boyle'is žengė esminį žingsnį, įtvirtindamas korpuskulių (dalelių), arba atomų, hipotezę ir fizikoje. Remdamasis F. Bacon'o idėja, kad šiluma yra susijusi su judėjimu, R. Boyle'is išplėtojo mechaninę šilumos sampratą. Pasak jo, šiluma yra kūno dalelių betvarkis judėjimas. Tai jis parėmė kai kuriais pavyzdžiais, kaip antai – kalamo daikto įšilimu (priekalas ir kūjis buvo šalti, tad negalėjo perduoti jam šilumos), kietųjų kūnų tirpimu skysčiuose, dviejų skysčių susimaišymu. R. Boyle'is priėjo išvadą, kad šaltis yra šilumos stygius ir jo atskirai aiškinti nereikia.

Anot R. Boyle'io, dalelės kietajame kūne būna sukibusios tarpusavyje, skystyje jos tik liečia viena kitą ir juda užpildydamos tarpus, o dujose juda laisvai. Dalelių judėjimo ypatumais R. Boyle'is mėgino aiškinti ir medžiagos virsmus: „Kai vanduo pasidaro iš tikrųjų karštas, dalelių judėjimas tampa akivaizdus bei daug audringesnis <...> ir sukelia garavimą, nes dalelės yra sužadindamos ir įgyja galimybę pakilti į orą.“

Deja, tos įžvalgios R. Boyle'io mintys liko nepripažintos daugelio fizikų iki pat XIX a. pradžios.

5.4. C. HUYGENS'Ų IR R. HOOKE'Ų MECHANIKOS BEI OPTIKOS DARBAI

Christiaan'as Huygens'as (1629–1695) – žymus Nyderlandų fizikas, astronomas, matematikas. Naudodamasis matematiniais metodais, nemaža dalimi savo paties sukurtais, jis išsprendė daug svarbių mechanikos ir optikos problemų.

C. Huygens'as gimė Hagoje, politiko ir poeto šeimoje. Vykdydamas

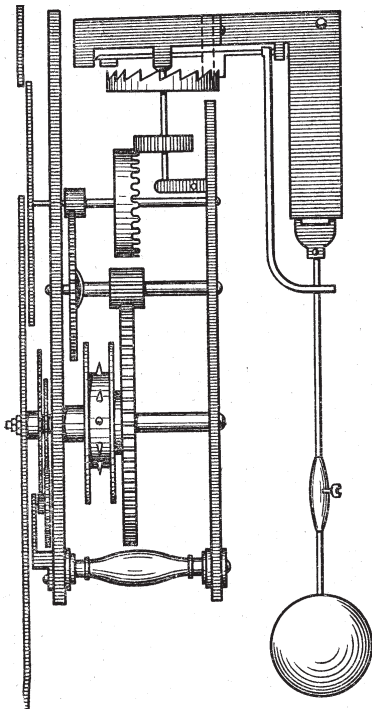
tėvo norą, studijavo teisę, tuo pačiu metu ir matematiką. Nebaigęs universiteto, atsidėjo fizikai ir matematikai, kurios traukė jį nuo vaikystės. Huygens'as išgarsėjo sukūręs švytuoklinį laikrodį (1657 m.), nes tikslus laiko matavimas tuo metu buvo labai aktuali praktinė problema. Huygens'as buvo pakviestas į Paryžių ir čia labai kūrybingai dirbo iki 1681 m., kol tapo nepageidaujamas kaip protestantas. Jis buvo linkęs spręsti ne abstrakčias problemas, o susijusias su praktiniais poreikiais. Huygens'as pats su broliu gamino tuo metu geriausius teleskopus ir vienu iš jų išžiūrėjo Saturno žiedus. Jis pasižymėjo dideliu reiklumu savo darbams; daugelis svarbių jo veikalų buvo paskelbti tik po autoriaus mirties.

C. Huygens'as nesitenkino sukūręs tikslų laikrodį, bet ėmėsi ir teorinių mechanikos klausimų, susijusių su jo veikimu. 1673 m. buvo išleistas nedidelis jo teorinis šedevras „Švytuoklinis laikrodis arba apie švytuoklės judėjimą“, kuriame aprašyta ne tik kelių rūšių laikrodžių sandara ir veikimas, bet ir išspręsta svarbių teorinių problemų, tarp jų – kūno judėjimas apskritimu ir pateikta išcentrinės (dabartiniu supratimu – įcentrinės) jėgos išraiška, aprašyta fizinė švytuoklė. Vėliau C. Huygens'as paaiškino nedidelius švytuoklės periodo skirtumus įvairiose Žemės vietose sunkio jėgos kitimu ir tuo remdamasis padarė išvadą, kad Žemė dėl sukimosi yra susiplojusi ties ašigaliais.

Kaip buvo rašyta, R. Descartes įvedė *judėjimo kiekį*, bet kaip skaliarinį dydį, tad iš jo tvermės dėsnio gavo neteisingus kūnų smūgio dėsnius. C. Huygens'as ištaisė šią klaidą ir nuosekliai išsprendė tampriojo kūnų smūgio problemą. Jis padarė išvadą, kad „kiekvieno kūno“ ir jo greičio kvadrato sandauga, susumuota atsižvelgiant į visus susidūrime dalyvaujančius kūnus, smūgio metu nesikeičia. G. Leibniz'as šį dydį pavadino *gyvąja jėga*, priešpastydamas jį *negyvajai jėgai* – pakelto kūno galimybei atlikti darbą (vėliau, griežtai apibrėžus masės ir energijos sąvokas, negyvoji jėga virto *potencine energija*, o gyvoji jėga – dviguba *kinetine energija*). G. Leibniz'as iškėlė prielaidą, kad gyvosios ir negyvosios jėgų suma nesikeičia (mechaninės energijos tvermės dėsnis). Tarp Leibniz'o ir Descartes'o šalininkų kilo atkaklus ginčas, kuris tvermės dėsnis iš tikrųjų galioja tampriojo kūnų smūgio metu – gyvosios jėgos ar judėjimo kiekio. Tas „ginčas



5.12 pav. Christiaan Huygens.



5.13 pav. C. Huygens'o išrasto laikrodžio schema.

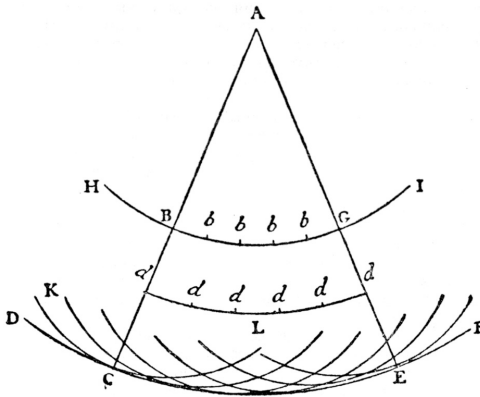
dėl gyvosios jėgos“ truko daugiau nei tris dešimtmečius ir buvo išspręstas tik patikslinus sąvokas ir įrodžius, kad galioja abu tvermės dėsniai.

C. Huygens'as daug nusipelnė ir kitai pagrindinei to meto fizikos šakai – optikai. Jis ilgą laiką plėtojo banginę šviesos teoriją, bet tik pasiekęs pakankamo užbaigtumo ir aiškumo, paskelbė ją „Traktate apie šviesą“ (1690 m.). Anot Huygens'o, šviesa – tai išilginės bangos, sklindančios eteryje – labai lengvoje neregimoje medžiagoje, kuri užpildo visą erdvę ir tarpus kūnų viduje. Judanti eterio dalelė išjudina iš visų pusių ją supančias kitas daleles, tad kiekvienas bangos taškas tampa naujų bangų šaltiniu, jų visų gaubtinė sudaro bangos frontą (5.14 pav.). Šis metodas leido Huygens'ui nuosekliai aprašyti įvairius optinius reiškinius: atspindį, lūžimą, visiškąjį vidaus atspindį, refrakciją (šviesos užlinkimą atmosferoje) ir neseniai atrastą dvejoją lūžimą

islandiškajame špate. C. Huygens'as ypač pabrėžė, kad banginė šviesos teorija gerai paaiškina faktą, jog skirtingų šaltinių šviesa neveikia ir neiškreipia viena kitos, tai sunku suprasti laikant, kad šviesa yra dalelių srautas. Deja, Huygens'o banginė teorija nepaaiškino pagrindinės šviesos savybės – tiesiaiegio spindulio sklidimo.

Tuo metu jau buvo žinomas šviesos difrakcijos reiškinys, kuris buvo aprašytas italo Francesco Grimaldi (1618–1663) veikale, paskelbtame po jo mirties. Grimaldi pastebėjo, kad, šviesai sklindant pro mažą skylutę, jos atvaizdas ekrane išplinta, o pakraščiai tampa spalvoti. Šį reiškinį Grimaldi pavadino difrakcija; jį taip pat stebėjo apšviesdamas plonus siūlus, paukščių plunksnas, plonas medžiagas. Deja, Grimaldi nesuprato difrakcijos prigimties, jis aiškino, kad šviesos spinduliai, smogdami į kliūtį, sukelia bangas šviesos fluide, panašiai kaip bangas vandenyje sukelia į jį įmestas akmuo. Huygens'as taip pat neįžvelgė, kad šviesos difrakcija yra banginės jos prigimties tiesioginis liudijimas.

Verta paminėti dar vieną, tuo metu nepripažintą optikos atradimą – 1676 m. danų astronomas O. Römer'is (1644–1710) paaiškino keistą Jupiterio palydovo Ijo orbitinio periodo kitimą (priklausantį nuo to, ar Jupi-



5.14 pav. Šviesos bangos fronto nustatymas naudojantis gaubtinės metodu. Brėžinys iš C. Huygens'o veikalų.

teris tolsta nuo Žemės, ar artėja prie jos) baigtiniu šviesos greičiu ir jį apytiksliai apskaičiavo (214 000 km/s).

R. Hooke. C. Huygens'o amžininkas Robert'as Hooke'as (1635–1703) buvo vienas iš universaliausių ir kūrybingiausių XVII a. antros pusės mokslininkų. Jis atliko svarbių darbų ne tik iš fizikos, bet ir iš kitų gamtos mokslų – biologijos, geologijos, astronomijos, geografijos.

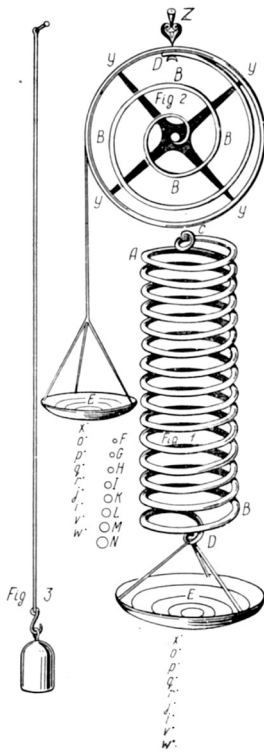
R. Hooke'as, gimęs pastoriaus šeimoje ir anksti netekęs tėvo,

tik per savo gabumus ir atkaklumą baigė vidurinę mokyklą, o po to ir Oksfordo universitetą. Pradėti mokslinius tyrinėjimus jam padėjo R. Boyle'is, priėmęs R. Hooke'ą savo asistentu, o 1662 m. rekomendavęs jį eksperimentų kuratoriumi Londono karališkajai draugijai. Pagrindinė kuratoriaus pareiga buvo parengti ir demonstruoti bandymus kas savaitę vykstančiuose draugijos posėdžiuose. R. Hooke'as puikiai susidorėjo su šiomis pareigomis ir vykdė jas penkiolika metų; jis ne tik kartodavo kitų mokslininkų atliktus, bet dažnai demonstruodavo ir savo sumanytus originalius bandymus. Be to, nuo 1666 m. R. Hooke'as ėmė reguliariai skaityti pranešimus Karališkosios draugijos nariams, o nuo 1677 m. tapo jos sekretoriumi.

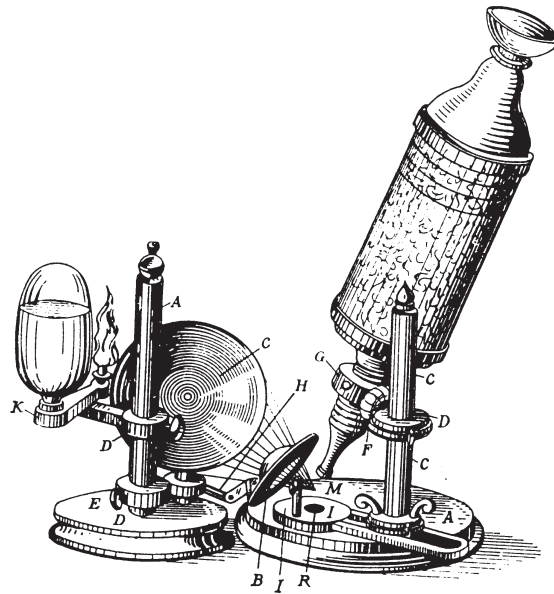
Būdamas plačios erudicijos, R. Hooke'as išskeldavo daugybę mokslinių idėjų, bet jis stokojo laiko ir kantrybės jas išplėtoti ir nuodugniai patikrinti. Tad R. Hooke'as pagarsėjo ginčais su daugeliu mokslininkų dėl įvairių atradimų ir išradimų prioriteto.

R. Hooke'as atrado kietojo kūno tamprumo dėsnį (Hooke'o dėsnis). Jis, nepriklausomai nuo I. Newton'o, padarė išvadą, kad egzistuoja visuotinės traukos jėga, kuri mažėja proporcingai atstumo kvadratui (plačiau apie tai rašoma 6 skyriuje). R. Hooke'as, kaip ir R. Boyle'is, plėtojo kinetinę šilumos teoriją; jis bandymais įrodė, kad įvairių medžiagų lydymosi ir virimo temperatūros yra pastovios, tad jas galima panaudoti termometrui kalibruoti.

R. Hooke'as gerokai patobulino mikroskopą (5.16 pav.) ir juo naudodamasis atliko įvairius fizikinius ir biologinius tyrimus, kurių rezultatus išdėstė plačiai pagarsėjusiame veikalė „Mikrografija“ (1665 m.). Čia jis aprašė spalvų susidarymą plonose plėvelėse (pavyzdžiui, riebalų plėvelėse vandens paviršiuje). Tai Hooke'as aiškino šviesos impulsų, atspindėtų nuo



5.15 pav. R. Hooke'o prietaisai, kuriais naudodamasis jis nustatė kietojo kūno tamprumo dėsnį.



5.16 pav. R. Hooke'o mikroskopas ir įrenginys stebimam objektui apšviesti.

dviejų sluoksnio paviršių, sudėti (bangos ilgio ir fazės sąvokų jis dar nevertėjo). Jis pirmasis nustatė, kad augalai yra sudaryti iš ląstelių.

R. Hooke'as, nepriklausomai nuo C. Huygens'o, plėtojo banginę šviesos teoriją. R. Hooke'as teisingai spėjo, kad šviesos bangos yra ne išilginės, o skersinės, tačiau apskritai jo teorija buvo mažiau nuosekli ir išsami negu Huygens'o.

SANTRAUKA

Nuo G. Galilei laikų fizika tapo gamtos mokslų lydere, tikslojo mokslo pavyzdžiu. Daugiausia buvo vykdomi eksperimentiniai tyrimai, tai lėmė tiek senojo mokslo spekuliatyvių metodų neigimas, tiek teorijos plėtrą stabdęs griežtų sąvokų ir teorinių metodų trūkumas.

Kadangi universitetuose tvirtas pozicijas dar tebeturėjo scholastai, naujojo mokslo šalininkams teko vienytis į neformalias mokslo draugijas. XVII a. viduryje iš pradžių Italijoje, o netrukus ir kitose šalyse ėmė kurtis mokslų akademijos: Florencijos „Bandymų akademija“, Londono karališkoji

draugija, Paryžiaus mokslų akademija ir kitos. Šio amžiaus pirmoje pusėje pagrindinė naujų mokslo rezultatų skelbimo forma buvo laišškai, bet, spartėjant mokslo raidai, 1665 m. Prancūzijoje ir Anglijoje buvo pradėti leisti pirmieji mokslo žurnalai.

Laikotarpiu tarp G. Galilei ir I. Newton'o atradimų vyko parengiamieji tyrimai klasikinės fizikos pagrindams sukurti – buvo kaupiami mokslo faktai, atrandami ir aiškinami nauji reiškiniai, jais remiantis kovojama su scholastiniu mokslu. Toje kovoje svarbų vaidmenį suvaidino ir R. Descartes'o sukurta gamtos filosofijos sistema, kuri naują požiūrį į gamtos mokslą ir jo tikslus sujungė su bendromis idėjomis, kurios rėmėsi ne tiek faktais, kiek filosofiniais nuoseklumo ir akivaizdumo principais, taip pat – R. Descartes'o intuicija ir vaizduote. Dėl savo vaizdumo ir paprastumo ši sistema įgijo daugybę šalininkų. Be to, R. Descartes išvystė matematinius fizikos metodus ir padarė konkrečių mechanikos ir optikos atradimų.

G. Galilei mokynys E. Torricelli atrado atmosferos slėgį. Jo, taip pat vėlesni B. Pascal'io ir O. Guericke bandymai įrodė, kad reiškinius, priskiriamus „tuštumos baimei“, iš tikrųjų sukelia atmosferos slėgis, – tai sudavė lemiamą smūgį scholastiniam mokslui. Ypač vaizdūs ir įspūdingi buvo vieši O. Guericke bandymai, demonstruojantys atmosferos slėgio jėgą.

Bandymai su išretintu oru bei sukurti nauji prietaisai, tarp jų – oro siurblys, paskatino platesnius dujų, taip pat skysčių tyrimus: B. Pascal'is suformulavo pagrindinį hidrostatikos dėsnį, R. Boyle'is nustatė dujų būsenos dėsnį.

Svarbiausia fizikos dalimi ir toliau liko mechanika, pavyko išspręsti keletą svarbių jos problemų: C. Huygens'as aprašė sukamąjį judėjimą ir gavo išcentrinės (dabartiniu supratimu – įcentrinės) jėgos išraišką, R. Hooke'as atrado kietojo kūno tamprumo dėsnį. R. Descartes įvedė judėjimo kiekio sąvoką ir formulavo jo tvermės dėsnį. C. Huygens'as patikslino judėjimo kiekio sampratą atsižvelgdamas į jo kryptį, be to, apibrėžė gyvąją jėgą, atitinkančią kūno kinetinę energiją.

Nagrinėjamu laikotarpiu buvo pasiekta esminė pažanga optikos srityje. Pasiūlytos net dvi šviesos teorijos: banginė C. Huygens'o bei R. Hooke'o ir korpuskulinė I. Newton'o (apie ją rašoma 6 skyriuje). Huygens'as manė, kad šviesa yra išilginės bangos, sklindančios neregimoje terpėje – eteryje. Remdamasis savo suformuluotu bangų gaubtinės metodu, jis nuosekliai aprašė šviesos atspindį, lūžimą, visiškąjį vidaus atspindį ir refrakciją, bet negalėjo paaiškinti tiesiaeigio šviesos spindulio sklidimo. R. Hooke'as iškėlė hipotezę, kad šviesos bangos yra skersinės. F. Grimaldi atrado šviesos difrakcijos reiškinį, bet nei jis, nei kiti to meto fizikai neįžvelgė tikrosios jo prigim-

ties. Iš kitų svarbių optikos atradimų reikia paminėti lūžimo dėsnio nustatymą (W. Snell, R. Descartes), vaivorykštės susidarymo paaiškinimą (R. Descartes), pirmąjį šviesos greičio nustatymą remiantis astronominiais stebėjimais (O. Römer).

R. Boyle'is pirmasis iš naujųjų laikų mokslininkų ėmėsi nuosekliai plėtoti ir taikyti atomų hipotezę. Jis įžvelgė, kad cheminiai reiškiniai turi būti glaudžiai susiję su mažiausiųjų dalelių, jo vadintų korpuskulėmis, savybėmis, tų dalelių jungimusi ir atsiskyrimu. Jis įvedė cheminio elemento sąvoką. R. Boyle'is įrodinėjo, kad šiluma yra ne kas kita, kaip kūną sudarančių dalelių betvarkis judėjimas, o šaltis yra tik šilumos stoka. Įvairias medžiagos būsenas ir virsmus jis mėgino aiškinti korpuskulių judėjimo ypatumais. Deja, tos R. Boyle'io idėjos dar buvo per ankstyvos ir liko nepripažintos to meto fizikų.

O. Guericke sukonstravo elektros mašiną ir ja naudodamasis atliko naujus bandymus su elektra: stebėjo elektrostatinę indukciją ir elektros sklidimą drėgna linine virvute. Tie rezultatai irgi nebuvo įvertinti amžininkų.

VI. I. NEWTON

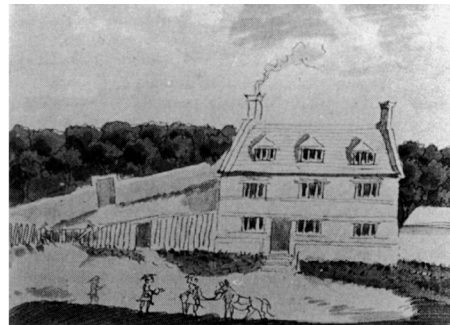
6.1. GYVENIMAS IR VEIKLA

I. Newton'as – vienas iš žymiausių visų laikų mokslininkų, sukūręs klasikinės fizikos ir aukštosios matematikos pagrindus. Jo veikla turėjo didžiulį įtakos ne tik šių mokslų, bet ir filosofijos bei kultūros, visos mūsų civilizacijos raidai.

Isaac'as Newton'as gimė 1643 m., t. y. praėjus maždaug metams po G. Galilei mirties, Anglijoje, Vulstorpo kaime, esančiame maždaug 150 kilometrų į šiaurę nuo Londono. Jo tėvas buvo pasiturintis fermeris, deja, jis mirė dar prieš vaiko gimimą. Netrukus motina ištekėjo antrą kartą, ir fiziškai silpnas berniukas augo vienišas, užsidaręs. Jis mėgo piešti, taip pat meistrauti žaislus bei mechanizmus – vandens ir saulės laikrodžius, aitvarus su žibintais ir kt.

Newton'as mokėsi gretimo kaimo mokykloje, o nuo dvylikos metų – Grentemo karališkojoje mokykloje. Nelinkęs į ūkio darbus jaunuolis 1661 m. dėdės pastoriaus rūpesčiu buvo pasiųstas mokytis į Kembridžo universiteto Trinity (Šv. Trejybės) koledžą. Čia tuo metu dar vyravo viduramžių teologijos ir scholastikos dvasia, tačiau studentams buvo suteikiamos plačios galimybės lavintis savarankiškai.

Dar būdamas studentu, I. Newton'as susidomėjo optika, ėmė rinkti bei pats gaminti prietaisus ir vykdyti bandymus. 1665–1666 m. Anglijoje siautė maro epidemija, ir jis dvejus metus nuo 1665 m. vasaros praleido gimtajame Vulstorpe. Tai buvo patys kūrybingiausi Newton'o mokslinės veiklos metai. Čia jis subrandino visuotinės traukos idėją, sukūrė diferencialinio ir



6.1 pav. Namas, kuriame gimė I. Newton'as. Dešinėje – amžininko piešinys, kairėje – namas po rekonstrukcijos XVII a.; toks jis išlikęs iki dabar.

integralinio skaičiavimo pagrindus, bandymais su prizmėmis įrodė, kad baltoji šviesa yra įvairių spalvų šviesos mišinys, pradėjo gaminti naujos rūšies teleskopą – reflektorių. Vis dėlto, grįžęs į Kembridžą, I. Newton'as nepaskelbė šių atradimų – jis pasižymėjo nepaprastu reiklumu, tad, jo manymu, nepakankamai griežtus rezultatus atidėdavo tolesniam nagrinėjimui.

I. Newton'as sėkmingai ir sparčiai perėjo visas mokslines pakopas – 1664 m. įgijo bakalauro laipsnį, 1667 m., po maro metų, grįžęs į Kembridžą tapo jaunesniuoju koledžo nariu, o 1668 m. – magistru ir vyresniuoju nariu. Dar po metų Newton'as buvo išrinktas Lucas'o matematikos profesoriumi Kembridžo universitete.

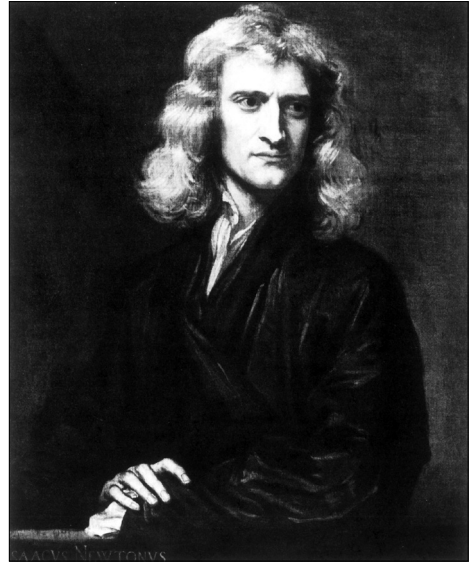
Tuo metu jis atkakliai konstravo ir tobulino savo teleskopą su įgaubtuju sferiniu veidrodžiu. Newton'as gamino specialius lydinius veidrodžiui, poliravo metalinį jo paviršių. 1668 m. buvo pagamintas pirmasis mažas egzempliorius, o po trejų metų – antrasis, didesnis ir tobulesnis. Jį Newton'as pasiuntė karaliui. Teleskopą labai gerai įvertino Londono karališkosios draugijos nariai, ir I. Newton'as 1672 m. buvo priimtas į šią draugiją. Tais pačiais metais jis žurnale „Philosophical Transactions“ paskelbė apie savo bandymus su šviesa ir šviesos teoriją. Deja, šie Newton'o rezultatai buvo sutikti skeptiškai ir net kritiškai. Prasidėjo polemika, į kurią įsitraukė R. Hooke'as, C. Huygens'as ir kiti mokslininkai, tai atitraukdavo I. Newton'ą nuo darbų ir trikdė jį.

I. Newton'as pasižymėjo nepaprastu darbštumu bei atkaklumu ir visą savo laiką skyrė moksliniams tyrimams ir akademinėms pareigoms. Šeimos jis nesukūrė (pagal seną tradiciją, koledžo nariai turėjo likti nevedę) ir gyveno gana uždariai. Newton'as nebuvo niekur išvykęs už Anglijos ribų. Koledžo sode jis įsirengė laboratoriją, kurioje praleisdavo didelę paros dalį. Newton'as turėjo sukaupęs gerą biblioteką, tačiau dažniausiai naudodavosi tik žinynais, visa kita siekė įrodyti pats. Paskaitas studentams jis skaitė sausai ir aukštu moksliniu lygiu, tad jos nebuvo populiarios. Jo gyvenimo metais Anglijoje buvo gausu politinių įvykių – Cromwell'io diktatūra, Stiuartų restauracija, Šlovingoji revoliucija ir kt., kuriuose aktyviai dalyvavo ir Kembridžo profesoriai bei studentai. I. Newton'as taip pat domėjosi politika; netgi vėliau, tapęs garsiu mokslininku, buvo išrinktas parlamento nariu nuo Kembridžo universiteto, bet politine veikla nepasižymėjo.

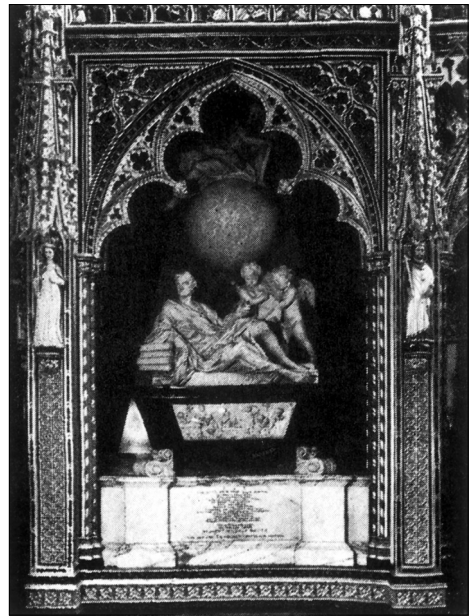
I. Newton'o tyrimai nuo jo kūrybinio pakilimo 1665–1667 m. iki 1680 m. buvo sutelkti optikos srityje – jis kūrė ir tobulino teleskopą, atkakliai stengėsi atskleisti šviesos prigimtį, plėtojo korpuskulinę šviesos teoriją, teigiančią, jog šviesa yra dalelių – korpuskulių srautas, ir taikė ją įvairiems optiniams reiškiniams paaiškinti. Visuotinės traukos problema buvo ilgam

atidėta į šalį. Tuo metu kiti mokslininkai R. Hooke'as, E. Halley, C. Wren'as priartėjo prie jos sprendimo. Apie 1680 m. I. Newton'as vėl ėmėsi matematiškai nagrinėti planetų judėjimą aplink Saulę veikiant visuotinės traukos jėgai ir, pagaliau likęs patenkintas gautais rezultatais, pradėjo rašyti tam skirtą veikalą. Vis dėlto šis, matyt, būtų dar negreit pasirodęs, jei ne primygtiniai fiziko ir astronomo E. Halley raginimai. 1686 m. pagrindinis I. Newton'o veikalas „Gamtos filosofijos matematiniai pagrindai“ buvo užbaigtas ir po metų išleistas Halley lėšomis. Veikale buvo suformuluoti trys pagrindiniai mechanikos dėsniai, visuotinės traukos dėsnis ir jie pritaikyti planetų judėjimo ir kitoms mechanikos problemoms spręsti.

Tik kai kurie fizikai ir filosofai iš karto įvertino „Pagrindų“ reikšmę, o daugeliui šis veikalas iš pradžių pasirodė esąs grynai matematinis ir sunkiai suprantamas. Tačiau palaiptiesniui veikalo pripažinimas vis augo, ir Newton'as tapo mokslo autoritetu. Deja, „Pagrindų“ sukūrimu baigėsi kūrybiniausias jo gyvenimo laikotarpis, po to Newton'as daugiausia tik pildė ir publikavo ankstesnius rezultatus. Tačiau retkarčiais jo išspręstas vienas ar kitas uždavinys liudijo, kad „liūtas tebeturi nagus“. Antai 1697 m. I. Newton'as eksromptu išsprendė J. Bernoulli iškeltą uždavinį apie materialiojo taško greičiausio judėjimo tarp dviejų taškų trajektoriją veikiant tik gravitacijos jėgai, o 1701 m. žurnale „Philosophical Transactions“ jis išspausdino nepasirašytą trumpą straipsnį apie šilumą, kuriame pateikė kūnų vėsimo dėsnį. Be to, 1704 m. buvo išleista Newton'o



6.2 pav. Isaac Newton (keturiasdešimt šešerių metų, netrukus po to, kai buvo išspausdinti „Pagrindai“).



6.3 pav. I. Newton'o antkapis Vestminsterio abatijoje.

„Optika“, kurios didžioji dalis parašyta prieš daugelį metų (manoma, kad Newton'as vengė polemikos su Hooke'u, tad knygą išleido tik po jo mirties), papildė naujus „Pagrindų“ leidimus.

Po 1687 m. I. Newton'as daugiausia laiko skyrė chemijai ir teologijai. Chemija jis domėjosi nuo studijų laikų ir atkakliai eksperimentavo, siekdamas paversti paprastus metalus auksu. Deja, tuo metu nebuvo žinoma, kad to neįmanoma atlikti jokiais chemijos priemonėmis. Stebina kitas dalykas – kad Newton'as, atlikdamas daugelį chemijos bandymų, nepadarė svarbesnių šio mokslo atradimų. Tiesa, 1692 m. Newton'o laboratorijoje kilo didelis gaisras, kurio metu sudegė jo rankraščiai, anot kai kurių šaltinių, ir jo chemijos veikalas. Newton'ą taip paveikė ši nelaimė, jog porą metų jis rimtai sirgo, bet vėliau sveikata pasitaisė.

I. Newton'as taip pat vykdė teologinius ir istorinius tyrinėjimus, tačiau šiose srityse nepasiežymėjo ypatingais pasiekimais.

1696 m. karalius paskyrė I. Newton'ą Monėtų rūmų saugotoju, o 1699 m. – jo direktoriumi. Šias pareigas Newton'as ėjo ilgus metus ligi mirties ir nemažai nusipelnė pagerinęs Anglijos monetų kokybę. 1703 m. I. Newton'as buvo išrinktas Londono karališkosios draugijos prezidentu ir daug laiko skirdavo jos veiklai. Paskutinius jo gyvenimo metus kartino polemika su G. Leibniz'u dėl diferencialinio ir integralinio skaičiavimo sukūrimo prioriteto, kurią kurstė jų abiejų šalininkai (iš tikrųjų Newton'as išplėtojo ekvivalentišką fliuencijų ir fliuksijų metodą pirmasis, bet ilgai jo neskelbė, o Leibniz'as prie tų pačių idėjų priėjo nepriklausomai ir realizavo jas patogesne forma, kuri ir prigijo matematikoje).

I. Newton'as mirė 1727 m., sulaukęs aštuoniasdešimt ketverių metų, ir buvo iškilmingai palaidotas Anglijos panteone – Vestminsterio abatijoje.

6.2. VISUOTINĖS TRAUKOS DĖSNIS

Svarbiausiu savo atradimu Newton'as laikė visuotinės traukos dėsnio nustatymą ir įrodymą, kad būtent ši trauka lemia kūnų kritimą Žemėje. Plačiai žinoma istorija, kaip nukritęs obuolys padėjo I. Newton'ui atrasti visuotinę trauką. Apie tai jis yra pasakojęs keliems artimiems žmonėms, tad, matyt, obuolys iš tikrųjų nukreipė jo mintis link atradimo, bet dėsnio istorija ir priešistorė daug sudėtingesnės. Kadangi visuotinės traukos dėsnis yra vienas iš svarbiausių gamtos dėsnių, panagrinėkime plačiau, kaip jis buvo nustatytas.

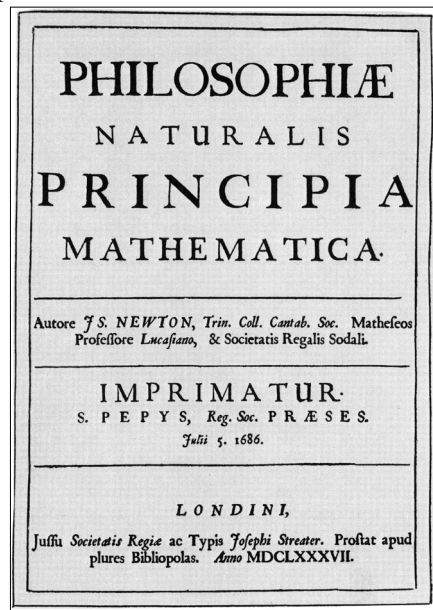
Pats problemos formulavimas tapo įmanomas tik tai priėmus Kopernik'o heliocentrinę sistemą, kai paaiškėjo, kad supainiotas regimasis planetų judėjimas Žemės atžvilgiu tampa paprastu sukimusi aplink Saulę laikant ją nejudančia.

Johanes'as Kepler'is (1571–1630) knygoje „Visatos paslaptis“ (1596 m.) rašė, kad Mėnulis sukasi aplink Žemę jos traukiamas, o planetų judėjimo priežastis slypi Saulėje. Betgi, remdamasis tuo, kad visos planetos juda vienoje plokštumoje, jis spėjo, kad Saulės trauka veikia tik toje plokštumoje (antraip ji būtų „eikvojama veltui“), tad, skirtingai nuo šviesos, kuri silpnėja proporcingai atstumo kvadratui, trauka turi silpnėti proporcingai atstumo pirmajam laipsniui.

Savo pagrindiniame veikale „Naujoji astronomija, arba dangaus fizika“ (1609 m.) J. Kepler'is pateikė pirmuosius du planetų judėjimo dėsnius. Be to, čia jis iškelė svarbią idėją, kad kūnų svorio ir dangaus kūnų traukos priežastis yra ta pati – visiems kūnams būdinga tendencija jungtis. (Paaishkėjus, kad Žemė nesiskiria nuo kitų dangaus kūnų, Kepler'is pritaikė žinomą senovės graikų filosofų teiginį, kad panašus traukia panašų.) Veikiant tai traukai, planetos turėtų nukristi ant Saulės, o Mėnulis ant Žemės, jei orbitoje jų nelaikytų kažkokia ypatinga jėga. 1619 m. J. Kepler'is nustatė trečiąjį dėsnį, susiejantį planetos sukimosi periodą su jos vidutiniu jų atstumu iki Saulės.

Vienas iš Florencijos „Bandymų akademijos“ narių – G. Borelli 1667 m. lygino planetos judėjimą aplink Saulę su judėjimu akmens, įsukto svaidyklės, betgi ir jis, kaip ir J. Kepler'is, orbitos stabilumui paaiškinti dar netaikė inercijos dėsnio.

Tuo pačiu metu šios problemos sprendimo ėmėsi I. Newton'as. Jo archyve išliko toks užrašas: „Tais pačiais metais aš pradėjau galvoti apie trauką, siekiančią Mėnulio orbitą <...>. Iš Kepler'io taisyklės, teigiančios, jog planetų periodai, pakelti trijų antrųjų laipsniu, yra proporcingi atstumams iki jų orbitų centrų, aš išvedžiau, kad jėgos, laikančios planetas jų orbitose, turi būti atvirkščiai proporcingos kvadratams atstumų iki centrų, aplink kuriuos jos sukasi. Tuo remdamasis, aš palyginau jėgą, reikalingą išlaikyti Mėnulį jo orbitoje, su svorio jėga Žemės paviršiuje ir nustačiau, kad jos beveik atitinka viena kitą. Visa tai įvyko 1665 ir 1666 maro metais, nes tada buvo mano kūrybinis pakilimas ir aš mažiau apie matematiką bei filosofiją daugiau negu kada nors vėlesniais laikais.“



6.4 pav. Titulinis „Gamtos filosofijos matematinių pagrindų“ puslapis.

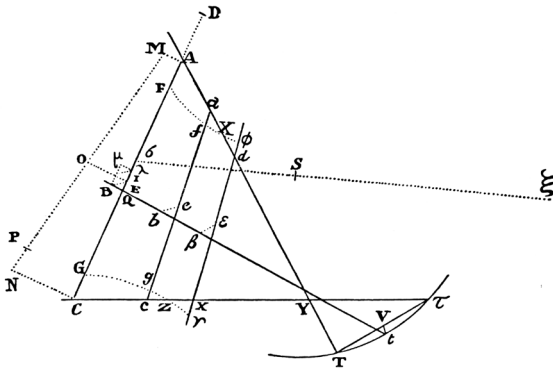
Kaip minėta, gavęs šiuos esminius rezultatus, Newton'as jų nepaskelbė. Manoma, kad jis naudojo netikslią Žemės skersmens vertę, todėl išliko nedidelė abejonė, ar traukos jėga, veikianti Žemės paviršiuje ir Mėnulio orbitoje, yra ta pati jėga. Pasak kitos versijos, I. Newton'ui tuo metu dar nepavyko įrodyti, kad sferinis kūnas traukia materialųjį tašką taip, tarsi visa kūno medžiaga būtų sukoncentruota jo centre.

I. Newton'ui užsiėmus optinių reiškinių tyrimais, kiti mokslininkai, visų pirma R. Hooke'as, irgi priartėjo prie visuotinės traukos dėsnio atradimo. 1666 m. R. Hooke'as mėgino nustatyti eksperimentiškai, kaip kūno svoris priklauso nuo jo aukščio virš Žemės paviršiaus. Deja, matavimo paklaidos gerokai viršijo svorio skirtumą kelių dešimčių metrų aukščio bokšto viršūnėje ir jo papėdėje. 1674 m. R. Hooke'as išspausdino knygelę „Mėginimas įrodyti Žemės judėjimą remiantis stebėjimais“, kurioje rašė, kad visi kūnai traukia į centrą ne tik savo dalis, bet ir kitus kūnus, „esančius jų veikimo sferoje“. Tuo metu jis dar manė, kad ši jėga yra atvirkščiai proporcinga atstumui r . Betgi 1680 m. R. Hooke'as laiške I. Newton'ui pranešė, kad trauka turėtų kisti proporcingai r^{-2} . I. Newton'as tylėjo ir toliau, vis dėlto, anot vėlesnio jo liudijimo, Hooke'o laiškas paskatino jį grįžti prie planetų judėjimo problemos.

1683 m. E. Halley pavyko, remiantis trečiuoju Kepler'io dėsniu, įrodyti traukos jėgos atvirkštinę kvadratinę priklausomybę nuo atstumo. Jo kolega C. Wren'as padarė išvadą, kad planetos sukimaši galima išskaidyti į tolygųjį tiesiaeių judėjimą ir jos kritimą į Saulę. Susirinkę vienoje Londono kavinėje, Wren'as, Hooke'as ir Halley nutarė skirti premiją už įrodymą, kad planeta, veikiamą jėgos $F \sim r^{-2}$, juda elipse. Kai E. Halley apie šią problemą užsiminė I. Newton'ui, šis pareiškė, kad ją jau seniai yra išsprendęs. Halley raginamas, Newton'as per porą metų parašė „Gamtos filosofijos matematinis pagrindus“, kurių svarbią dalį sudaro visuotinės traukos dėsnio formulavimas ir įvairūs jo taikymai.

„Pagrinduose“ I. Newton'as griežtai apibrėžė svarbiausias mechanikos sąvokas, tarp jų – masę ir jėgą, suformulavo pagrindinius mechanikos dėsnius (apie tai plačiau bus rašoma kitame poskyryje), o po to išnagrinėjo įvairius kūnų judėjimo atvejus, daugiausia dėmesio skirdamas judėjimui, kai veikia jėga, atvirkščiai proporcinga atstumo kvadratui. Newton'as įrodė, kad jos veikiami kūnai gali judėti ne tik elipse, bet ir parabole bei hiperbole, ir pirmuoju atveju teoriškai gavo Kepler'io dėsnius. Antra vertus, tie dėsniai vienareikšmiškai liudijo, kad jėgos priklausomybė nuo atstumo yra atvirkštinė kvadratinė.

Visuotinis traukos dėsnis buvo suformuluotas trečiajame skyriuje „Apie pasaulio sistemą“. Čia I. Newton'as, remdamasis žinomais astrono-



6.5 pav. Kometos orbitos skaičiavimas (brėžinys iš I. Newton'o „Pagrindų“).

miniais duomenimis apie planetų, jų palydovų ir Mėnulio judėjimą, teigė, kad visi tie dangaus kūnai juda pagal Kepler'io dėsnius. Toliau jis įrodė, kad jėga, kuri laiko Mėnulį jo orbitoje, yra ta pati jėga, kuri lemia kūnų kritimą Žemėje. Visa tai apibendrinęs, jis padarė išvadą, kad „trauka veikia tarp visų kūnų ir yra proporcinga kiekvieno iš jų masei“.

I. Newton'as nustatė bendras visuotinės traukos, arba gravitacijos, savybes, bet nepateikė jos prigimties paaiškinimo. Jis rašė: „Šių gravitacijos savybių priežasties aš ligi šiol negalėjau išvesti iš reiškinių, o hipotezių aš neišgalvoju. Visa, kas neišplaukia iš reiškinių, turi būti vadinama hipoteze, o metafizinėms, fizinėms, mechaninėms hipotezėms, paslėptomis savybėms ne vieta eksperimentinėje filosofijoje.“ Tie Newton'o žodžiai iš esmės nukreipti prieš tuo metu vyravusią spekuliatyvią Descartes'o gamtos filosofiją.

Tame pačiame trečiajame „Pagrindų“ skyriuje I. Newton'as pritaikė visuotinės traukos dėsnį svarbioms dangaus mechanikos problemoms spręsti: jis išnagrinėjo Mėnulio judėjimą veikiant ne tik Žemei, bet ir Saulei, t. y. apytiksliai išsprendė trijų kūnų problemą, pateikė potvynių ir atoslūgių teoriją, aprašė kometų judėjimą ir kt.

Taigi nors visuotinės traukos idėją iškėlė dar Newton'o pirmtakai, jis pirmasis griežtai, bendru pavidalu suformulavo dėsnį ir, juo naudodamasis, išplėtojo teorinę dangaus mechaniką.

Visuotinės traukos dėsnio atradimas parodė, kad gamtoje egzistuoja bendri griežti dėsniai ir žmogaus protas geba juos atskleisti – tai turėjo didelę filosofinę reikšmę.

Vis dėlto dauguma to meto fizikų ne iš karto pripažino I. Newton'o visuotinės traukos teoriją. Jie buvo įpratę, kad fizikos teorija paaiškintų reiškinio prigimtį, o Newton'as tenkinosi tik matematinio dėsnio formulavimu. Tai netgi priminė scholastų naudojimąsi paslėptomis savybėmis – „tuštumos baime“, kūnų siekimu užimti jiems skirtą vietą ir pan., nors jos buvo ne tik neaprašytos matematiškai, bet ir aiškiai neapibrėžtos.

Tad greta Newton'o šalininkų buvo nemažai ir jo priešininkų, o gausūs Descartes'o sekėjai nenorėjo atsisakyti jo spekuliatyvios, kokybinės,

bet vaizdžios sūkurių teorijos. Tik palaipsniui sėkmingas Newton'o teorijos taikymas nulėmė jos pripažinimą.

6.3. KLASIKINĖS MECHANIKOS PAGRINDAI

Apibendrinamas savo pirmtakų G. Galilei, R. Descartes'o, C. Huygens'o mechanikos atradimus, I. Newton'as „Gamtos filosofijos matematinuose pagrinduose“ sukūrė teorinius klasikinės mechanikos pagrindus: apibrėžė pagrindines jos sąvokas ir suformulavo jo vardu dabar vadinamus tris dėsnius kaip mechanikos principus, kuriais remiantis galima aprašyti visus mechaninius reiškinius.

I. Newton'o veikalas parašytas griežtu matematiniumi stiliumi, panašiai kaip Eukleides'o ar Archimedes'o veikalai: iš pradžių pateikiami sąvokų apibrėžimai, po to – aksiomos arba principai ir teoremų bei lemų pavidalu įvairių mechanikos problemų sprendimai.

I. Newton'as postulavo absoliučiąją erdvę ir absoliutųjį laiką. Erdvė – begalinė, vienoda visomis kryptimis, nepriklausanti nuo joje esančių kūnų savybių. Laikas – neturintis nei pradžios, nei pabaigos, nepriklausantis nuo ko nors kito ir nekeičiantis savo tėkmės. Tokia erdvės ir laiko samprata, išplaukianti iš to meto patirties, buvo priimta klasikinėje fizikoje, ir tik XX a. pradžioje reliatyvumo teorija atskleidė šio požiūrio ribotumą ir pateikė bendresnę erdvės ir laiko sampratą.

I. Newton'as pirmasis aiškiai atskyrė svorio ir masės sąvokas bei parodė pastarosios sąvokos fundamentalumą. Jis apibrėžė masę taip: „Materijos kiekis (masė) yra jos matas, nustatomas proporcingai tankiui ir tūriui.“ Skirtingai nuo dabartinio tankio apibrėžimo (vienetinio tūrio masė), Newton'as tankį laikė pirmine sąvoka – jis įsivaizdavo kūnus esant sudarytus iš vienodų pirminių dalelių, tad tankį suprato kaip tokių dalelių skaičių vienetiniame tūryje. Aiškindamas masės sąvoką, Newton'as rašė: „Masė nustatoma pagal kūno svorį, nes ji yra proporcinga svoriui, tuo aš įsitikinau atlikdamas tikslius bandymus su švytuoklėmis.“ (Taigi jis turėjo galvoje įprastinius matavimus Žemės paviršiuje.) Būtent visuotinės traukos dėsnis leido atskirti masės ir svorio sąvokas, o atsižvelgiant į griežtą jėgos apibrėžimą, fizikams teko įvesti dar vieną – *sunkio* sąvoką apibūdinti jėgai, kuria Žemė traukia kūną (svarstyklėmis matuojamas svoris – tai jėga, kuria Žemės traukiamas kūnas veikia atramą ar pakabą).

I. Newton'as teigė, kad masė apibūdina ne tik kūno gravitacines, bet ir inercines jo savybes, t. y. kūno gebėjimą išlaikyti rimties arba tolygiojo tiesiaieigio judėjimo būseną. Vis dėlto gravitacinės ir inercinės masių lygybėje Newton'as neįžvelgė svarbaus gamtos principo, jis vėliau buvo suformuluo-

[12]

A X I O M A T A S I V E L E G E S M O T U S

Lex. I.

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.

Projectilia perseverant in motibus suis nisi quatenus a resistentia aeris retardantur & vi gravitatis impelluntur deorsum. Trochus, cujus partes cohaerendo perpetuo retrahunt sese a motibus rectilineis, non cessat rotari nisi quatenus ab aere retardatur. Majora autem Planetarum & Cometarum corpora motus suos & progressivos & circulares in spatio minus resistentibus facilius conservant diutius.

Lex. II.

Motionem motus proportionalem esse vi motrici impressae, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Si vis aliqua motum quemvis generet, dupla duplum, tripla tripulum generabit, five simul & femel, five gradatim & successive impressa fuerit. Et hic motus quoniam in eandem semper plagam cum vi generatrice determinatur, si corpus antea movebatur, motui ejus vel conspiranti additur, vel contrario subducitur, vel oblique oblique adjicitur, & cum eo secundum utriusque determinationem componitur.

Lex. III.

6.6 pav. „Gamtos filosofijos matematinių pagrindų“ puslapis, kuriame aprašyti pirmasis ir antrasis Newton'o dėsniai.

I. Newton'as pažymėjo, kad pirmuosius du dėsnius jau taikė G. Galilei ir visus tris C. Huygens'as bei kai kurie jų amžininkai. Panašios nuorodos ne itin būdingos Newton'ui, o šiuo atveju jis netgi perdėjo savo pirmtakų nuopelnus, nes iš tikrųjų nė vienas iš jų nebuvo pateikęs pakankamai bendros ir griežtos formuluotės. Be to, Newton'as pirmasis įžvelgė, kad šių dėsnų pakanka mechaniniams reiškiniams paaiškinti, kad tai yra pagrindiniai mechanikos principai.

I. Newton'as pritaikė šiuos dėsnius ne tiktai dangaus mechanikos problemoms, minėtoms praeitame poskyryje spręsti, bet ir aprašyti judėjimui, kai veikia jėga $F \sim r^{-1}$, taip pat esant trinčiai ir aplinkos pasipriešinimui, bei kitiems atvejams. Jis išvystė bangų sklaidimo tamprioje terpėje teoriją (tarp kitko, įvedė bangos ilgio sąvoką) ir tuo būdu akustiką įtraukė į mechaniką.

Visa tai „Pagrinduose“ aprašyta labai meistriškai, naudojantis geometriniais įrodymais, bet visai nepasitelkiant jo atrasto fluenčių ir fluksijų metodo. Galbūt Newton'as derinosi prie skaitytojų, kurie buvo įpratę taikyti geometrinį metodą, o gal ir jis pats dar nebuvo suvokęs visų naujojo metodo pranašumų, nes efektyvūs diferencialinio ir integralinio skaičiavimo būdai

tas bendrojoje reliatyvumo teorijoje.

Masės sąvoka Newton'as pasinaudojo judėjimo kiekiui apibrėžti: „Judėjimo kiekis yra judėjimo matas, nusakomas greičiu ir materijos kiekiu kartu.“

Jėgos kaip judėjimo priežasties sąvoką jau vartojo G. Galilei ir J. Kepler'is. I. Newton'as pateikė tokį jėgos apibrėžimą: „Veikianti jėga yra veikimas į kūną, norint pakeisti jo rimties arba tolygiojo tiesiaiegio judėjimo būseną.“ Toliau pateiktame paaiškinime sakoma: „Jėga pasireiškia tiktai veikimo metu, o jam pasibaigus, kūne neišlieka.“

I. Newton'as suformulavo tris pagrindinius mechanikos dėsnius panašia forma, kaip ir dabar jie pateikiami vadovėliuose. Tiesa, jis neužrašė tų dėsnų formulėmis. Dėsniai buvo paaiškinti įvairiais pavyzdžiais.

buvo išvystyti tik vėliau daugelio mokslininkų pastangomis.

Griežtas mechanikos pagrindų formulavimas atvėrė naujas šio mokslo plėtojimo perspektyvas, kurias įgyvendino XVIII a. mokslininkai. Mechanika tapo pavyzdžiu kitoms fizikos sritims bei kitiems gamtos mokslams. Sustiprėjo įsitikinimas, kad būtent mechanika sudaro fizikos pagrindą. „Būtų pageidautina, remiantis mechanikos pagrindais, paaiškinti ir kitus gamtos reiškinius“, – rašė I. Newton’as, ir tai tapo programa ištisoms mokslininkų kartoms.

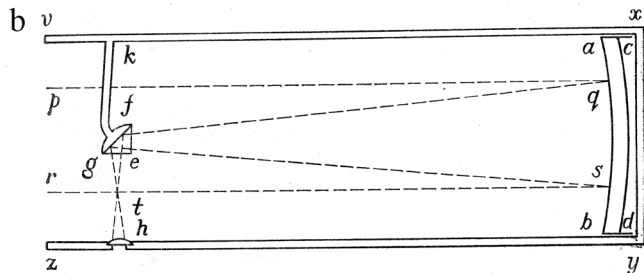
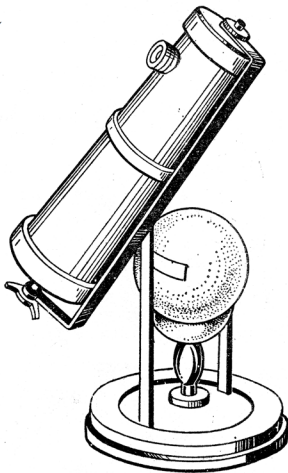
6.4. I. NEWTON’O OPTIKA

Pagrindiniai I. Newton’o darbai iš optikos buvo atlikti 1664–1680 m. Taigi mechanikoje Newton’as atsiskleidė kaip teorijos genijus, o optikoje – kaip eksperimento genijus.

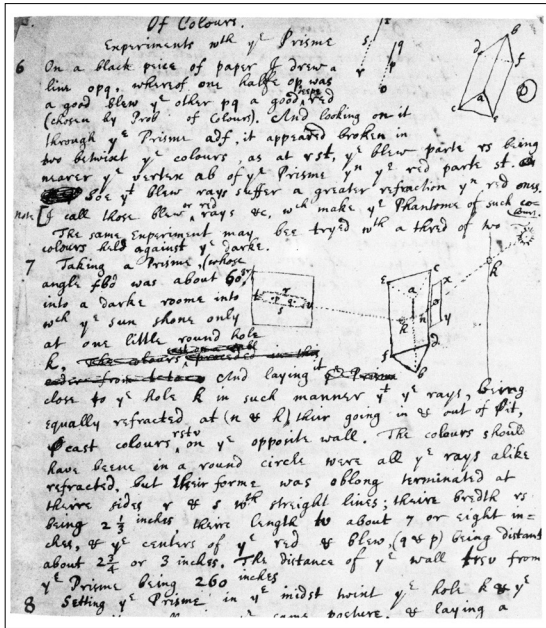
I. Newton’as pasižymėjo kaip nepaprastai išradingas ir kruopštus eksperimentatorius dar kurdamas teleskopą reflektorių. Šiam darbui jį paskatino neteisinga išvada, kad teleskope, sudarytame iš lęšių, neįmanoma išvengti spalvinės aberacijos – iškraipymo, pasireiškiančio atvaizdo kraštų nuspalvinimu. I. Newton’as ėmėsi konstruoti teleskopą su įgaubtuoju veidrodžiu. Ši idėja nebuvo nauja ir netgi keli mokslininkai mėgino – ne itin sėkmingai – kurti tokių prietaisų, bet Newton’as, matyt, nesidomėjo savo pirmtakų darbais. Jis sugalvojo originalią konstrukciją (6.7 pav.), atliko specialius tyrimus jai optimizuoti, daugiau nei dešimt metų kūrė ir tobulino prietaisą. Dabar šio tipo teleskopus astronomai naudoja plačiausiai.

I. Newton’as atliko daugelį bandymų tirdamas šviesos dispersiją.

a



6.7 pav. I. Newton’o teleskopas (a) ir jo schema (b). Įgaubtasis veidrodys ab surenka spindulius židinyje e , kur esanti visiško vidaus atspindžio prizmė nukreipia juos į okuliarą h teleskopo šone. Teleskopo ilgis tik 15 cm, veidrodžio skersmuo – 5 cm.



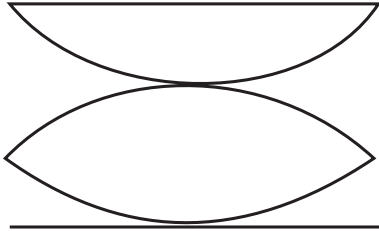
6.8 pav. I. Newton'o rankraštis su šviesos dispersijos bandymo schema.

Kartais vadovėliuose teigiama, kad jis ir atrado šį reiškinį – baltosios šviesos spindulio išsiskleidimą į įvairių spalvų spindulius jam pereinant per stiklinę prizmę. Iš tikrųjų ta prizmės savybė buvo gerai žinoma, tik manyta, kad spalvos atsiranda prizmei iškraipant baltąją šviesą. Newton'as įvairiais bandymais įtikinamai įrodė, kad pati baltoji šviesa yra sudaryta iš įvairių spalvų spindulių, o prizmė tik išskleidžia juos, turinčius skirtingą lūžio rodiklį. Jis atliko klasikinius bandymus, kurie ir dabar demonstruojami nagrinėjant šviesos dispersiją: antroji apversta prizmė vėl sumaišo spalvotus

spindulius į baltąją šviesą, o vienos spalvos spinduliai nebėra išskleidžiami prizme ir pan. Tikrindamas vieną iš hipotezių, kad stebima tik Saulės šviesos dispersija, kylanti dėl didelių Saulės kampinių matmenų, I. Newton'as atliko kruopštų bandymą išskleisdamas Veneros šviesą. Vis dėlto nuomonė, kad baltoji šviesa yra pirminė, buvo taip įsigalėjusi tarp fizikų ir filosofų, kad net akivaizdūs Newton'o rezultatai nebuvo iš karto pripažinti.

I. Newton'as atliko to meto eksperimento šedevrą analizuodamas optinį reiškinį, pirmą kartą stebėtą R. Hooke'o. Uždėjus plokščiai iškilą lęšį ant abipus iškilo lęšio (6.9 pav.) ir žiūrint į juos iš viršaus, aplink lęšių lietimosi tašką matomi koncentriniai spalvoti žiedai (Newton'o žiedai). Apšvietus juos vienos spalvos šviesa, atsirasdavo tik tos spalvos žiedai. I. Newton'as kruopščiai išmatavo žiedų skersmenis ir nustatė, kad jie didėja proporcingai kvadratinei šakniai iš jų eilės numerio. Tai liudijo šviesos periodiškumą. Užpildęs tarpą tarp lęšių vandeniu, Newton'as nustatė, kad žiedų skersmenys sumažėjo proporcingai pakitusiam lūžio rodikliui.

Newton'o žiedai susidaro dėl šviesos, atsispindėjusios nuo dviejų paviršių, interferencijos. Tačiau I. Newton'as manė, kad banginė šviesos teorija yra sunkiai suderinama su tiesiaiegiu šviesos spindulio sklidimu. Netgi C. Huygens'as ir R. Hooke'as, plėtoję banginę šviesos teoriją, neįžvelgė, kad žiedų matmenys leidžia nustatyti šviesos bangos ilgį.



6.9 pav. Du vienas ant kito uždėti
lęšiai Newton'o žiedams stebėti.

šviesos korpuskulės, o jų greitis medžiagoje yra didesnis negu ore. I. Newton'as matė ir banginės šviesos teorijos pranašumus, tad mėgino derinti tas dvi teorijas: korpuskulėje kažkas virpa, ir ji tuos virpesius perduoda erdvę užpildančiam eteriui sukeldama jo bangas. Korpuskulei artėjant prie dviejų terpių ribos, tos bangos atsispindi nuo jos ir keičia dalelės įsiskverbimo į medžiagą sąlygas. Ši hipotezė leido paaiškinti ir Newton'o žiedų susidarymą.

Taigi optikoje I. Newton'as nesilaikė savo principo nekelti spekuliatyvių hipotezių. Vis dėlto pagrindinėje „Optikos“ dalyje jos buvo pateiktos labai atsargiai, vengiant kategoriškų teiginių, ir tik veikalo priede, pavadintame „Klausimai“, Newton'as leido sau išdėstyti įvairias hipotezes ir idėjas, netgi prieštaraujančias viena kitai. Vėlesniuose „Optikos“ leidimuose tie klausimai buvo papildomi ir paskutiniame leidime jų susidarė net 31. Plačiausiai buvo svarstomas eterio egzistavimas – septyniuose klausimuose pateikti argumentai jo egzistavimo naudai, o kituose keturiuose jis neigiamas. Čia Newton'as aptarė ir šviesos prigimtį, jos savybes ir kylančias problemas. I. Newton'as pirmą kartą iškėlė šviesos poliarizacijos idėją (galbūt šviesos dalelės nėra simetriškos) bei kitus įdomius klausimus, kuriuos po keleto amžių išsprendė reliatyvumo teorija: „Ar šviesa nevirsta medžiaga, o medžiaga – šviesa?“, „Ar neveikia kūnai į šviesą, išlenkdami jos spindulius?“. „Optikos“ priede „Klausimai“ I. Newton'as aptarė ir medžiagos struktūros atomistinį modelį. Skirtingai nuo kitų to meto fizikų, Newton'as manė, kad nedalomos dalelės gali sąveikauti ne tik liedsamosi viena su kita, bet ir per atstumą. „Gravitacinė, elektrinė ir magnetinė traukos, – rašė Newton'as, – nusitęsia gana dideliais atstumais ir taip jų veikimas yra betarpiškai matomas; tačiau gali egzistuoti ir kitokios traukos, veikiančios tik labai mažais atstumais, kurie ligi šiol nėra stebimi.“ Jis iškėlė hierarchinės medžiagos struktūros idėją: „Mažiausios materijos dalelės gali susijungti labai stipria trauka ir sudaryti didesnes, bet silpnesnes daleles; daugelis iš jų gali sukibtį viena su kita ir sudaryti dar didesnes daleles, susietas dar silpnesne jėga, – ir taip vyksta palaiptams, kol seka užsibaigia pačiomis didžiausiomis dalelėmis, nuo kurių priklauso che-

I. Newton'as išplėtojo korpuskulinę šviesos teoriją, teigiančią, kad šviesą sudaro iš spinduliuojančių kūnų visomis kryptimis dideliu greičiu išlekiančios dalelės – korpuskulės. Įvairių spalvų spindulių korpuskulės yra skirtingo dydžio. Ši teorija gerai paaiškino tiesiaeigį šviesos sklidimą ir atspindį, betgi, išvedant šviesos lūžimo dėsnį, teko daryti prielaidas, kad medžiagos dalelės traukia

minis veikimas ir gamtos kūnų spalvos; sukimbant tokioms dalelėms susidaro gana stambūs kūnai.“

Taigi I. Newton'as pasižymėjo ir kaip hipotezių kūrėjas, turintis puikią mokslinę intuiciją.

SANTRAUKA

I. Newton'as apibendrina savo pirmtakų fizikos atradimus ir sukūrė klasikinės fizikos pagrindus. Jis griežtai suformulavo vieną bendriausių gamtos dėsnių – visuotinės traukos dėsnį, kuris paaiškino tiek dangaus kūnų judėjimą, tiek kūnų svorio prigimtį bei įrodė dangaus ir Žemės reiškinių vieningumą. I. Newton'as padarė išvadą, kad veikiami šios jėgos Saulės sistemos kūnai turi judėti elipse, parabole arba hiperbole. Jis išsprendė svarbias dangaus mechanikos problemas ir suformavo jos pagrindus.

Savo svarbiausiame veikalė „Gamtos filosofijos matematiniai pagrindai“ I. Newton'as apibrėžė absoliučiąją erdvę ir absoliutųjį laiką, taip pat pagrindines mechanikos sąvokas – masę, jėgą ir kt. Jis bendru pavidalu suformulavo tris pagrindinius mechanikos dėsnius, dabar vadinamus Newton'o dėsniais, ir įžvelgė, kad jais remiantis galima iš principo aprašyti visus mechaninius reiškinius. Tuo būdu jis padėjo klasikinės mechanikos pagrindus. O kadangi mechanika buvo svarbiausia fizikos dalis ir pavyzdys plėtojant kitas fizikos sritis, tai I. Newton'as nulėmė ir visos klasikinės fizikos esminius bruožus. Jo veikalas „Gamtos filosofijos matematiniai pagrindai“ tapo neprilygstamu idealu daugeliui fizikų kartų, formavo mokslo metodus, pažiūras ir tradicijas, t. y. klasikinės fizikos paradigmą.

Mechanikoje I. Newton'as pasižymėjo kaip teorinis genijus, o optikoje jis pasireiškė kaip genialus eksperimentatorius. I. Newton'as sukonstravo naujo tipo teleskopą reflektorių, išradingais bandymais įrodė, kad baltoji šviesa yra įvairių spalvų šviesos mišinys, kurį išskleidžia prizmė, t. y. paaiškino šviesos dispersiją, o tirdamas vadinamuosius Newton'o žiedus pastebėjo šviesai būdingą periodiškumą. I. Newton'as išplėtojo korpuskulinę šviesos teoriją, nors jis nebuvo kategoriškas jos šalininkas – matė ir korpuskulinės, ir banginės teorijų pranašumus bei trūkumus.

I. Newton'as ir nepriklausomai G. Leibniz'as sukūrė diferencialinį ir integralinį skaičiavimą, kuris netrukus tapo pagrindiniu metodu kintantiems fizikiniams reiškiniams nagrinėti.

VII. MECHANIKA IR ŠILUMOS FIZIKA XVIII A.

7.1. LAIKOTARPIO IR MOKSLO RAIDOS CHARAKTERISTIKA

XVIII a. – sparčių visuomeninių pokyčių Europoje amžius. Jo pradžioje daugelyje šalių įsivyravo absoliutinė monarchija – feodalai jau nebedrįso, o liaudis dar nedrįso prieštarauti karaliui. O jau amžiaus pabaigoje per Vakarų Europą, pradedant Prancūzija, nusirito revoliucijų banga; jos, taip pat Napoleon'o karai, gerokai apgriovė feodalinę santvarką ir atvėrė kelią kapitalizmui. To meto lyderė – Anglija, kurioje revoliucija įvyko dar XVII a., o po sėkmingų karų su Nyderlandais ir Ispanija ji tapo pasauline kolonijine valstybe. XVIII a. pradžioje Anglija ir Škotija susijungė į Didžiąją Britaniją. Tiesa, to amžiaus pabaigoje viena iš pagrindinių jos kolonijų Šiaurės Amerikoje išsikovojo nepriklausomybę ir susikūrė Jungtinės Amerikos Valstijos.

Būtent Didžiojoje Britanijoje XVIII a. prasidėjo pramonės revoliucija, kuri to amžiaus antroje pusėje apėmė ir kitas išsivysčiusias Vakarų Europos šalis bei JAV. Nenašų rankų darbą ėmė keisti mašinos, varomos vėjo, vandens ir garo jėgos. Jas kūrė praktikai; pirmosios aukštosios technikos mokyklos atsirado tik XVIII a. viduryje, tačiau ir jose buvo dėstoma ne to meto mechanika, bet paprastųjų mechanizmų ir medžiagų atsparumo pagrindai. Fizikos ryšys su technika tebebuvo silpnas: fizikai dar neįstengė spręsti sudėtingų praktinių uždavinių, o gamybininkai labiau pasikliovė empiriniais metodais. Vis dėlto sparti technikos raida skatino visuomenės domėjimąsi tiksliaisiais mokslais, o technikos problemos nurodydavo fizikams naujas tyrimų kryptis. Antai mašinų veikimo klausimai paskatino pereiti nuo materialijų taškų mechanikos prie kietųjų kūnų ir terpių mechanikos, o metalurgijos įrangos ir garo mašinos sukūrimas suteikė akstiną plėtoti šilumos fiziką. Betgi fizika liko fundamentiniu mokslu, mokslininkai, su retomis išimtimis, nesirūpino praktiniu savo rezultatų taikymu.

XVIII a. pabaigoje, atsižvelgiant į ūkio ir mokslo poreikius, Prancūzijoje buvo įvesta metrinė vienetų sistema, pagrįsta metro ir kilogramo etalonais. Napoleon'as savo karų metu sistemą išplatino visoje Europoje.

XVIII a. mokslo raida tapo nuoseklesnė ir sistemingesnė, mokslininkų skaičius sparčiai augo, bet jie tebedirbo pavieniui, tiesa, palaikydami glaudžius tarpusavio ryšius. Sumenko universitetų vaidmuo, nes juose tvirtas pozicijas išlaikė viduramžių mokslas. Naujojo mokslo atstovai jungėsi į akademijas, kurios kūrėsi ne tik įvairiose šalyse, bet ir atskiruose tos pačios šalies

miestuose ar kraštuose. Remiamos valdovų ar apsišvietusių didikų, akademijos neretai skelbdavo konkursus vienai ar kitai svarbiai problemai spręsti – tai buvo pirmosios planingo mokslo užuomazgos.

XVIII a. fizika nustojo būti laikoma gamtos filosofija, be to, nuo jos galutinai atsiskyrė astronomija, geologija, minerologija ir kiti gamtos mokslai. Tad fizika įgijo šiuolaikinę prasmę – mokslo, tiriančio paprasčiausius ir kartu bendriausius gamtos dėsningumus.

Amžiaus pradžioje fizikoje tebevyko atkakli kova tarp I. Newton'o ir R. Descartes'o šalininkų, bet trečiajame dešimtmetyje daugelis mokslininkų įsitikino I. Newton'o idėjų vaisingumu aiškinant naujus mokslo faktus. Mokslo visuomenė priėmė ne tik Newton'o teorijas, bet ir jo metodą, mokslo sampratą, t. y. jo suformuotą paradigmą.

Ne tik mechaninius, bet ir optinius, šiluminius, elektrinius reiškinius buvo mėginama aiškinti tam tikrų dalelių judėjimu veikiant elektrinėms, magnetinėms ar cheminėms jėgoms. Einant tuo keliu, teko įvesti hipotetines substancijas – besvorius skysčius (fluidus), kurių dalelės išsiskverbiančios į medžiagą ir sąveikaujančios su jos dalelėmis. Deja, tie mechaniniai modeliai buvo nelabai naudingi netgi šilumos fizikai – svarbiausi atradimai buvo padaryti bandymų keliu, kuriant naujus ir tobulinant anksčiau išrastus prietaisus. Užtat Newton'o idėjos pasirodė nepaprastai vaisingos mechanikoje: XVIII amžiuje įžymių mokslininkų plejada išplėtojo – ant I. Newton'o sukurtų pagrindų – didingą ir graikšnią klasikinės mechanikos teoriją.

Apie šiluminių ir elektrinių reiškinių tyrimus bus plačiau rašoma šiame ir tolesniuose skyriuose. Optikos pasiekimai XVIII a. buvo gana kuklūs, juos čia trumpai paminėsime. Optikoje dėl Newton'o autoriteto įsivyravo korpuskulinė šviesos teorija, nors jos naudai nebuvo pateikta naujų svarių argumentų. 1727 m. J. Bradley atrado ir paaiškino aberacijos reiškinį – nustatė, kad žvaigždžių regimosios padėtys truputį keičiasi sukantis Žemei aplink Saulę; tai liudijo, kad šviesos greitis yra baigtinis. Atsirado nauja taikomoji optikos sritis – fotometrija; jos pavadinimas, pagrindiniai dydžiai (ryškis, apšvieta) ir svarbiausi dėsniai (apšvietos priklausomybė nuo kritimo kampo ir atstumo iki šaltinio) buvo pateikti vokiečio Johann'o Lambert'o (1728–1777) veikale „Fotometrija, arba apie šviesos, spalvų ir šešėlių matavimą ir lyginimą“ (1760 m.). Esminį indėlį į fotometriją taip pat įnešė prancūzas Pierre'as Bouguer (1698–1758), kuris išrado fotometrą ir nustatė eksponentinį šviesos sugerties dėsnį jai pereinant oro sluoksni. Optinių instrumentų, tarp jų – teleskopų, kokybę padėjo pagerinti išrasti achromatiniai (neiškraipantys baltosios šviesos) lęšiai.

7.2. KLASIKINĖS MECHANIKOS SUKŪRIMAS

Trijų Newton'o dėsnų iš principo pakanka bet kokiam mechaniniam reiškiniui aprašyti. Tačiau nagrinėjimas remiantis pirminiais principais dažnai būna sudėtingas ir neracionalus, daug patogiau naudotis konkrečiomis lygtimis, aprašančiomis atskirus judėjimo atvejus ar mechanines sistemas. Newton'o veikale taikytas geometrinis nagrinėjimo metodas reikalavo ypatingų gebėjimų, patogesnis pasirodė integralinis ir diferencialinis skaičiavimas Leibniz'o pasiūlyta forma, nors ir jo platesnis taikymas buvo įmanomas tik išplėtojus matematinės analizės metodus. Taigi XVIII a. grupė mokslininkų, dirbusių fizikos ir matematikos srityse – L. Euler'is, D. Bernoulli, J. d'Alembert, J. Lagrange'as, P. Laplace'as ir kiti, sukūrė matematinę, arba analizinę, mechaniką, aprašančią ne tik materialiojo taško, bet ir kietojo kūno bei skysčio judėjimą. Mechanikai buvo suteiktas griežtas ir grakštus pavidalas. Jos kūrėjai ne visada sutiko su Newton'u, bet iš tikrųjų jie sąmoningai ar nesąmoningai rėmėsi jo idėjomis, įgyvendino jo atskleistas perspektyvas.

Žymiausias analizinės mechanikos kūrėjas – Leonhard'as Euler'is (1707–1783). Gimęs Šveicarijoje, jis ilgą laiką dirbo Rusijoje ir Vokietijoje. L. Euler'is – XVIII amžiaus „pirmasis matematikas“, jis atliko fundamentalių darbų iš įvairių matematikos sričių: buvo kompleksinio kintamojo teorijos, variacinio skaičiavimo, specialiųjų funkcijų teorijos pradininkas, išplėtojo integralinį skaičiavimą ir diferencialinių lygčių teoriją. Daugelį savo matematinių rezultatų jis taikė mechanikoje, o jos uždaviniai jam teikė kūrybinių paskatų matematiniais ieškojimams. L. Euler'is kūrė ir optikos, šilumos, elektros, magnetizmo teorijas, tačiau jos buvo paremtos eterio bei kitų substancijų egzistavimu, tad neprarado vertės tik kai kurie rezultatai. Jis pasižymėjo nepaprastu produktyvumu: parašė apie 850 darbų, iš jų 20 veikalų. Netgi dėl įtempto darbo apakęs, Euler'is išliko labai kūrybingas ligi pat mirties.

Fundamentalus L. Euler'io mechanikos veikalas – „Mechanika, arba mokslas apie judėjimą, išdėstytas analiziškai“ (1736 m.). Čia jis, nuosekliai taikydamas daugiausia savo paties išplėtotus diferencialinio ir integralinio skaičiavimo metodus, aprašė materialiojo taško laisvąjį ir suvaržytą judėjimą tuštumoje bei terpėje. 1746 m. L. Euler'is suformulavo judėjimo kiekio momento tvermės dėsnį.

Veikale „Kietųjų ir standžiųjų kūnų judėjimo teorija“ (1765 m.) L. Euler'is padėjo kietųjų kūnų mechanikos pagrindus, sukūrė inercijos momentų teoriją, aprašė sukamąjį judėjimą, taip pat ir vilkelio sukimąsi. Tame veikale jis įvedė funkciją, kuri vėliau buvo pavadinta potencialu.

L. Euler'is kartu su D. Bernoulli buvo pagrindiniai skysčių mechanikos kūrėjai. D. Bernoulli (1700–1782) – žymiausias Bernoulli mokslinės dinastijos atstovas, kaip ir Euler'is, gyveno ir dirbo įvairiose šalyse. Bernoulli išvedė idealiojo skysčio stacionaraus judėjimo lygtį (Bernoulli lygtis). Jis išsprendė svarbių hidrostatikos ir hidrodinamikos uždavinių. L. Euler'is aprašė spūdziųjų ir nespūdziųjų skysčių judėjimą veikiant įvairioms jėgoms.

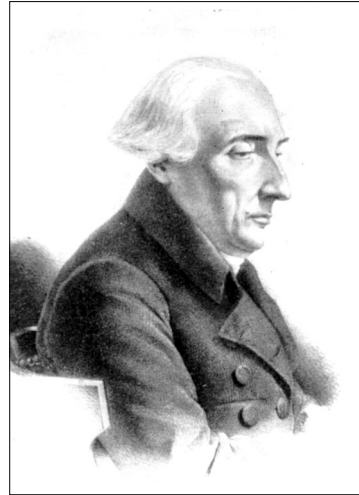
Šie du mokslininkai gavo esminių rezultatų ir iš teorinės akustikos. L. Euler'is aprašė stygos svyravimus. Jis nagrinėjo ir strypų bei plokštelių virpėjimą, bet tie teoriniai rezultatai, gauti naudojantis supaprastintais modeliais, ne visi išlaikė eksperimentinį patikrinimą, kurį vėliau atliko vokiečių fizikas E. Chladni (1756–1827). Jis yra laikomas eksperimentinės akustikos kūrėju. XVIII a. pabaigoje nemažą mokslininkų ir net visuomenės susidomėjimą sukėlė vadinamosios Chladni figūros – gražios simetriškos figūros, kurios atsiranda pabarsčius svyruojančią plokštelę smėliu. Be to, Chladni nustatė strypo svyravimo dėsnius.

Po L. Euler'io „Mechanikos“ kitas paskelbtas esminis mechanikos veikalas buvo J. d'Alembert „Traktatas apie dinamiką“ (1743 m.). Jean'as d'Alembert (1717–1783) išgarsėjo kaip vienas iš žymiosios prancūzų „Enciklopedijos“ leidėjų ir redaktorių, taip pat daugelio jos straipsnių autorius. 1751–1780 m. buvo išleisti net 36 šio „aiškinamojo mokslų, menų ir amatų žinyno“ tomai. „Enciklopedija“ ne tik supažindino su pagrindiniais civilizacijos laimėjimais, bet ir kritikavo pasenusias pažiūras, kėlė racionalizmo ir švietimo idėjas, tad buvo viena iš priežasčių, paskatinusių Didžiąją Prancūzijos revoliuciją. „Traktatas“ buvo parašytas prieš „Enciklopedijos“ išleidimą. Jame J. d'Alembert stengėsi mechaniką paversti abstrakčia matematine teorija, kuri remtųsi ne iš eksperimento išplaukiančiais fizikos principais, o aksiomomis. J. d'Alembert suskirstė jėgas, veikiančias materialiuųjų taškų sistemą, į „judinančias“ jėgas, kurios suteikia pagreitį, ir „prarastąsias“ jėgas, kurias atsveria ryšių reakcijos jėgos. Įvedus dar inercijos jėgas, lygias kiekvieno materialiojo taško masės ir jo pagreičio sandaugai su minuso ženklu, dinamikos uždavinį galima pakeisti paprastesniu statikos uždaviniu. Šis d'Alembert principas plačiai naudojamas taikomojoje mechanikoje.



7.1 pav. Leonhard Euler.

Analizinės mechanikos kūrimą vainikavo prancūzų matematiko ir fiziko Joseph'o Louis Lagrange'o (1736–1813) veikalas „Analizinė mechanika“ (1788 m.). J. Lagrange'as – vienas žymiausių XVIII a. antros pusės matematikų ir mechanikų, labai kūrybingai dirbęs abiejose srityse. Jis įvedė mechaninės sistemos būdingąją funkciją (lagranžianą), priklausančią nuo apibendrintųjų koordinačių, ir, pritaikęs d'Alembert bei mažiausių poslinkių principus, užrašė bendras lygtis, aprašančias sistemos judėjimą (Lagrange'o lygtys). Tai leido pateikti mechaniką labai grakščia ir racionalia forma, mažai besiskiriančia nuo šiuolaikinės. Lagrange'o veikalas susiejo mechanikos principus, konkrečių sistemų nagrinėjimą ir lygčių sprendimą į vieningą visumą. „Analizinėje mechanikoje“ buvo pateikta daug naujų matematinių metodų mechanikos uždaviniams spręsti.



7.2 pav. Joseph Lagrange.

Tarp didžiųjų XVIII a. mechanikų savitą vietą užima Pierre'as Simon'as Laplace'as (1749–1827). Jis išplėtojo dangaus kūnų mechaniką ir ją išdėstė fundamentaliame penkių tomų veikale „Dangaus mechanikos traktatas“ (1798–1825). Daugelio kūnų problema nėra išsprendžiama tiksliai, tad P. Laplace'as pasiūlė įvairius artutinio skaičiavimo metodus ir juos pritaikė planetų bei jų palydovų judėjimui aprašyti. Jis teoriškai įrodė Saulės sistemos stabilumą ir pasiūlė jos kilmės hipotezę. P. Laplace'o darbai iš šilumos ir elektros fizikos minimi atitinkamuose poskyriuose.

Paaiškėjus, kad mechaninės sistemos ateitį vienareikšmiškai nulemia jos dalelių padėtys bei greičiai pradinio laiko momentu ir veikiančios jėgos, buvo padaryta išvada, kad iš mechanikos išplaukia griežtas determinizmas. Jei viskas gamtoje yra sudaryta iš vienokių ar kitokių dalelių, kurioms galioja mechanikos dėsniai (tuo metu tai buvo paplitusi nuomonė), tai bet kurio reiškinio ateitis yra vienareikšmiškai nulemta praeities. Plačiai žinomi tapo P. Laplace'o žodžiai, kad „Intelektas, kuris tam tikru laiko momentu žinotų visas jėgas, veikiančias gamtoje, ir visų sudėtinių jos dalių padėtis, kuris, be to, būtų toks galingas, kad išanalizuotų šiuos duomenis, aprėptų viena formule tiek didžiausių Visatos kūnų, tiek lengviausių atomų judėjimą, – neliktų nieko, kas būtų neaišku ir netikra, – jis numatytų ir ateitį, ir praeitį.“ Tik XIX a. paaiškėjo, kad mechaniniai modeliai aprašo ne visus fizikinius reiškinius, o XX a. teko atsisakyti griežto determinizmo net klasikinėje mecha-

nikoje – paaiškėjo, kad netiesinių lygčių sprendiniai gali būti itin jautrūs pradinėms sąlygoms (drugelio suplazdenimas sparnais kažkur toli už sistemos ribų gali pakeisti sprendinį). O kadangi pradinių sąlygų neįmanoma žinoti be galo dideliu tikslumu, tai ir lygčių sprendiniai ilgesniam laiko tarpui pasidaro neapibrėžti. Minėta XVIII a. fizikų kategoriška išvada prisidėjo prie racionalizmo ir materializmo paplitimo.

Taigi mechanika pirmoji iš fizikos ir apskritai gamtos mokslo sričių įgijo griežtą, bendrą ir sistemingą pavidalą. Ji tapo tikslojo mokslo pavyzdžiu. Mechanikos pasiekimai veikė filosofiją ir netgi kultūrą bei visuomenės gyvenimą, nemaža dalimi prisidėjo prie to, kad protas tapo viena iš pagrindinių to meto kultūros kategorijų. XVIII a. vadinamas Švietimo arba Proto amžiumi. Tik jo pabaigoje, kaip reakcija į perdėm racionalią pasaulio sampratą, kilo romantizmo banga. Fizikai romantizmas, rėmęsis intuicija ir betarpišku reiškiniu visumos suvokimu, beveik neturėjo įtakos, nes šis mokslas jau buvo tapęs tiksluoju.

7.3. ŠILUMOS FIZIKA IR ATOMIZMAS

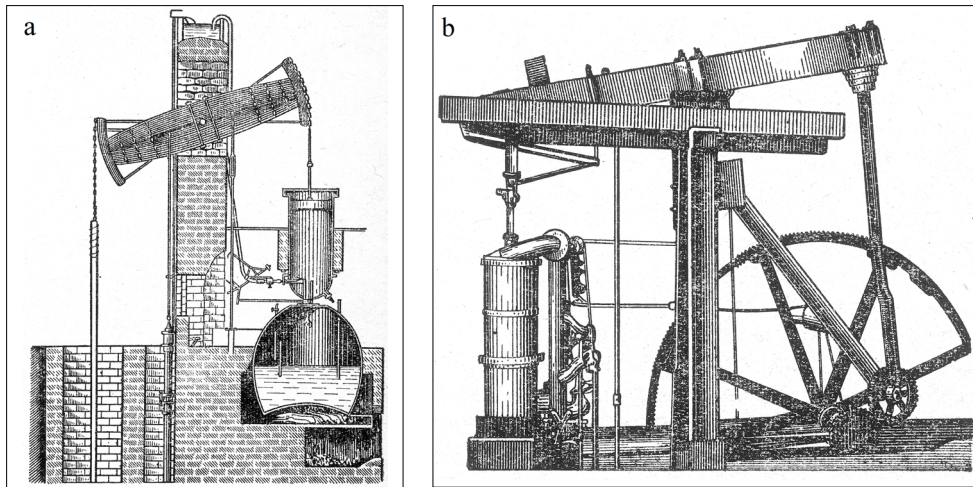
Garų mašinos. XVII a. pabaigoje – XVIII a. pradžioje, atsiradus mechanizmų poreikiui, Anglijoje, pirmaujančioje to meto pramoninėje šalyje, išradėjai praktikai ėmė konstruoti garo mašinas. Pirmąją plačiai naudotą garo mašiną 1705 m. išrado ir užpatentavo anglų kalvis T. Newcomen'as (7.3a pav.). Kaitinant katilė vandeni, garai pro vožtuvą verždavosi į cilindrą ir pakeldavo stūmoklį. Po to vožtuvas būdavo uždaromas, cilindras atšaldomas, garai kondensuodavosi, ir stūmoklis, veikiamas atmosferos slėgio, nusileisdavo žemyn. Tai buvo labai nenaši, daug šilumos eikvojanti mašina, bet ji gana plačiai naudota vandeniui siurbti, ypač iš anglies šachtų ir rūdos kasyklų.

James Watt'as (1736–1819), dirbęs Glazgo universitete laborantu, kartą apsiėmė pataisyti tokią mašiną ir atidžiai ją ištyrinėjo. Jis padarė išvadą, kad pagrindinė mažo mašinos našumo priežastis – garų atšaldymas darbiname cilindre, tad garo mašiną papildė aušintuvu, į kurį būdavo išleidžiami panaudoti garai. Be to, J. Watt'as pasiūlė ir kitus esminius mašinos patobulinimus (garai stumdė stūmoklį į abi puses, buvo įtaisytas slėgio matuoklis ir kt.). Tad paprastai J. Watt'as, o ne T. Newcomen'as laikomas garo mašinos išradėju. Verta paminėti, kad Watt'as įvedė galios vienetą – *arklio jėgą*; šis vienetas, vėliau pervadintas *arklio galia*, buvo vartojamas iki XX a. vidurio.

Taigi to meto fizika dar negalėjo nurodyti technikai vystymosi perspektyvų, bet galėjo padėti tiriant mechanizmų veikimą ir juos optimizuojant.

Temperatūros ir šilumos matavimo prietaisai. Sąvokos ir vienetai.

Garų mašinų paplitimas skatino šilumos fizikos raidą, bet kiekybiniai tyrimai



7.3 pav. T. Newcomen'o (a) ir J. Watt'o (b) garo mašinos.

tapo įmanomi tik sukonstravus termometrus ir kitus prietaisus, leidžiančius atlikti tikslius matavimus, taip pat apibrėžus *šilumos*, *temperatūros* ir kitas pagrindines sąvokas.

1702 m. prancūzų fizikas Guillaume'as Amontons'as (1663–1705) sukūrė gana tikslų orinį termometrą (7.4 pav.). Jį sudarė U raidės pavidalo stiklinis vamzdelis ir prie trumpojo jo galo pritaisytas rutulys. Dalis rutulio ir vamzdelio buvo užpildyta gyvsidabriu, kuris spaudė viršutinėje rutulio dalyje esantį orą. Kylant temperatūrai, oras plėtėsi ir gyvsidabrio stulpelis kilo aukšty. Priešingai, orui vėstant, jo tūris mažėjo tiesiogiai proporcingai temperatūrai. Tuo remdamasis, Amontons'as iškėlė absoliučiojo nulio idėją: „Šio termometro žemiausias šalčio laipsnis bus toks laipsnis, kurį pasiekus oras visai neteks stangrumo; tai, matyt, daug žemesnis šalčio laipsnis negu tas, kurį mes vadiname labai šaltu.“ Pats G. Amontons'as neapskaičiavo absoliučiojo nulio vertės, bet istorikai vėliau nustatė, jog ekstrapoliuojant Amontons'o matavimų rezultatus, absoliutusias nulis būtų lygus $-239,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Amontons'o termometras buvo gana didelis ir nepatogus. Pirmąjį praktišką termometrą, turintį dabartinį pavidalą, 1709 m. sukūrė prietaisų meistras iš Amsterdamo Gabriel'is Fahrenheit'as. Savo skalei graduoti jis panaudojo du fiksuotus taškus: žmogaus kūno temperatūrą, kurią prilygino 96 laipsniams ($96\text{ }^{\circ}\text{F}$), ir šaldančio mišinio (vanduo, ledas ir amonio chloridas) temperatūrą, laikomą lygia 0 laipsnių ($0\text{ }^{\circ}\text{F}$), vėliau buvo įvestas dar trečias – kontrolinis taškas – vandens užšalimo temperatūra ($32\text{ }^{\circ}\text{F}$). Naudojant tikslų gradavimą ir taisyklingą kapiliario formą, G. Fahrenheit'o gaminamų termometrų rodmenys nesiskyrė esant įvairioms temperatūroms.

Prancūzų mokslininkas ir išradėjas René Réaumur'as savo ter-

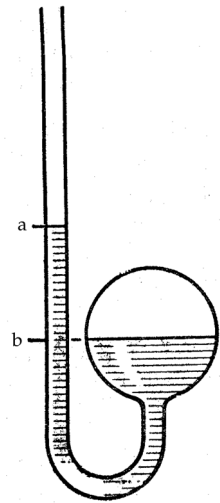
mometru sukonstruoti (1731 m.) pasinaudojo tuo, kad spirito, įšildomo nuo ledo tirpimo iki vandens virimo temperatūros, tūris padidėja 1,080 karto, tad ši temperatūrų intervalą jis gradavo nuo 0° R iki 80° R (Réaumur'o skalė).

Racionaliausią temperatūros skalę, kaip parodė laikas, pasiūlė švedų astronomas ir fizikas Anders'as Celsius (1701–1744). Jis pagrindiniais skalės taškais pasirinko ledo tirpimo ir vandens virimo temperatūras (taip anksčiau buvo siūlę R. Hooke'as ir C. Huygens'as). Norėdamas išvengti neigiamų temperatūrų, Celsius virimo temperatūrą prilygino 0° , o ledo tirpimo temperatūrą $+100^{\circ}$; skalė buvo apversta tik po išradėjo mirties. Visą tą skalės intervalą Celsius padalijo į šimtą lygių dalių.

XVIII a. antroje pusėje buvo naudojama apie dvidešimt skirtingų temperatūros skalių, o tai trukdė palyginti įvairiose laboratorijose gaunamus rezultatus. Palaipsniui Celsius'o skalė nukonkuravo kitas skales, nors kai kuriose šalyse (JAV, Jamaika) dar tebenauojama Fahrenheit'o skalė.

Iki XVIII a. temperatūros ir šilumos sąvokos buvo tapatinamos, manyta, kad termometras matuoja absoliutų šilumos kiekį kūne. Atskiriant šias sąvokas, esminį vaidmenį suvaidino škotų chemikas ir fizikas Joseph'as Black'as (1728–1799). Jis 1761 m. pastebėjo, kad šildant ledo ir vandens mišinį, jo temperatūra nekinta, iki ištirpsta visas ledas, ir įvedė *slaptosios lydymosi šilumos* sąvoką. Vėliau jis aptiko ir slaptąją virimo (garavimo) šilumą. J. Black'as apytiksliai, santykiniais vienetais, išmatavo tuos du dydžius vandeniui. Deja, jis nespausdino savo rezultatų, nors supažindindavo su jais studentus per paskaitas. Jų tekstas buvo paskelbtas tik po J. Black'o mirties.

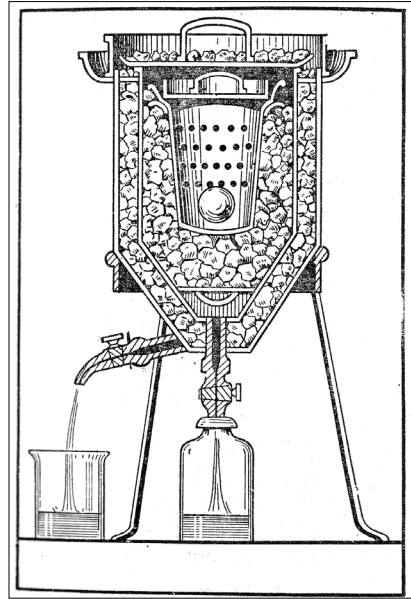
XVIII a. pabaigoje labiau žinomi buvo švedo Johan'o Wilcke (1732–1796) šilumos tyrimai. Jis ėmė matuoti kietųjų medžiagų savitąją šiluminę talpą ir įrodė, kad ji nėra proporcinga medžiagos tankiui, kaip buvo manyta. J. Wilcke pasiūlė šilumos kiekio vienetą kaloriją, apibrėžęs ją kaip šilumos kiekį, kuris pakelia vandens masės vieneto temperatūrą 1°C . Jis sukonstravo ledo kalorimetrą šilumos kiekiui matuoti (anot kai kurių šaltinių, panašų kalorimetrą jau naudojo ir J. Black'as). Jame šilumos kiekis buvo matuojamas ištirpusiu ledo kiekiu. Ledo kalorimetrą gerokai patobulino du žymūs prancūzų mokslininkai Antoine'as Lavoisier (1743–1794) ir P. Laplace'as (jie ir pasiūlė kalorimetro pavadinimą). Jų prietaisas susidėjo iš trijų vienas į kitą įstatytų indų (7.5 pav.): vidiniame buvo talpinamas įkaitęs kūnas, o



7.4 pav. G. Amontons'o orinis termometras.

viduriniame ir išoriniame – ledas; pastarasis indas šaldė vidurinį ir palaikė jame 0°C temperatūrą.

Dvi šilumos prigimties teorijos. XVII a. R. Boyle'io ir R. Hooke'o pasiūlyta kinetinė šilumos teorija, teigianti, kad šiluma yra kūno dalelių betvarkis judėjimas, nesant ją tiesiogiai patvirtinančių faktų, negalėjo įveikti nuo seno žinomo mokymo, kad šiluma yra ypatingas, neregimas skystis, pertekantis iš vienu kūnų į kitus. Tas požiūris XVIII a. pradžioje buvo išplėtotas fiziko bei filosofo Christian'o Wolff'o ir to amžiaus antroje pusėje netgi tapo pagrindine šilumos samprata, kurios laikėsi daugelis fizikų.



7.5 pav. A. Lavoisier ir P. Laplace'o sukonstruotas ledo kalorimetras.

C. Wolff'as šiluminį skystį pavadino kaloriku ir, remdamasis hipotetinėmis jo savybėmis, mėgino aiškinti įvairius šiluminius reiškinius. Anot C. Wolff'o, kaloriko esama kiekviename kūne. Netekus kaloriko, kūno temperatūra sumažėja, o gavus papildomą kiekį – temperatūra pakyla. Kalorikas išsiskiria ardant medžiagą, ją daužant ar deginant. Kaloriko dalelės esą atsistumia viena nuo kitos, todėl šiluma sklinda iš šiltesnio kūno (kur kaloriko dalelių daugiau ir jų stūma stipresnė) į šaltesnį kūną (kur kaloriko dalelių mažiau). Dėl kaloriko dalelių tarpusavio stūmos jis neaptinkamas grynas, bet būna tik viduje kūnų, nes jų dalelės traukia kaloriko daleles. Buvo netgi suformuluotas kaloriko tvermės dėsnis ir juo naudojantis atliekami šilumos balanso skaičiavimai.

Iš tikrųjų, nagrinėjant šilumos sklidimo reiškinius, jos analogija su skysčiu buvo vaizdi ir vaisinga. Ja remdamasis, J. Wilcke įvedė *savitosios šiluminės talpos* sąvoką. XIX a. šiluminio skysčio modelis padėjo S. Carnot nustatyti šiluminės mašinos veikimo principus. Taigi dar tik formuojantis kinetinei šilumos teorijai, tebesant jai nepatvirtintai bandymais, šiluminio skysčio ir jo tvermės idėjos pasitarnavo fizikos pažangai.

Vis dėlto, kaupiantis naujiems faktams, aiškėjo kaloriko teorijos trūkumai ir ribotumas. Jeigu kalorikas yra materialus skystis, jis turėtų turėti masę. Deja, bandymai aptikti kūno masės padidėjimą jį kaitinant, nebuvo sėkmingi. Kaloriko teorija gana dirbtinai aiškino fazinius virsmus. Stebino neišsenkantis šilumos išsiskyrimas vykstant kūnų trinčiais, netgi trinant du ledo gabalus.

Ypač akivaizdžius bandymus, neigiančius kaloriko egzistavimą, pačioje XVIII a. pabaigoje atliko anglų fizikas Benjamin'as Thompson'as (1753–1814), už nuopelnus Bavarijos karaliui gavęs grafo Rumford'o titulą. Būdamas karinės gamyklos Miunchene inžinieriumi, Rumford'as prižiūrėjo patrankų vamzdžių gręžimo darbus, ir jį nustebino didžiulis šilumos kiekis, išsiskiriantis gręžimo metu, – metalą šaldantis vanduo net užvirdavo. Anot kaloriko teorijos, šiluminis skystis išsiskiria ardant medžiagą. Rumford'as liepė gręžti buku gražtu, bet šilumos išsiskirdavo dar daugiau. Jis išmatavo geležies drožlių šiluminę talpą, bet ji nebuvo sumažėjusi, palyginti su geležies talpa. Rumford'as padarė išvadą, kad „tai, ką gali neribotu kiekiu tiekti izoliuotas kūnas ar kūnų sistema, negali būti materiali substancija, tad man atrodo nepaprastai sunku, gal net neįmanoma kitaip įsivaizduoti šių reiškinių, negu traktuoti juos kaip judėjimą“.

Rumford'o bandymai padarė didelį įspūdį amžininkams. Tiesa, kaloriko šalininkai dar nepasidavė, ir ši teorija tik palaiapsniui, per keletą dešimtmečių užleido vietą kinetinei šilumos teorijai.

Reikia pabrėžti, kad fizikų, pripažinusių kinetinę šilumos prigimtį, buvo ir kaloriko teorijos įsigalėjimo laikotarpiu. Tarp nedaugelio tokių įžvalgių mokslininkų buvo D. Bernoulli ir M. Lomonosovas. Deja, jų mėginimai paaiškinti šiluminius reiškinius dalelių judėjimu buvo grynai kokybiniai ir mažiau vaizdūs negu naudojantis šiluminio skysčio modeliu. D. Bernoulli teisingai spėjo, kad šiluma kietajame kūne – tai molekulių svyravimai, o M. Lomonosovas plėtojo šilumos teoriją, paremtą sukamuoju molekulių judėjimu. (Chemijoje įvedus cheminio elemento sąvoką, sudėtingų medžiagų dalelės buvo vadinamos molekulėmis.) A. Lavoisier ir P. Laplace'as „Memuare apie šilumą“ (1783 m.) iškėlė idėją, kad „šiluma yra ypatinga gyvoji jėga, kurią sukelia nedideli kūno molekulių judėjimai; ji yra lygi sumai sandaugų kiekvienos molekulės masės iš jos greičio kvadrato“ (gyvąja jėga tuo metu buvo vadinama dviguba kinetinė energija). Šie mokslininkai manė, kad kinetinės teorijos pagrindą turi sudaryti gyvosios jėgos tvermės dėsnis. Tiesa, jie savo darbe aprašė ir alternatyvią kaloriko teoriją.

Atomizmas ir medžiagos sandara. XVIII a. daugelis fizikų pripažino pirminių medžiagos dalelių egzistavimą, bet jų nagrinėjimą laikė metafizine, t. y. filosofine, o ne fizikine problema. Tačiau D. Bernoulli, remdamasis kinetine šilumos teorija, numatė dujų teorijos pradus. Anot jo, dujas sudaro laisvai ir netvarkingai judančios molekulės; nuolat smūgiuodamos į indo sieneles, jos sukelia dujų slėgį. Tuo remdamasis, D. Bernoulli pagrindė Boyle'io dujų būsenos dėsnį. Deja, paaiškinti kietojo kūno tamprumą, atsparumą deformacijoms bei kitas savybes, remiantis jo atomine ir molekuline sanda-

ra, buvo daug sudėtingesnė problema. Tarp daugelio spekuliatyvių aiškinimų originalesnės buvo G. Le Sage'o ir M. Lomonosovo hipotezės, deja, irgi neparemtos jokiomis patikimomis žiniomis apie medžiagų dalelių savybes ir neišlaikiusios laiko išbandymo.

Originalią medžiagos sandaros ir ją lemiančios jėgos teoriją pasiūlė serbų mokslininkas Rudjer'as Josip'as Boškovič'ius (1711–1787) veikale „Gamtos filosofijos teorija, išreikšta vieninteliu gamtoje veikiančių jėgų dėsnium“ (1758 m.). Jis teigė, kad materiją sudaro nedalomi, be galo maži pirminiai elementai, turintys vienodą masę. Tarp jų veikia viena universalioji jėga. Esant labai mažiems atstumams tarp dalelių, jas veikia stūmos jėga, bet atstumui didėjant ji virsta traukos jėga, ir taip jos pobūdis keičiasi keletą kartų (7.6 pav.), kol ji pagaliau virsta visuotinės traukos jėga, atvirkščiai proporcinga atstumo kvadratui. Nuotoliai tarp elementų, kai jėga tampa lygi nuliui, atitinka stabilias jų tarpusavio padėtis. Taigi veikiami universaliosios jėgos, pirminiai elementai jungiasi į pirmines daleles (atomus), o šie sudaro antrines, mažiau patvarias daleles (molekules). Kintamas jėgos pobūdis leido kokybiškai paaiškinti ne tik dalelių sukibimą į kietąjį kūną, bet ir jo tamprumą bei plastiškumą.

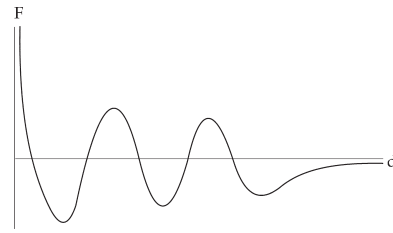
R. Boškovič'iaus teorija buvo gana populiari XVIII a., bet vėliau pamiršta ir vėl prisiminta tik po to, kai buvo sukurta kvantinė mechanika.

SANTRAUKA

XVIII a. išsivysčiusiose Vakarų Europos šalyse vyko pramonės revoliucija – vietoj rankų darbo pradėta plačiai naudoti mašinas. Nors jas kūrė inžinieriai praktikai, o fizika liko fundamentiniu mokslu, sparti technikos raida skatino visuomenės domėjimąsi tiksliaisiais mokslais, atvėrė fizikai naujas tyrimų kryptis.

XVIII a. nuo fizikos galutinai atsiskyrė astronomija, geologija, mineralogija, tad fizikinių tyrimų objektas bei metodai tapo artimi dabartiniams. To amžiaus fizikos raidą nemaža dalimi nulėmė I. Newton'o idėjos.

Sparčiausiai XVIII a. buvo plėtojama mechanika. Grupė mokslininkų – L. Euler'is, D. Bernoulli, J. d'Alembert, J. Lagrange'as, P. Laplace'as ir kiti, įžymūs matematikai bei fizikai, išvystė matematinius mechanikos metodus, pritaikė juos įvairioms problemoms spręsti, suteikė klasikinei mechanikai griežtą ir užbaigtą pavidalą. L. Euler'is padėjo kietųjų kūno mecha-



7.6 pav. R. Boškovič'iaus universaliosios jėgos priklausomybė nuo atstumo.

nikos pagrindus, įvedė inercijos momentus, atrado judėjimo kiekio momento tvermės dėsnį, kartu su D. Bernoulli išplėtojo skysčių mechaniką bei teorinę akustiką. J. d'Alembert suformulavo jo vardu dabar vadinamą mechanikos principą. J. Lagrange'as išvedė bendras lygtis, aprašančias mechaninės sistemos judėjimą, ir suteikė analizinei mechanikai šiuolaikinį pavidalą. P. Laplace'as išplėtojo dangaus mechaniką. Taigi mechanika pirmoji iš fizikos sričių įgijo bendrą ir griežtą pavidalą ir tapo pavyzdžiu visai fizikai bei kitiems gamtos mokslams.

Optikoje dėl I. Newton'o autoriteto įsivyravo korpuskulinė šviesos teorija, bet ji didesnių laimėjimų nepasiekė. Atsirado nauja taikomoji optikos sritis – fotometrija.

XVIII a. išradėjai praktikai kūrė garo mašinas; J. Watt'as, išnagrinėjęs mašinos veikimą, padarė esminius patobulinimus. Kelią kiekybiniam šiluminių reiškinių tyrimams atvėrė temperatūros bei šilumos matavimo prietaisų sukūrimas ir pagrindinių sąvokų suformulavimas. Buvo siūlomos įvairios temperatūros skalės, iš kurių labiausiai paplito A. Celsius'o skalė. G. Amontons'as iškėlė absoliučiojo nulio idėją. J. Black'as atrado slaptąsias lydymosi ir virimo šilumas, tai suvaidino esminį vaidmenį atskiriant šilumos ir temperatūros sąvokas. J. Wilcke ėmė tirti medžiagų savitąją šiluminę talpą ir sukonstravo ledo kalorimetrą, kurį iš esmės patobulino A. Lavoisier ir P. Laplace'as.

Kinetinė šilumos teorija dar tebebuvo grynai kokybinė, tad XVIII a. daugelis fizikų naudojo vaizdesnę ir paprastesnę šiluminio skysčio – kaloriko – teoriją. Šilumos analogija su skysčiu pravertė nagrinėjant šilumos sklidimo reiškinius, o suformuluotas kaloriko tvermės dėsnis leido spręsti šilumos balanso uždavinius. Tą modelį savo darbuose naudojo J. Black'as, J. Wilcke ir kiti šilumos fizikos kūrėjai. Tik palaipsniui paaiškėjo kaloriko teorijos ribotumas. Vienus iš svarbiausių rezultatų, liudijančių kinetinės šilumos teorijos naudai, gavo B. Rumford'as pačioje XVIII a. pabaigoje.

Tarp mokslininkų, kurie plėtojo ir taikė kinetinę šilumos teoriją, daugiausia nuveikė D. Bernoulli. Jis iškėlė kinetinės dujų teorijos pradines idėjas, paaiškino molekulių smūgiais dujų slėgį ir Boylei'o dujų būsenos dėsnį, teisingai numatė, kad kietuosiuose kūnuose šiluma sklinda chaotiškai virpant dalelėms.

Originalią materijos sandaros teoriją pasiūlė R. Bošković'ius. Jis teigė, kad gamtoje egzistuoja viena universalioji jėga, kurios prigimtis keičiasi priklausomai nuo atstumo tarp dalelių. Jo idėją galima laikyti vienintelės fundamentinės sąveikos pirmine įžvalga.

VIII. ELEKTRINIŲ REIŠKINIŲ TYRIMAI

XVIII a. pagaliau baigėsi ilgai trukęs elementarių faktų apie elektrinius reiškinius kaupimo etapas ir buvo sukurti elektrostatikos pagrindai. Magnetizmo srityje spartesnė mokslo pažanga prasidėjo maždaug šimtmečiu vėliau, po sistemingų elektros srovės tyrimų. Tad šiame skyriuje nagrinėsime elektros fizikos raidą.

8.1. STATINĖS ELEKTROS PAGRINDINĖS SAVYBĖS

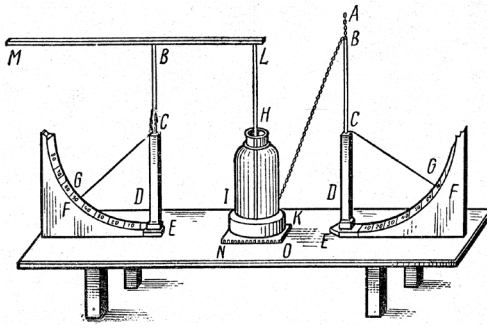
Anglas Stephen'as Gray (1666–1736) elektros tyrimais užsiėmė tik gyvenimo pabaigoje, išėjęs į pensiją, bet jam pavyko gauti esminių rezultatų.

1729 m. S. Gray nustatė, kad elektra gali skliti strypeliu, pagamintu iš kai kurių medžiagų (ypač – iš metalų) ir pakabintu ant šilkinųjų siūlų. Tokiu būdu jis perdavė elektrą net 765 pėdų atstumu. S. Gray padarė išvadą, kad yra laidžios ir nelaidžios elektrai medžiagos (pastarąsias J. Desaguliers po dešimtmečio pavadino izoliatoriais).

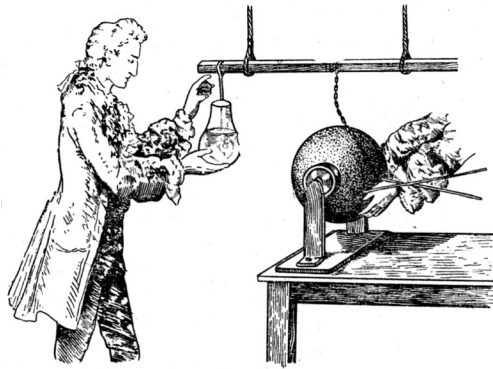
S. Gray atliko daugelį bandymų tirdamas elektrostatinės indukcijos reiškinį – neutralus kūnas įsielektrindavo vos tik priartintas prie įelektrintojo kūno. Pakabinęs vienodu atstumu nuo įelektrintojo strypo du vienodo dydžio metalinius kubus – pilnavidurį bei tuščiaavidurį – ir nustatęs, kad abu kubai vienodai traukia lengvus metalo folijos lapelius, Gray padarė išvadą, kad elektra pasiskirsto kūnų paviršiuje.

Prancūzų chemikas Charles du Fay (1698–1739), susidomėjęs S. Gray tyrimais, pratęsė juos. C. du Fay pastebėjo, kad įelektrintieji daiktai atsistumia nuo kūnų, kurie jiems suteikė elektros, bet yra traukiami kai kurių kitų įelektrintųjų kūnų. Atlikęs nemažai tyrimų, C. du Fay priėjo išvadą, kad egzistuoja dviejų rūšių elektra – stiklinė (gaunama trinant stiklą, kalnų kristolą, brangiuosius akmenis, vilną) ir dervinė (gaunama trinant dervą, gintarą, popierių ir kt.). Kiekviena iš jų traukia priešingos rūšies elektrą, bet stumia tos pačios rūšies elektrą. C. du Fay spėjo, kad elektros kibirkštis yra „tarsi tos pačios prigimties kaip griaustinis ir žaibas“, bet tai liko neįrodyta. „Elektra, – rašė C. du Fay 1737 m., – pasirodo, yra universali savybė, būdinga bet kokiam mums žinomam materijai, ir ji, matyt, vaidina daug didesnę vaidmenį pasaulio sandaroje, nei mes manome.“

XVIII a. ketvirtajame dešimtmetyje buvo gerokai patobulinta O. Guericke elektros mašina: sieros rutulys pakeistas stikliniu cilindru arba disku, prie jo įtaisytos dvi odinės pagalvėlės (į kurias – vietoj delno odos



8.1 pav. G. Richman'o „elektros rodyklė“. Įelektrinus metalinį stovėlį D, lininis siūlas CG nukrypsta nuo vertikaliosios padėties.



8.2 pav. Bandymas su Leideno stikline.

Jis perkisė per kamštį į vandens stiklinę vinį ir prijungė ją prie elektros mašinos. Po to, prisilietęs prie tos vinies, Musschenbroek'as gavo tokį stiprų smūgį, kad supurtė visą jo kūną, o ranka ir petys nutirpo. Žinia apie šį prietaisą, pavadintą Leideno stikline, greitai pasklido po Europą. Netrukus prietaisas buvo patobulintas – vandenį pakeitė metalo folija, kuria stiklinis indas buvo padengiamas iš vidaus ir iš išorės. Kelias Leideno stiklines sujungdavo į bateriją. Naudojantis Leideno stikline, buvo galima sukaupti didesnį elektros kiekį ir atlikti efektingus bandymus. Ne tik laboratorijose, bet ir rūmuose, teatruose ar aikštėse nustebusiems žiūrovams buvo demonstruojamas paslaptingas elektros veikimas – užmušinėjami paukščiai ir gyvūnai, elektra perduodama žmonių eile, rodomos iš rankos šokančios kibirkštys ir kt. Liudvikas XV ir jo dvariščiai linksminosi prijungdami kareivių grandinę prie Leideno stiklinių baterijos.

– trinantis stiklui, buvo gaunama elektra), be to, pritvirtinta rankena bei laidininkas gautai elektrai kaupiti. Tokia mašina buvo galima įskelti gana dideles kibirkštis, nuo kurių išsiliepsnodavo eteris.

1745 m. Estijos vokiečių paplikuonis Georgas Richmanas (1711–1753) sukonstravo pirmąjį elektros matavimo prietaisą su skale – elektroskopo prototipą (8.1 pav.). Jame elektrinė jėga buvo matuojama pagal laisvai kabančio lininio siūlo atsilenkimą. Mums įprastą elektroskopą po dvejų metų pagamino prancūzas J. Nollet.

Tuo metu paplito pirmasis elektros taikymas: elektrizuotas vanduo tapo madingu vaistu. Mėginamas jo pats pasigaminti, vokiečių kanauninkas E. von Kleist'as 1745 m. atsitiktinai išrado elektrinį kondensatorių. Šį prietaisą nepriklausomai pagamino ir Leideno universiteto profesorius P. van Musschenbroek'as.

8.2. FRANKLIN'O BANDYMAI IR ELEKTROS TEORIJA

Vienoje viešoje elektrinių reiškinių demonstracijoje dalyvavęs keturiasdešimtmetis žymus JAV politikas Benjamin'as Franklin'as (1706–1790) jais susidomėjo ir pats ėmėsi tyrimų.

Bostone, muilo virėjo šeimoje gimusiam B. Franklin'ui nuo dešimties metų teko imtis darbo, bet jis atkakliai lavinosi, ugdė įvairius gabumus ir tapo žymiu politiku, žurnalistu, mokslininku bei verslininku. Jis buvo vienas iš JAV Nepriklausomybės akto ir Konstitucijos kūrėjų, vykdė svarbias diplomatinės misijas Anglijoje ir Prancūzijoje.

Nepaprastai darbštus, atkaklus ir gebantis išskirti esminius dalykus, B. Franklin'as pasiekė išpūdingų rezultatų ir fizikoje. Apie juos jis pranešdavo laiškais savo draugui anglų fizikui P. Collinson'ui, o šis referuodavo Londono karališkosios draugijos posėdžiuose.

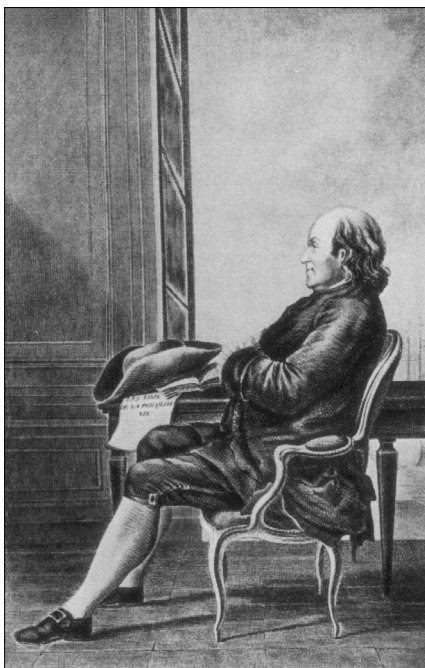
B. Franklin'as atkreipė dėmesį, kad elektros kibirkštys lengviau susidaro artinant prie įelektrintojo kūno daiktą jo smailiu galu. Jam kilo mintis pasinaudoti ta „smaigalio savybe“ žaibo elektrinei prigimčiai įrodyti. Franklin'as laiške Collinson'ui išvardijo panašias elektros kibirkštis ir žaibo savybes. Abu jie gali uždegti daiktus, užmušti gyvūnus, panaikinti geležies įmagnetinimą, paskleisti savitą kvapą. Jis pasiūlė lemiamą bandymą hipotezei patikrinti – pastatyti aukštą geležinį stiebą, izoliuoti jį nuo žemės ir stebėti, ar audros debesiai slenkant virš stiebo, šis įsielektrins indukcijos būdu (iš stiebo apatinio galo į artinamą įžemintą laidininką ar žemę turi šokti elektros kibirkštys). Deja, konservatyvūs anglų fizikai šią idėją palaikė fantastine. Tik Collinson'ui išspausdinus laišką, bandymas 1752 m. buvo atliktas Prancūzijoje, Paryžiaus priemiestyje, – prie geležinio stiebo budėjęs kareivis audros metu iš tikro pastebėjo į žemę šokančią elektros kibirkštį. Beveik tuo pačiu metu B. Franklin'as pats atliko panašų bandymą – jis audros metu iškėlė aukštyn aitvarą su smaigaliu. Laimė, per tą rizikingą bandymą B. Franklin'as nenukentėjo, bet netrukus G. Richmanas, tęsdamas B. Franklin'o pradėtus žaibo tyrimus, žuvo nuo atmosferos elektros smūgio. Franklin'as įrodė, kad debesies apačia dažniausiai būna įelektrinta neigiamai.

Būdamas praktikas, B. Franklin'as tuoj pat pritaikė savo atradimą žaibolaidžiui sukurti, ir šis greitai paplito Amerikoje, o vėliau ir Europoje. Tuo metu M. Lomonosovas, aiškindamas žaibą kaip eterio sūkurį, siūlė saugotis jo virpinant orą – patrankų šūviais ir varpų skambinimu.

1750 m. B. Franklin'as pasiūlė pirmąją elektros teoriją, nes iki tol buvo tik gana naivūs spėliojimai. Jis teigė, kad egzistuoja elektrinė substancija, kurią sudaro labai mažos, judrios dalelės. Jos, priešingai nei medžiagos

dalelės, stumia viena kitą, bet yra traukiamos medžiagos dalelių. Todėl kiekviename kūne yra elektrinės substancijos tiek, „kiek jos ten telpa“, ir tokiu atveju kūnas yra elektriškai neutralus. Jei jis, trinamas ar suliestas su kitu kūnu, įgyja papildomai elektrinės substancijos, tada įsielektrina teigiamai, o jei netenka jos – tampa įelektrintas neigiamai. Taigi, anot Franklin'o, elektrinė substancija nėra sukuriama nei sunaikinama, o tik pereina iš vieno kūno į kitą. Čia galima išvelgti elektros krūvio tvermės dėsnį, nors krūvio termino Franklin'as dar nevirtavo.

Mokslininkas pritaikė savo teoriją Leideno stiklinės veikimui paaiškinti. Suteikęs vidiniam metaliniam apvalkalui tam tikrą krūvį, jis atstumia tokį pat kiekį elektrinės substancijos iš išorinio apvalka-



8.3 pav. Benjamin Franklin.

lo, ir šioji nuteka į žemę (Franklin'as eksperimentiškai įrodė, kad stiklinė iš vienos jos pusės būna įelektrinta teigiamai, o iš kitos pusės – neigiamai). Per stiklą, kuris yra izoliatorius, teigiama ir neigiama elektra negali „panaikinti“ viena kitos, bet, sujungus abu Leideno stiklinės apvalkalus laidininku, įvyksta elektros iškrova. Remdamasis savo išvadomis, Franklin'as sukonstravo pirmą plokščiąjį kondensatorių, kurį sudarė lango stiklo gabalėlis su švino plokštelėmis iš abiejų pusių.

B. Franklin'o laišakai P. Collinson'ui buvo išleisti atskira knyga „Elektros bandymai ir stebėjimai“ (1752 m.), kuri sukėlė didelį susidomėjimą ir buvo išversta į įvairias kalbas. Tuo metu Šiaurės Amerikoje prasidėjo svarbūs politiniai įvykiai, B. Franklin'as tapo vienu iš anglų kolonijų vienijimosi ir kovos už nepriklausomybę iniciatorių, tad, deja, prie fizikinių tyrimų jis nebegrižo.

B. Franklin'o idėjas plėtojo vokietis Frantz'as Aepinus (1724–1802), dirbęs Sankt Peterburge. Analogiškai elektrinei substancijai jis įvedė magnetinę substanciją, kuri lemianti magnetinius reiškinius. Deja, tokia teorija susidūrė su kai kuriais sunkumais, pavyzdžiui, negalėjo paaiškinti, kodėl, perpjovus magnetą, vėl gaunami du dvipoliai magnetai. Aepinus spėjo, kad elektrinės ir magnetinės jėgos, kaip ir visuotinės traukos jėga, silpnėja proporcingai atstumo kvadratui (šią mintį kėlė ir kiti to meto mokslininkai). Jis

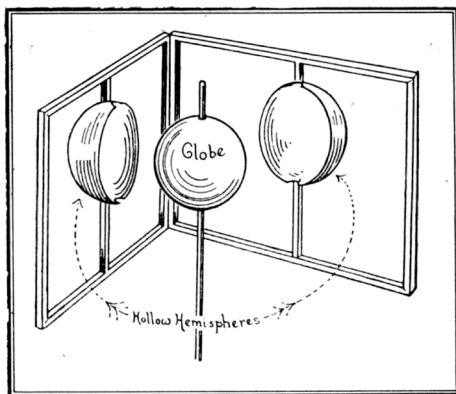
atrado piroelektrinį reiškinį – kaitinamo turmalino kristalo įsielektrinimą. Be to, Aepinus išrado dar vieną įelektrinimo būdą. Įpylus į taurę išlydytos sieros, šiai stingstant, į ją būdavo įkišama stiklinė rankenėlė. Už jos pakėlus sieros gabalą, taurė ir siera įgydavo priešingos rūšies elektros, bet nuleidus sierą į taurę, jos vėl tapdavo neutraliomis. Tas prietaisas, pavadintas elektroforu, buvo plačiai naudojamas fizikos laboratorijose nedideliems elektros krūviams gauti.

Franklin'o elektros teorija buvo plačiai pripažinta, tačiau netapo vieninga teorija. L. Euler'is, M. Lomonosovas ir kiti elektrinius reiškinius aiškino eterio savybėmis, J. Nollet ir jo šalininkai naudojosi elektros vėjo bei elektros ugnies vaizdiniais. 1759 m. anglas R. Symmer'is pasiūlė dviejų elektrinių substancijų, atitinkančių dvi elektros rūšis, teoriją. Anot jos, kiekviena kūne esama abiejų substancijų, bet jos panaikina viena kitos veikimą. Tik esant kurios nors vienos substancijos pertekliui, kūnas įgyja elektrinių savybių.

8.3. KRŪVIŲ SAŪVEIKOS DĒSNIO NUSTATYMAS

H. Cavendish'o bandymai. Norint pereiti nuo kokybinių prie kiekybinių elektros tyrimų, buvo būtina nustatyti elektrinės jėgos dėsnį. Pirmasis šios problemos eksperimentinio sprendimo ėmėsi anglų fizikas Henry Cavendish'as (1731–1810).

H. Cavendish'o tėvas buvo anglų aristokratas, Londono karališkosios draugijos narys, domėjosi įvairiais mokslais. Cavendish'as mokėsi Kembridžo universitete, bet būdamas savarankiškas ir uždaro būdo, studijų nebaigė, lavinosi pats ir vykdė tyrinėjimus. Tapęs lordu ir paveldėjęs nemažą turtą, H. Cavendish'as nepakeitė savo įpročių ir toliau visą laiką skyrė mokslui,



8.4 pav. H. Cavendish'o prietaiso elektrinei jėgai tirti schema.

įsirengė puikią asmeninę laboratoriją. Jis reguliariai lankydavosi Londono karališkosios draugijos posėdžiuose, pranešdavo juose apie savo gautus rezultatus, bet tik apie tokius, kuriuos jis laikydavo visokeriopai patikrintais ir reikšmingais. Cavendish'as atliko svarbių chemijos darbų: įrodė, kad oras yra dujų mišinys, atrado anglies dvideginį, išskyrė vandenilį, o jungdamas deguonį su vandeniliu gavo vandenį.

1667 m. Cavendish'as ėmėsi tirti, kaip elektrinė jėga priklauso nuo

atstumo. Jo eksperimentinis įrenginys susidėjo iš metalinio rutulio, kurį buvo galima uždengti dviem didesnio tuščiavidurio rutulio pusėmis taip, kad rutuliai vienas su kitu nesiliestų (8.4 pav.). Pro mažą skylutę išoriniame rutulyje Cavendish'as sujungdavo rutulius vielele ir įelektrindavo išorinį rutulį. Po to ištraukdavo vielele ir tirdavo vidinio rutulio įelektrinimą. Teorinis nagrinėjimas rodė, kad visa rutulių sistema suteikta elektra pasiskirsto didesniojo rutulio paviršiuje ir vidinis rutulys lieka neįelektrintas tik tuo atveju, jei elektrinė jėga yra atvirkščiai proporcinga atstumo kvadratui $F \sim r^{-2}$. Iš tikrųjų, Cavendish'as savo kruopščiais bandymais neaptiko vidinio rutulio įelektrinimo. Jis užrašė savo dienoraštyje: „Mes galime padaryti išvadą, kad elektrinė trauka ir stūma turi būti atvirkščiai proporcingos atstumo laipsniui, kurio dydis yra tarp $2+1/50$ ir $2-1/50$, bet, matyt, jis tiksliai lygus 2.“ Deja, tas Cavendish'o atradimas, kaip ir daug kitų jo rezultatų, liko nepaskelbtas (galbūt jis ketino pasiekti didesnio tikslumo ar dėsni patikrinti tiesioginiais elektrinės jėgos matavimais). H. Cavendish'o užrašus tik 1879 m. išleido J. Maxwell'as.

Tiesa, dar B. Franklin'as buvo pastebėjęs, kad įelektrintas tuščiaviduris rutulys neveikia rutuliuko, pakabinto rutulio viduje, o J. Priestley, vėliau pakartojęs šį bandymą, aiškino rezultatą jėgos atvirkštine kvadratine priklausomybe nuo atstumo. (Apie tai Priestley rašė „Elektros istorijoje“, kuri buvo išspausdinta tais pačiais metais, kai Cavendish'as atliko savo bandymus.)

H. Cavendish'o rezultatas reikšmingas dar vienu požiūriu – tai vienas iš pirmųjų mėginimų įvertinti matavimo paklaidas. Tuo metu paklaidų teorija dar nebuvo išplėtotą, ir eksperimentatoriai nurodydavo tiktai nustatyto dydžio vertę, dažnai pateikdami nepagrįstai daug jos ženklų.

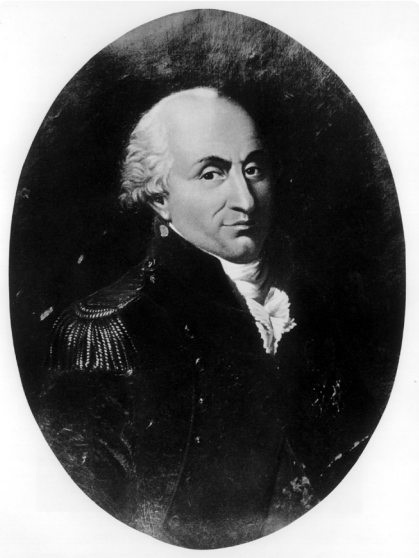
H. Cavendish'as turi ir daugiau nuopelnų elektros fizikai. Jis pirmasis įvedė elektrinės talpos sąvoką, matuodamas šį dydį „elektriniais coliais“, t. y. skersmeniu sferinio kondensatoriaus, kuris turėjo tam tikrą elektrinę talpą. Pastebėjęs, jog kondensatoriaus talpa priklauso nuo izoliatoriaus medžiagos, Cavendish'as ėmė vartoti *dielektrinės skvarbos* sąvoką ir nustatė šį dydį kai kurioms medžiagoms. Jis turėjo pasigaminęs pusšimtį įvairaus dydžio kondensatorių ir, jungdamas juos į bateriją, gavo nemažos galios elektros šaltinį. Juo naudodamasis, Cavendish'as atliko pirmuosius elektros srovės matavimus. Kaip matavimo prietaisą jis naudojo savo kūną – įjungdavo save į grandinę ir iš smūgio stiprumo, ypač iš pojūčių riešuose ir alkūnėse, sprendavo apie pratekėjusį elektros kiekį. Pavyzdžiui, tokiu būdu Cavendish'as nustatė, kad sotusis druskos tirpalas praleidžia elektros srovę 720 kartų geriau negu lietaus vanduo. Taigi Cavendish'as priartėjo ir prie varžos sąvokos sampratos.

Kalbant apie Cavendish'o darbus, reikia paminėti jo atliktą gravitaci-

jos konstantos matavimą, kuris iš karto susilaukė amžininkų pripažinimo. I. Newton'ui nustačius visuotinės traukos dėsnį, konstanta liko neapibrėžta, tad skaičiavimuose tekdavo naudotis santykiniais vienetais. Vėliau konstanta buvo įvertinta matuojant pakabinto svarelį nuo vertikales šalia vienišo kalno. Cavendish'as atliko labai detalius dviejų švino rutulių traukos jėgos matavimus ir nustatė konstantos vertę maždaug 0,5% tikslumu. Tai leido apskaičiuoti ir vidutinį Žemės tankį.

C. Coulomb'o darbai iš elektros ir magnetizmo. Elektros krūvių sąveikos dėsnis vadinamas Coulomb'o vardu, nes jis pirmasis nustatė tą dėsnį tiesioginiais matavimais ir jį paskelbė.

Prancūzas Charles Coulomb'as (1736–1806) baigė karo inžinierių mokyklą ir vadovavo tvirtovės statybos darbams Martinikos saloje. Be to, jis domėjosi taikomąja mechanika. Už darbą apie kūnų trintį Coulomb'as 1781 m. pelnė Paryžiaus mokslų akademijos premiją, buvo išrinktas jos nariu ir, apsigyvenęs Paryžiuje, atsidėjo moksliniam darbui. Jis pirmasis ėmė tyrinėti tamprumo jėgą, kuri atsiranda užsukant metalinę vielelę ar siūlą. Coulomb'as nustatė, kad ši jėga yra tiesiogiai proporcinga užsukimo kampui bei ketvirtajam vielelės skersmens laipsniui ir atvirkščiai proporcinga jos ilgiui; tai leido matuoti jėgą pagal siūlo užsukimo kampą. Tuo naudodamasis, Coulomb'as sukonstravo labai jautrų prietaisą, jo pavadintą sukamosiomis svarstyklėmis, ir nutarė jas panaudoti elektrinei ir magnetinei jėgoms matuoti.



8.5 pav. Charles Coulomb.

Sukamąsias svarstyklas, pritaikytas įelektrintųjų kūnų sąveikai tirti (8.6 pav.), sudarė ant tamprios vielelės pakabinta lazdelė su šėivamedžio rutuliuku a viename gale ir atsvaru g kitame gale. Iš pradžių rutuliukas liesdavo kitą ant metalinio strypelio pakabintą rutuliuką. Šiam suteikus elektros, dalis jos nutekėdavo ir į antrąjį rutuliuką, tad šis atsistumdavo užsukdamas vielelę. Jėgą, veikiančią tarp įelektrintųjų rutuliukų, Coulomb'as nustatydamo pagal skalę prietaiso viršuje, o atstumą – pagal skalę stiklinio indo šone. Kiek sunkiau buvo išmatuoti skirtingai įelektrintų rutuliukų trauką, bet Coulomb'as išsprendė ir šį uždavinį. Nustatytą jėgos priklausomybę nuo atstumo Coulomb'as patikrino naudodamas kitą originalų metodą – registruodamas

įelektrintosios strėliukės virpėjimų dažnį veikiant ją įvairaus stiprio elektrine jėga.

Apibendrinęs daugelio matavimų rezultatus, C. Coulomb'as 1785 m. suformulavo tokį dėsnį: „Dviejų įelektrintųjų rutuliukų, taigi ir dviejų elektros molekulių, stūmos, taip pat ir traukos, veikimas yra tiesiogiai proporcingas elektrinės substancijos tankiui abiejose elektros molekulėse ir atvirkščiai proporcingas atstumo tarp jų kvadratui.“ Stebėtą nedidelį nukrypimą nuo šio dėsnio jis paaiškino elektros nutekėjimu.

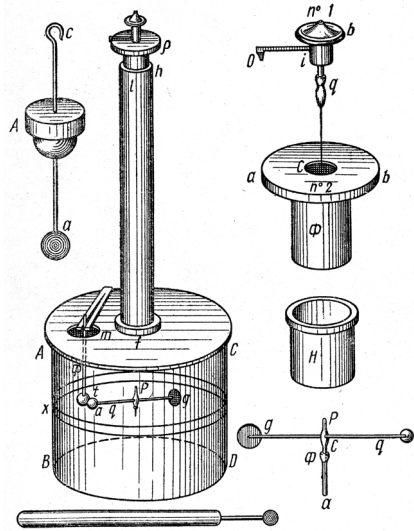
C. Coulomb'as dar nevarėjo elektros krūvio sąvokos, tik vėliau jis, remdamasis analogija su visuotinės traukos dėsniumi, įvedė *elektrinės masės* terminą. Jis nematavo ir jėgos priklausomybės nuo rutuliukų „elektrinių masių“ (krūvių), laikydamas savaime aiškiu dalyku, kad ši priklausomybė tokia pati, kaip ir gravitacinių masių atveju. C. Coulomb'o bandymai buvo atliekami ore; į terpės įtaką elektrinei jėgai atsižvelgė tik M. Faraday. Coulomb'as elektros daleles vadino molekulėmis ir manė, kad jos yra dviejų rūšių, t. y. pripažino Symmer'io, o ne Franklin'o teoriją.

Sukamąsias svarstyklės C. Coulomb'as pritaikė ir magnetinei jėgai matuoti. Jis nustatė, kad jėga, veikianti tarp magnetinių rodyklėlių, taip pat silpnėja proporcingai atstumo kvadratui. Coulomb'as ištaisė pagrindinį Aepinus'o magnetizmo teorijos trūkumą, padaręs prielaidą, kad „magnetinė substancija yra užsklęsta kiekvienos molekulės arba dalelės, sudarančios magnetą ar plieną, viduje <...> ir ši substancija gali pasislinkti iš vieno molekulės galo į kitą, dėl to kiekviena molekulė įgyja du polius, bet ta substancija negali pereiti nuo vienos molekulės prie kitos“.

Vienoda elektrinės ir visuotinės traukos jėgos priklausomybė nuo atstumo leido elektros fizikoje pritaikyti kai kuriuos mechanikos rezultatus, tarp jų – potencialo teoriją.

8.4. ELEKTROS SROVĖS ŠALTINIO SUKŪRIMAS

Stiprus elektros poveikis gyviesiems organizmams kėlė mintį, kad ta paslaptinga substancija vaidina svarbų vaidmenį gyvybiniuose procesuose. Tad medikai ir fiziologai ėmėsi tirti biologinį elektros veikimą (o kai kas,



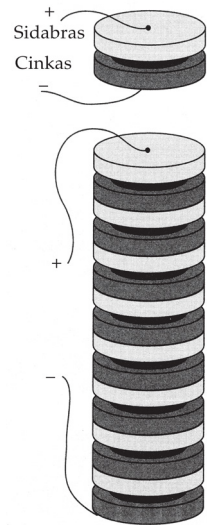
8.6 pav. Sukamosios svarstyklės įelektrintųjų rutuliukų sąveikai matuoti. Atskirai parodytos pagrindinės prietaiso dalys.

nelaukdami pagrįstų išvadų, ir taikyti ją gydymui).

Madingais bioelektriniais tyrimais 1773 m. užsiėmė ir Bolonijos universiteto anatomijos profesorius Luigi Galvani (1737–1798), kuris daugelį metų tyrinėjo varlės raumenis. Ilgų ir kruopščių bandymų metu keli atsitiktinimai padėjo jam padaryti netikėtą atradimą: sudarius uždaryją grandinę iš varlės raumens ir dviejų skirtingų, besiliečiančių vienas su kitu metalinių laidininkų, raumuo susitraukdavo taip, lyg per jį vyktų elektros iškrova, nors laidininkai ir nebūdavo prijungti prie elektros šaltinio. Galvani padarė išvadą, jog elektros šaltinis yra pačiame raumenyje, ir jam pavyko aptikti naujos rūšies „gyvūnų elektrą“, kuri reguliuoja gyvūnų, tarp jų ir žmogaus, organų veiklą. Daugelio bandymų rezultatai ir Galvani išplėtotą „gyvūnų elektros“ teorija buvo aprašyti jo knygoje „Traktatas apie elektrines jėgas judant raumenims“ (1791 m.). Knyga tapo mokslo sensacija, ir daugelis biologų bei fizikų ėmėsi tirti „gyvūnų elektrą“.

Tarp mokslininkų, entuziastingai sveikinusių Galvani, buvo ir jo tėvynainis Pavijos universiteto fizikos profesorius Alessandro Volta (1745–1827). Vis dėlto, kaip tikras mokslininkas, jis ėmėsi detaliai tikrinti Galvani rezultatus. Volta priėjo išvadą, kad varlės raumuo atlieka tik jautraus elektros srovės matavimo prietaiso vaidmenį, o „tikrieji elektros judintojai“ yra skirtingų metalų pora. Prie tos minties jį atvedė ne tik Galvani bandymai, bet ir filosofo J. Sulzer'io 1752 m. nustatytas keistas faktas, kad, sulietus dvi skirtingų metalų plokšteles, o kitais jų galais suspaudus liežuvį, juntamas savotiškas skonis. A. Volta išmetė iš grandinės biologinių audinių pakeisdamas jį skystu laidininku – elektrolitu, o „gyvūnų elektrą“ pervadino „metalų elektrą“. Jis išbandė įvairių elementų poras ir surašė metalus tam tikra seka: cinkas, alavas, švinas, geležis, žalvaris, platina, auksas, sidabras, gyvsidabris; kuomet toliau toje eilėje buvo metalai vienas nuo kito, tuo stipresnę elektrovaros jėgą (Volta įvestas terminas, vėliau pakeistas *elektrovara*) jie sukurdavo.

Volta ilgai ieškojo būdo, kaip tokią elektros šaltinį sustiprinti. Jį klaidino įsitikinimas, kad elektrolitas atlieka tik pasyvaus laidininko vaidmenį (iš tikrųjų jame vyksta cheminiai procesai, palaikantys elektrovarą), tad Volta mėgino tiesiogiai jungti įvairius metalus. Tik 1799 m. jam pavyko išrasti elektros bateriją, sudarytą iš daug porų vario ir cinko skritulėlių, atskirtų medžiagos, suvilgytos druskos tirpalu, tarpikliais (8.7 pav.). Sudėjus poras vieną ant kitos



8.7 pav. Pirmasis elektros elementas (viršuje) ir jų baterija – Volta stulpas (apačioje).

taip, kad vienos poros varis būtų šalia kitos poros cinko, šaltinio elektrovara didėjo proporcingai porų skaičiui. Ši elektros šaltinį Volta pavadino „dirbtiniu elektros organu“, o netrukus jam prigijo *Volta stulpo* pavadinimas.

Iš pradžių A. Volta neaiškino elektros elemento veikimo; vėliau jis išskėlė hipotezę, kad įvairūs metalai nevienodai stipriai stumia arba traukia juose esančią elektrinę substanciją. Taigi nuoseklaus paaiškinimo, kaip elemente susidaro elektra, Volta nepateikė. Vis dėlto pats elektros srovės šaltinio sukūrimas buvo esminis žingsnis elektros tyrimų istorijoje, leidęs pereiti nuo statinių elektros krūvių prie elektros srovės tyrinėjimo. Tai tapo pagrindine XIX a. elektros fizikos kryptimi.

Nepaisant A. Volta darbų pripažinimo ir Volta stulpo paplitimo, fizikoje ir ypač filosofijoje liko gyvuoti „gyvūnų elektros“ idėja. Teiginį, kad L. Galvani atrado naujos rūšies elektrą, galutinai paneigė tik M. Faraday. Netgi elektros srovės tyrimai, naudojantis Volta stulpu, įgijo galvanizmo pavadinimą. Elektros srovės šaltinis, kilęs iš Volta elemento, ligi šiol vadinamas galvaniniu elementu, o silpnos elektros srovės matavimo prietaisas, išrastas keli dešimtmečiai po Galvani mirties, – galvanometru. Vis dėlto reikia pripažinti, kad Galvani atradimas, nors ir atsitiktinis bei jo paties nesuprastas, davė pradžią naujam elektros tyrimų etapui, tad šis mokslininkas įėjo į fizikos istoriją.

A. Volta po savo žymaus išradimo jokių svarbesnių fizikos darbų nebeatliko.

SANTRAUKA

XVIII amžiuje elektros tyrimai tapo sistemingi ir leido suformuoti elektrostatikos pagrindus. Antra vertus, magnetizmo mokslas tame amžiuje nepadarė didesnės pažangos; ji tapo įmanoma tik nustačius elektros srovės savybes.

S. Gray aprašė elektrostatinės indukcijos reiškinių. Tirdamas medžiagų laidumą elektrai, jis nustatė, kad yra laidžios ir nelaidžios medžiagos. C. du Fay atrado, kad egzistuoja dviejų rūšių elektra. Platesni elektros tyrimai prasidėjo penktajame dešimtmetyje, išradus Leideno stiklinę – pirmąjį kondensatorių – bei patobulinius elektros mašiną. Tapo įmanoma sukaupti didesnę elektros kiekį ir atlikti efektingus bandymus, sukėlusius mokslininkų ir visuomenės susidomėjimą.

Žinias apie elektrą papildė ir susistemino B. Franklin'as. Jis įrodė elektrinę žaibo prigimtį ir sukonstravo žaibolaidį. Franklin'as pasiūlė pirmąją mokslinę elektros teoriją, teigė, kad kūnai gali būti įelektrinti teigiamai ir neigiamai, išvelgė elektros krūvio tvermės dėsnį, paaiškino Leideno stiklinės

veikimą, sukonstravo plokščiąjį kondensatorių.

H. Cavendish'as, 1667 m. atlikęs netiesioginius bandymus, nustatė, kad elektrinė jėga priklauso nuo atstumo atvirkščiai proporcingai jo kvadratui, tačiau tas jo rezultatas liko nepaskelbtas. Cavendish'as įvedė elektrinės talpos sąvoką, atliko pirmuosius elektros srovės matavimus panaudodamas savo paties kūną. Tai leido jam kiekybiškai įvertinti kai kurių medžiagų laidumą elektros srovei. Be to, Cavendish'as gana tiksliai išmatavo gravitacijos konstantą, įeinančią į kitos jėgos – visuotinės traukos – išraišką.

Pirmasis tiesiogiai dviejų įelektrintųjų rutuliukų traukos bei stūmos jėgą išmatavo C. Coulomb'as ir 1785 m. jis suformulavo pagrindinį elektrostatikos dėsnį. Panašų dėsnį Coulomb'as nustatė ir magnetinei jėgai, veikiančiai tarp dviejų magnetinių rodyklėlių. Jis iškėlė mintį, kad magnetinė substancija, skirtingai nuo elektrinės substancijos, negali laisvai tekėti kūnu, bet yra susieta su pavienėmis molekulėmis.

Nauja susidomėjimo elektriniais reiškiniais banga kilo XVIII a. pabaigoje, kai L. Galvani pastebėjo varlės raumens susitraukimus jį įjungus į grandinę su dviem skirtingais metalais. L. Galvani padarė neteisingą išvadą, kad jis atrado naujos rūšies „gyvūnų elektrą“. Jo tėvynainis A. Volta nuosekliais bandymais įrodė, kad aktyvų vaidmenį grandinėje atlieka du skirtingi metalai. Jis pakeitė biologinį audinį elektrolitu ir sukonstravo elektros elementą. Volta įrodė, kad tokius elementus galima sujungti į bateriją ir tuo būdu gauti stiprų nuolatinį elektros šaltinį. Tai atvėrė kelią elektros srovės tyrimams, kurie XIX a. tapo pagrindine elektros fizikos kryptimi.

IX. BANGINĖ ŠVIESOS TEORIJA

9.1. XIX A. MOKSLO BRUOŽAI

XIX a. daugelyje Europos šalių įsitvirtino laisvosios rinkos ekonomika, kuri skatino greitą technikos pažangą. (Tiesa, kartkartėmis ją sutrikdydavo tokiai ekonomikai būdingos krizės bei darbdavių ir darbininkų konfliktai.)

XIX a. pirmoje pusėje buvo išstobulinti garo varikliai. 1807 m. R. Fulton'as pagamino pirmąjį keleivinį garlaivį, 1825 m. buvo nutiestas pirmasis geležinkelis, kuriuo važinėjo G. Stephenson'o sukonstruotas garvežys. O amžiaus pabaigoje geležinkelių tinklas apėmė beveik visų Europos šalių teritorijas. XIX a. antroje pusėje buvo sukurtas vidaus degimo variklis (N. Otto, R. Diesel). Nuo amžiaus vidurio pradėta vis plačiau taikyti elektrinius reiškinius ryšiams ir pramonėje, greitai plito telegrafo, o vėliau ir telefono ryšiai. Buvo kuriami elektros varikliai, išrasta praktiška elektros lemputė (T. Edison). Pradėjus naudoti kintamąją elektros srovę, išspręsta elektros perdavimo tolimais atstumais problema.

Šiame amžiuje technikos raida vis daugiau rėmėsi fizikos atradimais, pavyzdžiui, be termodinamikos pasiekimų nebūtų buvęs įmanomas vidaus degimo variklio sukūrimas, o be elektros fizikos – elektrotechnikos, naujos technikos srities, atsiradimas. Antra vertus, technikos ir pramonės poreikiai irgi stipriai veikė kai kurių fizikinių tyrimų raidą. Antai garo mašinų tobulinimo problemos paskatino termodinamikos sukūrimą, ypač jos pradininko S. Carnot tyrimus, o elektrinių reiškinų pritaikymas ryšiams lėmė greitą elektros matavimo prietaisų tobulinimą.

XIX a. atsirado taikomoji fizika. Amžiaus antroje pusėje ėmė kurtis laboratorijos ir ištisi institutai, susiję su pramone. Valstybė bei įžvalgesni pramonininkai ėmė remti net fundamentinę fiziką, teikiančią idėjų taikomajam mokslui. Tiesa, nepaisant įspūdingų fizikos atradimų ir jų taikymų, visuomenės susižavėjimas fizika jau buvo atslūgęs, į jos pasiekimus žiūrėta blaiviau ir pragmatiškiau.

XIX a. pagrindinėmis mokslo valstybėmis tapo Prancūzija, Vokietija ir Anglija. Jų skirtingą vaidmenį mokslo raidoje įdomiai apibūdino istorikas J. Merz'as: „Daugiausia tobulų savo forma ir turiniu darbų, pripažintų klasikais, tikriausiai priklauso Prancūzijai; didžiausias mokslo darbų skaičius, matyt, buvo atliktas Vokietijoje; tačiau, ko gero, daugiausia idėjų, kurios tą šimtmetį vaisino mokslą, buvo iškelta Anglijoje.“ Prancūzijoje labiau-

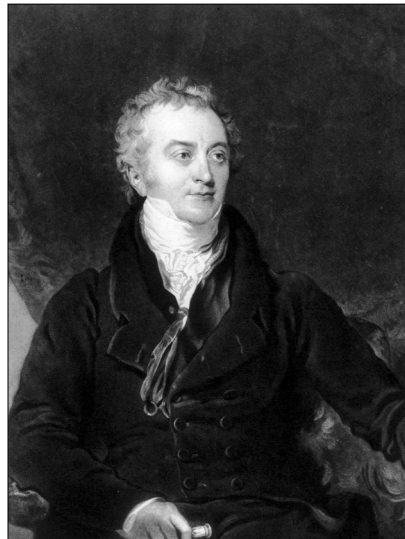
siai plėtota fizika, matematika ir kiti gamtos mokslai, o Vokietijoje daugiau dėmesio skirta filosofijai, klasikinei filologijai ir net teologijai. Pagrindiniais mokslo centrais tapo atsinaujinę universitetai, tačiau svarbų vaidmenį, ypač Prancūzijoje bei Anglijoje, vaidino ir mokslų akademijos. Kai kuriose šalyse steigėsi visuomeninės organizacijos mokslo pažangai skatinti. Draugijos ir akademijos jungė ne tik vieno miesto, bet ir visos šalies mokslininkus, pradėti organizuoti reguliarūs narių suvažiavimai; pavyzdžiui, Vokietijoje kasmet vykdavo Gamtos tyrinėtojų ir gydytojų suvažiavimas.

XIX a. – klasikinės fizikos triumfo amžius; tuo laikotarpiu, po mechanikos sukūrimo XVIII a., suformuotos ir kitos klasikinės fizikos sritys – optika, termodinamika ir elektromagnetizmas. Fizika ne tik plėtėsi, bet ir vienijosi: buvo atrastas bendras energijos tvermės dėsnis, persmelkiantis visą fiziką, elektros ir magnetizmo fizika buvo sujungta į vieningą elektromagnetizmo teoriją, o amžiaus pabaigoje paaiškėjo jos ir optikos bendrumas.

9.2. ŠVIOSOS INTERFERENCIJA IR POLIARIZACIJA

XIX a. prasidėjo naujas optikos raidos etapas, susijęs su bangine šviesos teorija. Naujų idėjų pradininkas buvo anglų mokslininkas Thomas Young'as (1773–1829).

T. Young'as, vyriausias iš dešimties audinių pirklio vaikų, nuo mažų dienų išsiskyrė ypatingais, įvairiapusiais gabumais. Trejų metų jis išmoko skaityti, penkerių metų jau skaitė rimtas knygas. Mokydamasis privačiame pensione, jis susižavėjo Rytų literatūra ir kalbomis, tapo poliglotu. Pasižymėdamas darbštumu ir atkaklumu (tai būdinga ne visiems genijams), Young'as vis plėtė savo žinias ir gebėjimus, neapsiribodamas viena veiklos sritimi. Tiesa, kaip pagrindinę specialybę jis pasirinko mediciną (deja, netapo garsiu gydytoju dėl pomėgio aptarti su pacientais įvairias galimas diagnozes ir vartotinus vaistus, o vėliau ir visai apleido šią sritį). T. Young'as garsėjo kaip puikus muzikantas ir dailės žinovas, okeanografas ir Egipto hieroglifų tyrinėtojas, netgi kaip kaligrafas ir cirko artistas.



Tirdamas regėjimo problemas, T. Young'as susidomėjo optika. Vyraujanti korpuskulinė šviesos teorija jam pasirodė mažai įtikima, nes negalėjo atsakyti

9.1 pav. Thomas Young.

į kylančius klausimus: Kodėl įvairūs šviesos šaltiniai skleidžia korpuskules tuo pačiu didžiuliu greičiu? Kodėl viena šviesos korpuskulė atsispindi nuo dviejų terpių ribos, o kita tokia pat dalelė pereina į kitą terpę? Kodėl įvairių spalvų šviesa lūžta skirtingu kampu? ir pan. Young'as ėmėsi plėtoti banginę šviesos teoriją ir 1801 m., mėgindamas atskleisti Newton'o žiedų prigimtį, atrado bangų interferencijos reiškinį. Jį Young'as apibūdino tokiu pavyzdžiu: „Įsivaizduokite seką vienodų bangų, sklindančių ežero paviršiumi pastoviu greičiu ir patenkančių į siaurą kanalą, išeinantį iš ežero. Įsivaizduokite toliau, kad kokia nors analogiška priežastis sukelia kitą seriją to paties dydžio bangų, pasiekiančių tą patį kanalą tuo pačiu greičiu, kaip ir pirmoji bangų sistema. Nė viena iš šių dviejų sistemų nesutrikdys kitos, bet jų veikimas susidės: jei jos pasieks kanalą tokiu būdu, kad vienos bangų sistemos keteros sutaps su kitos sistemos keteromis, tai jos kartu sudarys didesnių bangų visumą; o jei vienos sistemos keteros atsidurs kitos sistemos bangų įdubose, tai jos tiksliai užpildys tas įdubas, ir vandens paviršius kanale liks lygus. Tai štai, aš manau, kad panašūs reiškiniai vyksta susimaišant dviem šviesos porcijoms, ir tą užsiklojimą aš vadinu bendruoju šviesos interferencijos dėsniu.“

Taigi T. Young'as iškėlė idėją, kad šviesos bangos gali ne tik stiprinti, bet ir silpninti vieną kitą. Anot jo, interferuoja „dvi tos pačios šviesos dalys“, vėliau tai buvo patikslinta įvedus šviesos koherentiškumo sampratą.

T. Young'as manė, kad šviesos bangos sklinda hipotetiniame eteryje, o kadangi tai labai reta medžiaga, bangos turėtų būti išilginės. Remdamasis tuo, kad elektrinis smūgis sklinda labai greitai, kaip ir šviesa, Young'as spėjo, kad ir optiniai, ir elektriniai reiškiniai yra susiję su tuo pačiu eteriu, taigi egzistuoja ir jų tarpusavio ryšys.

T. Young'as įvedė *šviesos bangos* sąvoką ir susiejo bangos ilgį su šviesos spalva. Jam netgi pavyko gana tiksliai išmatuoti šviesos bangos ilgį. Tai jis padarė taikydamas interferencijos principą šviesos difrakcijai paaiškinti. T. Young'as atliko klasikinį bandymą: kartono lape pradūrė adata greta dvi mažas skylutes ir apšvietė jas tuo pačiu šviesos spindulių pluošteliu. Interferavus pro skylutes praėjusiai šviesai, neskaidriame ekrane susidarė tamsių ir šviesių juostelių raštas. Matuodamas atstumus tarp juostelių, Young'as nustatė, kad raudonos šviesos bangos ilgis yra $0,7 \mu\text{m}$, o violetinės šviesos – $0,42 \mu\text{m}$; tai labai gerai atitinka šiuolaikinius duomenis.

T. Young'as taip pat paaiškino Newton'o žiedų susidarymą bei difrakciją nuo plono siūlo, iškėlė spalvų regėjimo hipotezę – žmogaus akies tinklainėje egzistuoja trijų rūšių receptoriai, kurie registruoja tris pagrindines spalvas. Šie optikos atradimai buvo apibendrinti veikale „Gamtos filosofijos ir mechanikos meno paskaitos“ (1807 m.).

Vis dėlto T. Young'as nepateikė griežtos interferencijos ir difrakcijos reiškinių teorijos, daugiausia tenkinosi kokybiniais samprotavimais. Jis rėmėsi to meto autoritetu Newton'u, korpuskulinės teorijos kūrėju, bet neminėjo savo pirmtakų C. Huygens'o ir R. Hooke'o.

Young'o rezultatai nebuvo pripažinti fizikų, jie nesulaukė netgi rimtos diskusijos. Kai kurie tautiečiai atvirai šaipėsi iš diletanto, išdrįsusio varžytis su pačiu Newton'u. O 1808 m. buvo atrastas šviesos poliarizacijos reiškinys, kuris tarsi liudijo korpuskulinės teorijos naudai.

Prancūzų karo inžinierius Étienne'as Louis Malus (1775–1812) tyrinėjo dvejomą spindulių lūžimą islandiškajame špate. Kartą, saulei leidžiantis, jis pažvelgė per špato plokštelę į saulės atspindį Liuksemburgo rūmų stikluose. Du lūžę spinduliai sudaro dvigubus daiktų atvaizdus, tačiau saulę Malus pamatė tik vieną. Ėmęs tyrinėti žvakės atspindį naktį vandenyje, jis nustatė, kad sukant kristalą dviejų žvakės atvaizdų ryškis keičiasi – vieno stiprėja, kito silpnėja, o žiūrint tam tikru kampu ir visai išnyksta, Malus padarė išvadą, kad tie bandymai patvirtina Newton'o mintį apie galimą šviesos dalelių asimetriją. Įprastinę šviesą sudaro įvairiai orientuotos dalelės, bet geriau atsispindi tam tikros orientacijos dalelės (o įprastąjį ir neįprastąjį spindulius, perėjusius per špato plokštelę, sudaro skirtingos orientacijos šviesa).

T. Young'as negalėjo paaiškinti E. Malus'o bandymų, nes laikė šviesos bangas išilginėmis. Tiesa, vėliau atradus kitas poliarizacijos rūšis, šio reiškinio aiškinimas tapo gana painus bei sudėtingas ir korpuskulinės teorijos požiūriu.

9.3. A. FRESNEL'IO BANGINĖ ŠVIESOS TEORIJA

T. Young'o idėjas išplėtojo prancūzų mokslininkas Augustin'as Fresnel'is (1788–1827), sukūręs nuoseklią matematinę šviesos bangų teoriją.

A. Fresnel'is buvo tiltų ir kelių inžinierius, dirbo įvairiose Prancūzijos provincijose. Būdamas karaliaus šalininkas, jis prisijungė prie rojalistų kariuomenės, kuri stengėsi sutrukdyti Napoleon'ui grįžti į Paryžių iš tremties Elbos saloje. Tad Šimto Dienų laikotarpiu A. Fresnel'is buvo atleistas iš darbo ir priverstinių atostogų metu 1815 m., turėdamas tik paprasčiausius prietaisus, užsiėmė optikos bandymais. Nežinodamas apie T. Young'o darbus, A. Fresnel'is nepriklausomai atrado interferencijos principą ir juo naudodamasis paaiškino įvairius difrakcijos atvejus. Jo gauti rezultatai atkreipė Paryžiaus akademikų dėmesį, ir Fresnel'is buvo pakviestas dirbti į Paryžių.

Remdamasis interferencijos principu ir Huygens'o bangų gaubtinės metodu, A. Fresnel'is ėmėsi kurti matematinę šviesos bangų teoriją. Visų pirma, jis išsprendė seną problemą, kaip suderinti banginę teoriją su tiesiaei-



9.2 pav. Augustin Fresnel.

giu šviesos spindulio sklidimu. Nors praėjusios pro mažą skylutę šviesos bangos sklinda įvairiomis kryptimis, persiklojant bangoms nuo įvairių skylutės taškų už jos susidariusi atstojamoji banga esti stipresnė tik išilgai linijos, jungiančios šviesos šaltinį ir skylutę.

A. Fresnel'is parodė, kad difrakcijos reiškiniai stebimi tada, kai kliūtis ar angos matmenys yra tos pačios eilės kaip ir šviesos bangos ilgis. Jis išnagrinėjo difrakciją nuo skylutės ir mažo neskaidraus ekrano. Savo teoriją jis 1818 m. pateikė Paryžiaus mokslų akademijos konkursui. Vienas iš vertinimo komisijos narių

S. Poisson'as, korpuskulinės šviesos teorijos šalininkas, pastebėjo, kad iš A. Fresnel'io formulių gaunamas paradoksalus rezultatas – neskaidraus ekrano šešėlio centre turi atsirasti šviesi dėmelė. Komisijos nariai tai patikrino bandymu, ir jis įtikinamai patvirtino teoriją. Tai padarė didelį įspūdį akademikams, A. Fresnel'iuvi buvo paskirta premija, o po kelerių metų jis išrinktas akademijos nariu.

Siekdamas paaiškinti šviesos poliarizacijos reiškinį, A. Fresnel'is buvo priverstas padaryti vienintelę įmanomą išvadą, kad šviesos bangos yra skersinės, nors tai ir prieštaravo to meto žinioms apie skersines bangas. Fresnel'is matematiškai aprašė įvairius šviesos poliarizacijos reiškinius ir gavo puikų sutapimą su eksperimento rezultatais. Jo teorija paaiškino ir dvejopą spindulių lūžimą islandiškajame špate (buvo padaryta prielaida, kad šviesos banga kristale išsiskiria į dvi statmenai poliarizuotas bangas, sklindančias nevienodu greičiu).

Taigi 1815–1823 m. A. Fresnel'is sukūrė tvirtus banginės optikos pagrindus. Tiesa, ne visos jo prielaidos buvo pakankamai pagrįstos, kartais jis labiau pasikliovė intuicija negu matematiniais įrodymais. Vėliau G. Airy, J. Herschel'is, F. Neumann'as, G. Kirchhoff'as pašalino tuos netikslumus, sugriežtino ir papildė Fresnel'io teoriją.

Nors banginės teorijos laimėjimai buvo akivaizdūs, ji ne iš karto nurungė korpuskulinę teoriją. Nemažai fizikų manė, kad abi teorijos yra netobulos: kai kuriuos reiškinius geriau aiškina banginė, kitus – korpuskulinė teorija. Airių matematikas William'as Hamilton'as (1805–1865) išplėtojo matematinę optiką, kuri nesirėmė nei šviesos bangų, nei dalelių vaizdi-

niais. Pavyzdžiu jam buvo Lagrange'o mechanika. Jis įvedė būdingąją funkciją (Hamilton'o funkcija) ir, remdamasis mažiausiojo veikimo principu, užrašė jai diferencialinę lygtį. Jos sprendinį buvo galima interpretuoti tiek vienos, tiek kitos teorijos požiūriu. Vėliau W. Hamilton'as šį metodą pritaikė mechanikai, taip suteikdamas jai naują bendrą pavidalą, ekvivalentišką Lagrange'o mechanikai. Būtent Hamilton'o funkciją, vienijančią bangų ir dalelių aprašymą, XX a. panaudojo E. Schrödinger'is pagrindinei kvantinės mechanikos lygčiai gauti.

Norėdamas išspręsti dviejų šviesos teorijų ginčą, François Arago pasiūlė lemiamą eksperimentą: išmatuoti šviesos greitį dviejose skirtingo tankio terpėse. Juk norint pagrįsti šviesos lūžimo dėsnį, korpuskuliniėje teorijoje daroma prielaida, kad greitis yra didesnis tankesnėje terpėje, o banginė šviesos teorija teigia priešingai. Šviesos greitį ore 1849 m. pavyko išmatuoti Hippolyt'ui Fizeau, o po metų jo konkurentas Leon'as Foucault nustatė ir šviesos greitį vandenyje, jis pasirodė esąs lygus $3/4$ greičio ore. Tas rezultatas nusvėrė banginės šviesos teorijos naudai – nuo XIX a. vidurio ji tapo visuotinai pripažinta. Tik amžiui baigiantis, J. Rayleigh'us išskyrė grupinį ir fazinį šviesos greičius; išvedant lūžimo dėsnį nagrinėjamas fazinis greitis, o tiesiogiai matuojamas – grupinis greitis. Taigi įrodymas neteko galios, bet jis jau buvo atlikęs savo vaidmenį.

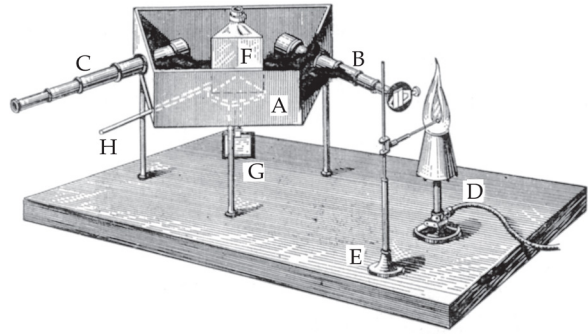
9.4. SPEKTRŲ TYRIMAI

Žymus anglų astronomas ir optikas William'as Herschel'is (1738–1822), naudodamasis jautriu termometru, tyrė, kaip yra pasiskirstęs šilumos srautas Saulės spektre. Temperatūra kilo artėjant link spektro raudonojo krašto ir pasiekė maksimumą už jo, kur akis nebemato jokių spindulių. Tokiu būdu W. Herschel'is 1800 m. aptiko neregimuosius šiluminius Saulės spindulius, kurie buvo pavadinti infraraudonaisiais (esančiais už raudonosios spektro srities) spinduliais.

Po metų vokiečių chemikas ir fizikas Johann'as Ritter'is (1776–1810) ėmė tirti cheminį įvairių spindulių poveikį pagal jais apšviesto sidabro chlorido pajuodavimą. Šis poveikis didėjo artėjant link spektro violetinio krašto ir tapo maksimalus vėlgi už krašto. Tuo remdamasis, Ritter'is padarė išvadą, kad egzistuoja neregimieji spinduliai, kurių bangos ilgis mažesnis negu violetinių. Jie buvo pavadinti ultravioletiniais spinduliais.

Tais pačiais metais W. Wollaston'as regimajame Saulės spektre pastebėjo kelias tamsias linijas. Deja, naudodamasis netiksliais prietaisais, jis padarė išvadą, kad linijų padėtys priklauso nuo spindulių intensyvumo ir prizmės medžiagos.

Norint tobulinti optinius matavimus, reikėjo aukštos kokybės stiklo. Vokiečių firmos, gaminančios optinius prietaisus, vadovas Joseph'as Fraunhofer'is sudarė receptus, kaip virti tokį stiklą ir kokių priemaišų į jį dėti. Eksperimentuodamas su įvairių rūšių stiklais ir šviesos šaltiniais, Fraunhofer'is pastebėjo, kad į liepsną įnešus truputį valgomosios druskos, spektre atsiranda ryški geltona linija. Vėliau toje pačioje vietoje Saulės spektre jis atrado tamsią liniją. Paaiškėjo, kad Saulės spektre yra daug tokių linijų – jų Fraunhofer'is 1814–1815 m. aptiko net kelis šimtus. Ryškiausias linijas jis pažymėjo didžiosiomis lotyniškais raidėmis.



9.3 pav. Pirmasis G. Kirchhoff'o spektrometras.

Linijų bangų ilgiams matuoti J. Fraunhofer'is panaudojo difraciją nuo siauro plyšio. Vėliau jis išrado daugelio lygiagrečių plyšelių sistemą – difrakcinę gardelę. Ją Fraunhofer'is pagamindavo vyniodamas vielele ant dviejų lygiagrečių sraigčių arba įbrėždamas stikle, padengtame aukso plėvele, lygiagrečius, vienodai nutolusius brūkšnelius. Netrukus difrakcinė gardelė tapo vienu iš pagrindinių optinių prietaisų, o Fraunhofer'io linijos nesulaukė didesnio fizikų dėmesio, nors ir buvo aptinkamos įvairiuose spektruose. Tiesa, 1834 m. anglas H. Talbot'as, tirdamas, kaip keičiasi liepsnos spektras įnešus į ją įvairių medžiagų, kelė nedrąsiai mintį, kad „kai liepsnos spektre pasirodo kokios nors konkrečios linijos, jos apibūdina liepsnoje esantį metalą“.

Tikraisiais spektroskopijos pradininkais yra laikomi vokiečių fizikai Gustav'as Kirchhoff'as (1824–1887) ir Robert'as Bunsen'as (1811–1899). Kirchhoff'as sukonstravo didelės skiriamosios gebos spektrografą (9.3 pav.) ir pradėjo sistemingus linijinių spektrų tyrimus. Jis įrodė, kad dujos sugeria to paties bangos ilgio šviesą, kurią jos spinduliuoja, t. y. tamsios linijos yra sugerties linijos. Analizuodami spektrus, G. Kirchhoff'as ir R. Bunsen'as 1860 m. atrado du naujus metalus – rubidį ir cezį, kurie buvo pavadinti pagal jiems būdingas raudoną ir melsvą spektro linijas (lot. *rubens* – raudonas, *caesius* – melsvas). Kirchhoff'as nustatė, kad kai kurios Saulės spektro tamsios linijos atsiranda dėl sugerties Žemės atmosferoje, tačiau kitos – dėl šio proceso pačios Saulės atmosferoje. Tuo būdu atsivėrė netikėta galimybė tirti cheminę Saulės ir kitų žvaigždžių sudėtį, ir paaiškėjo, kad jos sudarytos iš tų pačių elementų kaip ir Žemė.

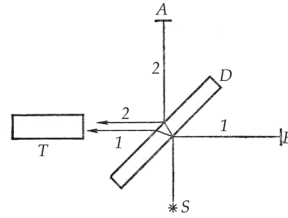
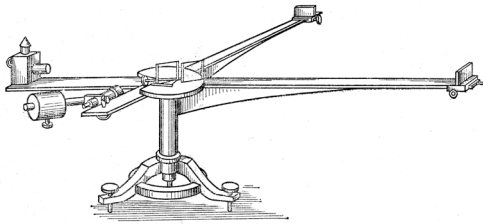
Reikia paminėti, kad dar 1842 m. buvo numatytas kitas reiškinys, leidžiantis iš spektro linijų gauti informacijos apie dangaus kūnų judėjimą. Prahos universiteto profesorius Christian'as Doppler'is (1803–1853) teoriškai įrodė, kad bangų šaltiniui artėjant prie stebėtojo, jo registruojamų bangų dažnis turi padidėti, o šaltiniui tolstant nuo stebėtojo, turi sumažėti. Doppler'is tai nustatė garsui, bet netrukus šis efektas buvo apibendrintas ir šviesai. Tiesa, Doppler'io išvada, kad visos žvaigždės esančios baltos, o jų spalva atsirandanti dėl judėjimo, nepasitvirtino. Pirmąją linijos poslinkį žvaigždės spektre dėl Doppler'io efekto pavyko išmatuoti tik 1867 m.

Spektrinės analizės taikymą sunkino tai, kad tų pačių elementų spektrai priklausė nuo jų sužadavimo sąlygų, pavyzdžiui, skyrėsi kibirkšties ir elektros lanko spektrai. Be to, paaiškėjo, kad egzistuoja ne tik linijiniai, bet ir juostiniai spektrai (vėliau jie buvo priskirti atitinkamai atomams ir molekulėms). 1885 m. J. Balmer'is įrodė, kad vandenilio regimojo spektro linijos sudaro taisyklingą seriją, o po kelerių metų H. Kayser'is ir C. Runge aptiko linijų serijas ir sudėtingesnių atomų spektruose. J. Rydberg'as nustatė empirinę formulę, aprašančią vandenilio ir šarminių metalų spektrų linijas. Deja, visi mėginimai teoriškai paaiškinti būdinguosius spektrus, naudojantis mechaniniais, netgi elektriniais ir magnetiniais, atomo modeliais, nebuvo sėkmingi. Spektrai liudijo, kad atomai turi sudėtingą struktūrą, tačiau klasikinė fizika nesuteikė raktų jai atskleisti.

9.5. ETERIO PROBLEMA

Bangų sklidimas tuštumoje, nesant bangas perduodančios terpės, daugeliui XIX a. fizikų atrodė neįmanomas dalykas. Tad beveik visi žymūs to amžiaus fizikai stengėsi bandymais aptikti eterį arba teoriškai paaiškinti jo savybes. D. Mendelejevas buvo netgi įtraukęs eterį į periodinę elementų sistemą ir suteikęs jam nulinį numerį bei niutonio pavadinimą. Tikėtasi, kad eterio atradimas vainikuos klasikinę fiziką. Deja, kuo toliau, tuo painesnė darėsi ši problema.

Jeigu šviesa yra skersinės bangos, sklindančios nepaprastai dideliu greičiu, tai jas perduodantis eteris turėtų būti labai tampri medžiaga, gerokai pranokstanti plieną. O jei nėra stebimos išilginės šviesos bangos, reiškia, eteris yra visai nespūdas šviesos sklidimo kryptimi. Antra vertus, dangaus kūnai juda eteryje nepatirdami jokio pasipriešinimo. Kaip suderinti šias priešingas savybes? G. Stokes iškėlė hipotezę, kad eteris panašus į dervą – jis priešinasi staigioms deformacijoms tarsi kietasis kūnas, bet iš lėto deformuojamas apteka kūnus kaip derva. Deja, planetų ir kitų dangaus kūnų judėjimą erdvėje vargu ar galima laikyti lėtu. Tas ir panašūs eterio modeliai davė tik tiek naudos,



9.4 pav. A. Michelson'o įrenginys šviesos greičiui matuoti ir jo schema.

kad paskatino išplėtoti bendrą tamprumo teoriją.

Kitas plačiai svarstomas klausimas buvo toks: ar kūnui judant eteryje šis išlieka parimęs, ar aplinkiniai eterio sluoksniai yra velkami kūno? Ar eteris, esantis kūno viduje, juda kartu su juo?

Dar A. Fresnel'is, norėdamas paaiškinti, kodėl šviesos lūžimo dėsnis nesikeičia, nesvarbu, ar šviesa krinta į parimusį, ar į judantį kūną (pavyzdžiui, Saulės šviesa į plokštelę, judančią kartu su Žeme), padarė prielaidą, kad eteris yra tik iš dalies velkamas kūno. Tai 1851 m. ėmėsi eksperimentiškai tikrinti H. Fizeau. Jis išskaidydavo šviesos spindulį į du, kurių vienas sklido vandenyje jo tekėjimo kryptimi, o kitas – prieš tėkmę, ir stebėjo jų interferenciją. H. Fizeau rezultatai atitiko A. Fresnel'io hipotezę.

G. Stokes teigė, kad, Žemei judant kosminėje erdvėje, eteris prie Žemės paviršiaus juda kartu su planeta, bet tolimesni eterio sluoksniai juda vis mažesniu greičiu.

1881 m. amerikiečių eksperimentatorius Albert'as Michelson'as pamėgino aptikti Žemės judėjimą eterio atžvilgiu. Garsiojo jo eksperimento idėja buvo tokia (9.4 pav.). Šviesos šaltinio S spindulys krinta į pusiau skaidrią plokštelę D ir yra išskaidomas į 1 ir 2 spindulius. Jie atsispindi nuo veidrodžių A ir B, o 2 spindulys dar nuo plokštelės D ir patenka į vamzdį T, kuriame stebima spindulių interferencija. Nejudančiame prietaise spinduliai sklistų vienodu greičiu, tad to paties ilgio kelią nueitų per tą patį laiką. Tas pats būtų, jei Žemės ir eterio greičiai yra vienodi. Betgi jei Žemė juda eterio atžvilgiu, tai, anot įprastinės greičių sudėties taisyklės, šviesos spindulių greičiai Žemės judėjimo ir jai statmena kryptimis pasidaro skirtingi prietaiso atžvilgiu. Tad iš pradžių nukreipus 1 spindulį Žemės judėjimo kryptimi, o po to pasukus visą prietaisą 90° kampu, stebimas interferencinis vaizdas turėtų pasislinkti. Deja, A. Michelson'as jokio poslinkio nenustatė, ir tai atitiko Stokes'o hipotezę.

Egzistavo dar vienas XVIII a. pastebėtas reiškinys – šviesos aberacija (reguliarus žvaigždžių padėties kitimas per metus), kuris buvo paaiškintas Žemės sukimusi aplink Saulę, laikant eterį nejudančiu.

Suderinti tarpusavyje visas tas prieštaringas eterio savybes buvo var-

gu ar įmanoma, jo problemą reikėjo perkirsti kaip Gordijaus mazgą, ir tai XX a. padarė reliatyvumo teorija.

SANTRAUKA

XIX a. daugelyje Europos šalių ir JAV toliau vyko technikos ir pramonės revoliucija – buvo tiesiami geležinkeliai, išrastas ir paplito vidaus degimo variklis, o nuo amžiaus vidurio sparčiai pradėta taikyti elektrinius reiškinius ryšiams ir pramonėje, dėl to XIX a. antroji pusė vadinama elektros amžiumi. Suartėjus technikai ir fizikai, atsirado taikomoji fizika, imta kurti laboratorijas ir net mokslo institutus prie gamyklų. Pagrindiniais mokslo centrais tapo atsinaujinę universitetai.

Po nevaisingo optikai XVIII a., nuo naujojo amžiaus slenksčio prasidėjo sparti banginės šviesos teorijos raida. Jai pradinį akstiną suteikė T. Young'as, suformulavęs bendrą interferencijos principą. Pritaikęs jį šviesos difrakcijai paaiškinti, T. Young'as gana tiksliai nustatė įvairių spalvų šviesos bangų ilgius. Jo rezultatai nebuvo pripažinti, o netrukus atrastas šviesos poliarizacijos reiškinys negalėjo būti paaiškintas laikant šviesą išilginėms bangomis.

T. Young'o idėjas pratęsė ir apibendrino A. Fresnel'is. Naudodamasis interferencijos principu ir Huygens'o bangų gaubtinės metodo, Fresnel'is išplėtojo nuoseklią matematinę šviesos teoriją, aprašė įvairius difrakcijos atvejus. Padaręs prielaidą, kad šviesos bangos yra skersinės (nors tai ir prieštaravo tuometinei skersinių bangų sampratai), A. Fresnel'is paaiškino poliarizacijos reiškinį, taip pat dvejopą spindulių lūžimą kai kuriuose kristaluose. Vėliau grupė jaunų mokslininkų sugriežtino ir papildė Fresnel'io teoriją, o W. Hamilton'as sukūrė abstrakčią matematinę optiką, atitinkančią Lagrange'o mechaniką. 1850 m. L. Foucault išmatavo šviesos greitį vandenyje, kuris pasirodė esąs mažesnis negu jos greitis ore. Tai atitiko banginę šviesos teoriją, bet prieštaravo korpuskolinei teorijai, tad Foucault rezultatas buvo pripažintas lemiamu banginės šviesos teorijos teisingumo įrodymu (vėliau to teko atsisakyti).

Dar amžiaus pradžioje paaiškėjo, kad Saulės spindulių spektras nesibaigia raudonaisiais ir violetiniais spinduliais, už jų spektre buvo aptikti neregimieji spinduliai, kurie buvo pavadinti infraraudonaisiais ir ultravioletiniais spinduliais. O regimosios šviesos Saulės ir liepsnos spektruose buvo atrastos linijos. Per keletą dešimtmečių paaiškėjo, kad tos linijos yra būdingos atskiriems cheminiams elementams. Saulės spektre atradus kai kurių Žemės elementų linijas, atsivėrė netikėta galimybė tirti cheminę Saulės ir žvaigždžių sudėtį. Linijų grupavimasis į serijas liudijo, kad atomai turi sudėtingą struk-

tūrą, bet jos nesisekė paaiškinti klasikiniiais modeliais.

Bene daugiausia XIX a. fizikų pastangų buvo padėta siekiant aptikti hipotetinį eterį, perduodantį šviesos bangas, ir teoriškai paaiškinti jo savybes. Deja, eterio modeliai buvo labai keisti, o H. Fizeau ir A. Michelson'o eksperimentai nustatyti kūnų judėjimą eterio atžvilgiu davė prieštarigus rezultatus.

X. TERMODINAMIKA IR KINETINĖ DUJŲ TEORIJA

Garo mašinų kūrimas ir jų tobulinimas paskatino šilumos fizikos plėtrą. XIX a. buvo griežtai apibrėžtos šilumos, darbo ir energijos sąvokos ir nustatyti jų tarpusavio ryšiai. Apibendrintas mokslas apie šiluminius reiškinius buvo pavadintas termodinamika (gr. *thermos* – šiltas, karštas; *dinamika* – mokslas apie judėjimą).

10.1. BENDRO ENERGIJOS TVERMĖS DĖSNIO ATRADIMAS

I. Newton'as ir netgi XVIII a. fizikai dar nevartojo *energijos* ir *darbo* sąvokų. Energija ilgą laiką nebuvo skiriama nuo jėgos. Net iki XIX a. vidurio kinetinė energija buvo vadinama gyvąja jėga, o potencinė energija – negyvąja jėga. Norint griežtai apibrėžti energiją, reikėjo įvesti darbo sąvoką ir nustatyti jo ir energijos tarpusavio ryšį.

Šiluminės mašinos teorija. Darbo sąvoka atsirado norint apibūdinti šiluminės mašinos veikimą. Kadangi iš pradžių tokios mašinos buvo daugiausia naudojamos vandeniui kelti, tai mašinos atliktas darbas buvo matuojamas vandens kiekiu, kurį mašina per tam tikrą laiką pakeldavo aukštin.

Bendrą mašinų bei mechanizmų teoriją plėtojo matematikas ir mechanikas, žymus Prancūzijos revoliucijos veikėjas Lazare'is Carnot. Jis įvedė dydį, lygų „jėgos, kelio ir kosinuso kampo tarp jų sandaugai“, tiesa, jį vadino ne darbu, o „veiklos momentu“. Darbo sąvoką ir terminą fizikoje įtvirtino prancūzas Jean'as Poncelet. Jis suformulavo ir energijos tvermės dėsnį mechaniniams procesams: atliktų darbų algebrinė suma yra lygi gyvųjų jėgų (t. y. kinetinių energijų) sumai.

Matematinę šilumos sklaidimo teoriją plėtojo Joseph'as Fourier. Savo garsiaame veikalė „Analizinė šilumos teorija“ (1822 m.) jis pateikė diferencialinę lygtį, aprašančią šilumos sklaidimą, t. y. pagrindinę šiluminio laidumo lygtį. Spręsdamas šią problemą, Fourier įvedė funkcijos skleidimą trigonometrinėmis funkcijomis – vadinamąsias Fourier eilutes, kurios pasirodė esančios labai parankios įvairio-



10.1 pav. Sadi Carnot.

se fizikos srityse. Esminį žingsnį šilumos fizikoje, panašiai kaip optikoje T. Young'as, padarė L. Carnot sūnus Sadi (1796–1832).

S. Carnot baigė Politechnikos mokyklą ir dirbo karo inžinieriumi. Deja, dėl savo tėvo, tuo metu buvusio tremtyje, jis turėjo palikti tarnybą, o po kelerių metų mirė nuo choleros. S. Carnot paskelbė tik vieną mokslo darbą – 1824 m. buvo išspausdinta jo 48 puslapių knygelė „Samprotavimai apie ugnies judinančiąją jėgą ir apie mašinas, galinčias šią jėgą sukurti“.

S. Carnot kėlė praktinius klausimus – nuo ko priklauso šiluminės mašinos judinančioji jėga, ar yra riba galimam mašinos tobulinimui? Jis ėmėsi nagrinėti idealiąją šiluminę mašiną, kuri nepriklausytų nuo konkretaus mechanizmo. Carnot mašina veikė cikliškai – gaudavo tam tikrą šilumos kiekį, atlikdavo darbą ir grįždavo į pradinę padėtį.

S. Carnot laikėsi šiluminio skysčio teorijos ir naudojosi analogija tarp šiluminės mašinos ir vandens variklio. Jame vanduo atlieka darbą krisdamas žemyn iš vieno indo į kitą. Anot Carnot, būtina sąlyga, kad šiluma atliktų darbą, – ji turi pereiti iš įkaitusio kūno į šaltesnį kūną (Carnot principas). Taigi šiluminė mašina turi turėti šildytuvą ir aušintuvą (jo vaidmenį gali atlikti ir aplinka). Carnot, remdamasis amžinojo variklio negalimumu, padarė išvadą, kad mašinos naudingumo koeficientas priklauso tik nuo kaitintuvo ir aušintuvo temperatūrų skirtumo, bet nepriklauso nuo darbinio kūno.

Taigi S. Carnot, nors ir naudodamasis kaloriko modeliu, sukūrė teisingą šiluminės mašinos teoriją, nes, kaip minėta 7 skyriuje, šiluminis skystis gerai aprašo kai kurias šilumos savybes. Vis dėlto ta analogija yra apytikrė. Tad, remdamasis kaloriko tvermės dėsniumi, Carnot klydo, kad šilumos kiekis mašinoje nesikeičia – ji tik perteka iš kaitintuvo į aušintuvą.

Kaip liudija nespausdinti S. Carnot užrašai, vėliau jis atsisakė kaloriko modelio ir plėtojo mechaninę šilumos teoriją. Jis buvo suformulavęs judinančiosios jėgos (energijos) tvermės dėsnį: „Šiluma – tai ne kas kita, kaip judinančioji jėga, arba teisingiau, judėjimas, pakeitęs savo pavidalą: tai kūno dalelių judėjimas; visur, kur yra sunaikinama judinančioji jėga, tuo pačiu metu atsiranda šiluma, kurios kiekis tiksliai proporcingas išnykusios judinančiosios jėgos kiekiui. Ir priešingai, visada, išnykus šilumai, atsiranda judinančioji jėga. <...> Tokiu būdu galima suformuluoti bendrą teiginį: judinančiosios jėgos kiekis gamtoje nekinta, ji niekada nėra sukuriama, niekada nėra sunaikinama; iš tikrųjų ji keičia formą, t. y. sukelia tai vienos, tai kitos rūšies judėjimą, bet niekada neišnyksta.“

S. Carnot užrašuose netgi nurodytas kiekybinis sąryšis: judinančiosios jėgos vienetui sukurti reikia 2,70 šilumos kiekio vieneto (taigi jo nustatytas mechaninis šilumos ekvivalentas buvo lygus 3,63 kJ/kcal). Deja, Carnot

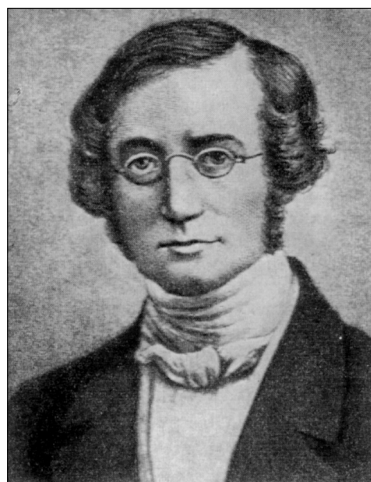
nerašė, kaip jis gavo tokią vertę.

S. Carnot knygelė neatkreipė fizikų dėmesio. Tik po dešimtmečio ją pastebėjo ir įvertino jo tėvynainis B. Clapeyron'as. Jis patikslino idealiosios šiluminės mašinos ciklą (dabar vadovėliuose aprašomas Clapeyron'o, o ne Carnot pasiūlytas ciklas) ir suteikė Carnot idėjoms matematinę formą.

Energijos tvermės dėsnis ir jo atradėjai. Paaikšėjus mechaninės energijos ir šilumos bendrumui, aptikus šilumos išsiskyrimą tekant elektros srovei, XIX a. ketvirtajame dešimtmetyje fizikoje tarsi sklandė bendro tvermės dėsnio idėja. Vis dėlto, nesant aiškaus energijos apibrėžimo, fizikai (jau pripratę prie griežtumo reikalavimo) nedrįso pirmieji negriežtai formuluoti naujo dėsnio. Tą padarė kitų specialybių atstovai.

Pirmasis bendrą energijos tvermės dėsnį paskelbė vokiečių gydytojas Julius Robert'as Mayer'is (1814–1878).

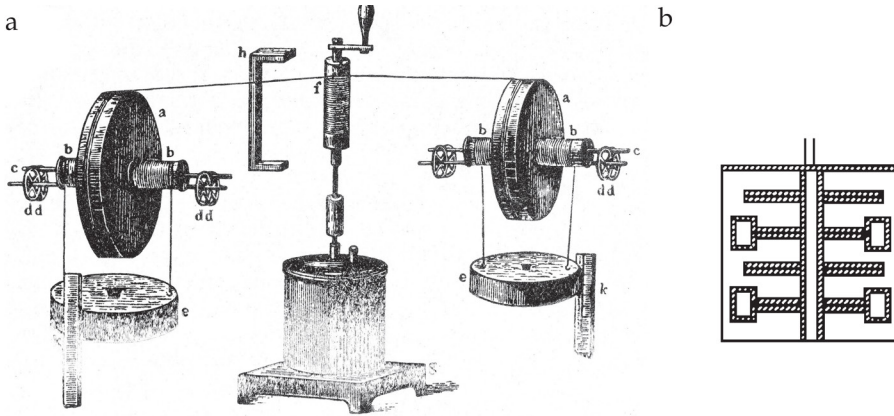
Baigęs medicinos studijas, jis išplaukė, kaip laivo gydytojas, į Indoneziją. Tropikuose dalis jūreivių susirgo karštlige, ir J. Mayer'is, taikydamas to meto universalų gydymo būdą – kraujo nuleidimą, pastebėjo, kad esant aukštai aplinkos temperatūrai kraujas yra neįprastai ryškios spalvos. Tai jis susiejo su kraujyje lėčiau vykstančiu oksidacijos procesu, ir jam kilo mintis, kad pastoviai kūno temperatūrai palaikyti organizme turi pasigaminti tiek šilumos, kiek jos atiduodama aplinkai. O jei žmogus atlieka darbą, tai jo organizmas turi „sudeginti“ daugiau medžiagų. Grįžęs į Europą, J. Mayer'is ėmė domėtis fizika ir padarė išvadą,



10.2 pav. Robert Mayer.

kad kaip chemijoje – „medžiagų moksle“ – galioja medžiagos tvermės dėsnis, taip fizikoje – „jėgų moksle“ – turi galioti bendras jėgos tvermės dėsnis. Jėgą jis suprato kaip nesunaikinamą, bet įgyjantį įvairius pavidalus, besvorį „objektą“.

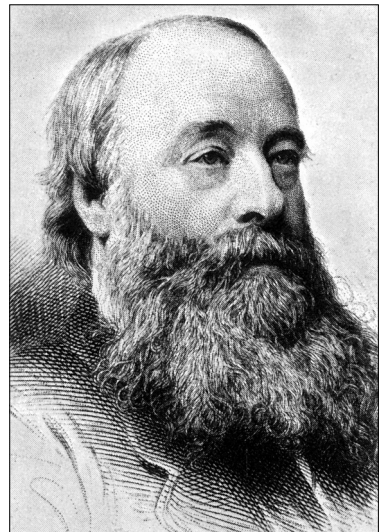
Deja, J. Mayer'io parengtame straipsnyje buvo nemažai miglotų samprotavimų ir netgi klaidų, tad žurnalo „Annalen der Physik“ redaktorius, neižiūrėjęs vertingos idėjos, atmetė rankraštį, nesiteikdamas net pasiūsti autoriui atsakymo. Po to Mayer'is parašė antrąjį, aiškesnį ir geriau argumentuotą straipsnį, be to, jame pateikė apskaičiuotą mechaninio šilumos ekvivalento vertę (3,58 kJ/kcal). Tas straipsnis buvo išspausdintas 1842 m. specialiaame chemijos ir farmacijos žurnale, tad fizikai jo nepastebėjo. Jėgos tvermė tapo Mayer'io gyvenimo idėja, jis po trejų metų išleido nedidelę knygelę, kurioje



10.3 pav. J. Joule'io prietaisai mechaniniam šilumos ekvivalentui nustatyti: svoriai e, leidamiesi žemyn, suka menteles inde su vandeniu (parodytas atskirai). Taigi svorių potencinė energija virsta šiluma, kuri nustatoma išmatavus jautriu termometru vandens temperatūros pokytį.

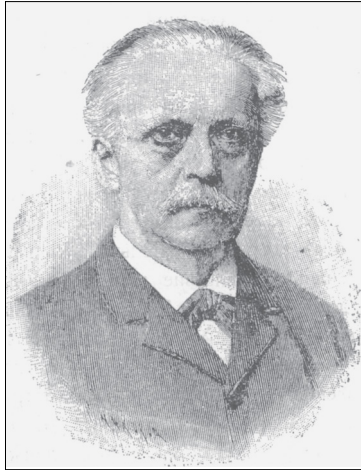
apibendrino savo rezultatus. Joje Mayer'is energijos (jo irgi vadintos jėga) tvermę skelbė esant viršiausiu gamtos dėsniu: „Jėga kaip judėjimo priežastis yra nesunaikinama. <...> Galima įrodyti *a priori* ir visais atvejais patvirtinti bandymais, kad įvairios jėgos gali virsti viena kita. Vykstant nuolatinei kaitai, jėga cirkuliuoja ir gyvojoje, ir negyvojoje gamtoje. Neįmanoma rasti reiškinio, kuriame nevyktų jėgos virsmas keičiantis jos formai.“ Kai ir ši knygelė nesulaukė dėmesio, nusivylęs Mayer'is naujų darbų nebeatliko; vis dėlto po poros dešimtmečių, to nebesitikėdamas, jis susilaukė pripažinimo.

Daug palankiau buvo sutikti anglo, alaus gamyklos savininko James'o Prescott'o Joule'io (1818–1889) darbai. J. Joule'is lavinosi namuose ir jokios mokyklos nebuvo baigęs, bet jis savarankiškai tapo puikiu eksperimentatoriumi. Joule'is 1843–1847 m. tiksliais bandymais išmatavo šilumos kiekį, išsiskiriantį sukant elektromagnetą magnetiniame lauke, slegiant dujas, sukant inde su skysčiu menteles (10.3 pav.) ir kitais būdais. Jis gana tiksliai nustatė, kiek darbo reikia atlikti norint sukurti vieną šilumos kiekio vienetą – 4,16 kJ/kcal (tikslė vertė – 4,19 kJ/kcal). Joule'is padarė tokią bendrą išvadą: „Galingos gamtos jėgos, atsiradusios Kūrėjo valia, yra nesunaikinamos, ir visada, kai eikvojama mechaninė jėga, yra gaunamas tiksliai ekvivalentiškas šilumos kiekis.“



10.4 pav. James Joule.

Bendriausiu pavidalu energijos tvermės dėsni suformulavo vokiečių mokslininkas Hermann'as Helmholtz'as (1821–1894). Jis, kaip ir J. Mayer'is, turėjo gydytojo išsilavinimą, plėtojo fiziologinę optiką, bet palaipsniui jo interesai krypo į fiziką, ir gyvenimo pabaigoje H. Helmholtz'as tapo autoritetingiausiu vokiečių fiziku. Jis pasižymėjo ir eksperimentatoriaus, ir teoretiko talentu.



10.5 pav. Hermann von Helmholtz.

H. Helmholtz'as priėjo prie energijos tvermės idėjos nagrinėdamas puvimo ir rūgimo procesus, energijos virsmus gyvuosiuose organizmuose. Jis pirmasis suprato būtinumą įvesti fizikoje atskirą energijos sąvoką, nors savo garsiaame darbe „Apie jėgos tvermę“ (1847 m.) dar vartojo tradicinį šio dydžio pavadinimą. Remdamasis amžinojo variklio negalimumu, H. Helmholtz'as nustatė kiekybinius sąryšius tarp įvairių energijos rūšių. Greta potencinės, kinetinės energijos ir šilumos jis taip pat nagrinėjo elektrinę, magnetinę ir cheminę energiją, kai kurias iš jų išreiškė formulėmis.

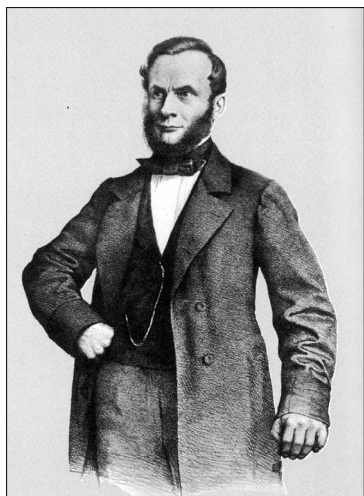
Vėliau, kilus ginčui dėl energijos tvermės dėsnio atradimo prioriteto, į jį pretendavo dar koks dešimt mokslininkų, kurie nepriklausomai, bet mažiau nuosekliai ar vėlesniu laiku kėlė panašią idėją. Vis dėlto pagrindiniais dėsnio atradėjais paprastai laikomi J. Mayer'is, pirmasis paskelbęs dar negriežtai suformuluotą dėsni, J. Joule'is, įrodęs jį tiksliais bandymais, ir G. Helmholtz'as, suteikęs dėsniui bendrą, matematinę formą.

10.2. TERMODINAMIKOS PAGRINDAI

Remdamiesi S. Carnot atlikta šiluminės mašinos veikimo analize, R. Clausius, W. Thomson'as ir kiti mokslininkai XIX a. antroje pusėje sukūrė termodinamikos – bendro mokslo apie šiluminius reiškinius – pagrindus.

Pirmasis ėmėsi apibendrinti šilumos fiziką ir gavo esminių rezultatų vokiečių fizikas Rudolf'as Clausius (1822–1888). Tai buvo plačių interesų mokslininkas, jaunystėje domėjęsis ne tik fizika ir matematika, bet taip pat humanitariniais mokslais, tačiau vėliau atsidėjęs fizikai. Jis dirbo Berlyno, Ciuricho, Viurcburgo universitetuose, kur sprendė įvairių fizikos sričių problemas. Vis dėlto svarbiausieji jo apie 1850 m. pradėti darbai yra iš termodinamikos ir kinetinės dujų teorijos.

Kaip pirmąjį termodinamikos dėsni – pagrindinį jos principą, – R. Clausius suformulavo apibendrintą energijos tvermės dėsni:



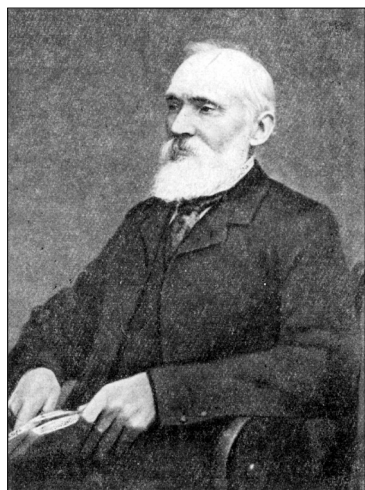
10.6 pav. Rudolf Clausius.

$$\Delta U = Q - \frac{A}{I};$$

čia Q – sistemai suteiktas šilumos kiekis, A – sistemos atliktas darbas, I – mechaninis šilumos ekvivalentas. U – Clausius'o įvesta nauja sistemos funkcija, jo pavadinta *slaptąja šiluma* (vėliau ji buvo pervadinta tiksliau – *vidine energija*, nes yra lygi sistemą sudarančių dalelių kinetinės ir tarpusavio sąveikos energijų sumai). Taigi ΔU yra vidinės energijos prieaugis. Iš pradžių Clausius šį dėsnį suformulavo konkretesniu pavidalu dujoms, bet po kelerių metų užrašė jį bet kokiai sistemai, gaunančiai tam tikrą šilumos kiekį ar jo netenkančiai.

1850 m. R. Clausius, apibendrinęs Carnot principą, pavadino jį antruoju termodinamikos dėsniu: „Šiluma negali savaiminiu būdu pereiti iš šaltesnio kūno į šiltesnį.“ Aiškindamas šį dėsnį, Clausius rašė, kad šiluma nei laidumo, nei spinduliavimo būdu negali susikaupti šiltesniame kūne šaltesniojo sąskaita. Esminė šilumos savybė – ji visada sklinda temperatūros mažėjimo kryptimi, priešingas procesas galimas tik eikvojant energiją.

Tuo pačiu metu šilumos fizikos peržiūros ėmėsi ir anglų mokslininkas William'as Thomson'as (1824–1907).



10.7 pav. William Thomson (Kelvin).

Thomson'o tėvas buvo matematikos profesorius, tad aštuonmetis vaikas jau pradėjo lankyti tėvo paskaitas, o dešimties metų buvo priimtas į universitetą. Po to jis tobulinosi Prancūzijoje, o nuo 1846 m. net 53 metus dirbo fizikos profesoriumi Glazgo universitete. Greta fundamentinių darbų W. Thomson'as nevengė ir taikomųjų. Jis buvo pagrindinis mokslinis konsultantas tiesiant iš Europos į Ameriką transatlantinį telegrafo kabelį, už tai jam buvo suteiktas lordo Kelvin'o titulas.

W. Thomson'as, nepriklausomai nuo R. Clausius'o, suformulavo antrąjį termodinamikos dėsnį, kuriam suteikė tokią išraišką: „Gamtoje negalimas procesas, kurio vienintelis rezultatas būtų mechaninis darbas, atliekamas atšaldant šilumos rezervuarą.“ Pagal Thom-

son'o formuluotę, yra negalimas antros rūšies amžinasis variklis, kuris visą iš kaitintuvo gautą šilumos kiekį paverstų darbu be kokių nors pokyčių aplinkoje. Clausius'o ir Thomson'o formuluotės yra lygiavertės.

W. Thomson'as įvedė absoliučiosios temperatūros skalę (Kelvin'o skalė), kurios idėją išskėlė dar 1848 m. Šios skalės laipsnį jis susiejo su idealios šiluminės mašinos atliekamu darbu: „Pagrindinė savybė skalės, kurią aš dabar siūlau, yra ta, kad visi jos laipsniai turi tą pačią vertę, t. y. vienetas šilumos, sklindančios iš kūno A, kurio temperatūra T , į kūną B, kurio temperatūra $T - 1^\circ$, duos tą patį mechaninį rezultatą, esant bet kokiam T vertei. Tokia skalė iš tikrųjų gali būti pavadinta absoliučiąja, nes ji visai nepriklauso nuo kokios nors medžiagos fizinių savybių.“ Skalės nulį Thomson'as prilygino Carnot mašinos aušintuvo temperatūrai, kuriai esant mašinos naudingumo koeficientas taptų lygus 1. Bendru atveju, kai kaitintuvo absoliučioji temperatūra yra T_1 , o aušintuvo T_2 , minėtam koeficientui Thomson'as gavo išraišką:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Taigi jei aušintuvo temperatūra yra aukštesnė negu absoliutusiasis nulis, koeficientas visada yra mažesnis už vienetą, t. y. tik dalis iš šildytuvo į aušintuvą perduodamos šilumos virsta darbu.

W. Thomson'as pirmasis ėmėsi nagrinėti realius negrįžtamuosius šiluminius procesus. Straipsnyje „Apie gamtai būdingą bendrą tendenciją išsklaidyti mechaninę energiją“ (1852 m.) jis rašė, kad, tik vykstant grįžtamiesiems procesams, sistema gali atstatyti savo mechaninę energiją, t. y. energiją, galinčią virsti mechaniniu darbu, o vykstant negrįžtamiesiems procesams (pvz., esant trinčiam), naudinga mechaninė energija mažėja, ji išsi-sklando, virsta šiluma ir kitomis mažiau vertingomis energijos rūšimis. Šilumai savaime sklindant iš šiltesnių kūnų į šaltesnius, temperatūrų skirtumai išsilygina, sistema degradoja, nes joje vis mažiau šilumos gali virsti darbu. Tai W. Thomson'as pritaikė visai Visatai ir teigė, kad jos laukia šiluminė mirtis. Ši išvada sukėlė ilgą diskusiją, į kurią įsitraukė ne tik fizikai, bet ir filosofai (rimčiausias oponentų argumentas buvo tas, kad Visatą kažin ar galima laikyti uždara sistema).

1854 m. W. Thomson'as pasiūlė kitą, kiekybinę antrojo termodinamikos dėsnio formuluotę. Jeigu, vykstant sudėtingam grįžtamajam procesui, sistema gauna ($Q > 0$) ar atiduoda ($Q < 0$) šilumos kiekius Q_1, Q_2, Q_3, \dots esant atitinkamai temperatūrai T_1, T_2, T_3, \dots , tai dydžių Q_i / T_i suma visam ciklui turi būti lygi nuliui:

$$\sum_i \frac{Q_i}{T_i} = 0.$$

R. Clausius šią išraišką apibendrino bet kokiam grįžtamajam ar negrįžtamajam procesui:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0;$$

Čia δQ yra elementarus šilumos kiekis, o integruojama pagal visą ciklą. Integralas lygus nuliui tik grįžtamajam procesui, o bet kokį realų negrįžtamąjį procesą atitinka nelygybė.

Clausius apibrėžė naują sistemos būsenos funkciją S , kurios diferencialas dS grįžtamajam procesui lygus $\delta Q/T$, o negrįžtamajam procesui visada didesnis už $\delta Q/T$. Šį dydį jis pavadino entropija (gr. *entropē* – virsmas; terminas buvo parinktas, kad skambėtų panašiai kaip *energija*). Taigi entropija apibūdina negrįžtamumo laipsnį; realiuose procesuose, kurie vyksta izoliuotoje sistemoje, ji tik didėja. Be to, entropija nusako ir W. Thomson'o kokybiškai aprašytą energijos sklaidą, mechaninės energijos vartimą kitomis, mažiau vertingomis energijos rūšimis. Taigi šis dydis pasirodė esąs toks pat svarbus kaip ir energija. R. Clausius teiginius „Pasaulio energija yra pastovi“, „Pasaulio entropija artėja prie maksimumo“ netgi siūlė laikyti dviem pagrindiniais ne tik termodinamikos, bet ir fizikos principais.

Taigi W. Thomson'as ir R. Clausius nustatė iš termodinamikos išplaukiantį dviejų laiko krypčių – į ateitį ir į praeitį – nelygiavertiškumą. Mechanikos dėsnuose laiką t galima pakeisti į $-t$, tad vienai dalelei abi laiko kryptys yra ekvivalentiškos, tačiau daugelio dalelių sistemoje atsiranda asimetrija, nes atvirkštiniai savaiminiai procesai, kurių metu entropija mažėtų, nėra galimi. Šį paradoksą tik 1872 m. išsprendė L. Boltzmann'as (1844–1906) pritaikęs tikimybių teoriją. Daugelio dalelių sistemoje yra labiau tikėtin



10.8 pav. Ludwig Boltzmann.

tinios netvarkiosios būsenos negu tvarkiosios, kurių yra daug mažiau. Tad dėl dalelių betvarkio šiluminio judėjimo uždaroji sistema evoliucionuoja netvarkos linkme. Entropijos didėjimo tendencija atitinka savaiminį sistemos perėjimą į tikimesnes, labiau netvarkias būsenas. Taip Boltzmann'as atskleidė dar vieną entropijos prasmę – šis dydis apibūdina netvarkos laipsnį ir yra susijęs su būsenos tikimybe. (Boltzmann'as išreiškė entropiją per tikimybės logaritmą.) Kartu buvo nustatytas antrojo termodinamikos dėsnio tikimybinis pobūdis – tai nėra visiškai griežtas dėsnis, bet daugelio dalelių sistemoje jo pažeidimas yra itin mažai tikėtinas.

Tarp kitų mokslininkų, kurie drauge su W. Thompson'u ir R. Clausius'u kūrė termodinamikos pagrindus, reikėtų dar paminėti W. Rankine'ą. Jis pirmasis pradėjo plačiai vartoti energijos terminą, įvedė potencinės energijos, adiabatinio ir izoterminio procesų terminus. W. Rankine'as pateikė bendrą energijos apibrėžimą: energija – tai galimybė atlikti darbą. Energija buvo pripažinta vienu iš pagrindinių fizikinių dydžių.

XIX a. devintojo dešimtmečio pradžioje netgi susiformavo energetizmo kryptis. Pagrindiniai jos atstovai vokiečių mokslininkai G. Helm'as ir W. Ostwald'as teigė, kad energija yra vienintelis tikrasis pasaulio elementas. Helm'as mėgino pagrįsti visą fiziką remdamasis energijos tvermės dėsniu bei tokiu savo suformuluotu dėsniu: „Bet kokia energijos forma siekia pereiti iš vietų, kur ji yra didesnio intensyvumo, į vietas, kur jos intensyvumas yra mažesnis.“ Tas Helm'o mėginimas nebuvo sėkmingas.

XIX a. paskutiniaisiais dešimtmečiais buvo išplėtoti analiziniai termodinamikos metodai ir jie pritaikyti įvairiems fizikiniams ir cheminiams procesams aprašyti. Amerikiečių teoretikas Josiah Willard'as Gibbs'as (1839–1903) išvystė cheminę termodinamiką ir statistinę mechaniką, nustatė termodinaminės pusiausvyros sąlygas, aprašė sudėtingų sistemų, kurias sudaro kelios medžiagos fazės, pusiausvyrą bei fazinius virsmus. Gibbs'as pasiūlė efektyvius matematinius metodus termodinamikos uždaviniams spręsti. Europoje jo darbai tapo plačiau žinomi tik XIX a. paskutiniajame dešimtmetyje.

10.3. KINETINĖ DUJŲ TEORIJA IR ATOMIZMAS

Įrodžius, kad šiluma yra medžiagos dalelių judėjimas, buvo imtasi nagrinėti tą judėjimą. Be to, XIX a. pradžioje atomų hipotezė buvo paremta įvairiais cheminiais argumentais. Anglų chemikas ir fizikas John'as Dalton'as (1766–1844) įvairias chemines reakcijas ir jų dėsningumus pradėjo aiškinti atomų susijungimu ir atsiskyrimu. 1803 m. jis įvedė atominio svorio sąvoką ir nustatė šį dydį kai kuriems cheminiams elementams. Londono gydytojas ir chemikas W. Prout'as spėjo, kad visų elementų atominiai svoriai, išreikšti per vandenilio atominį svorį, turėtų būti sveikieji skaičiai, ir tuo remdamasis iškėlė hipotezę, jog visi atomai yra sudaryti iš vandenilio atomų. Tai buvo pirmoji idėja apie sudėtingą atomų vidinę sandarą. Italų mokslininkas A. Avogadro aiškiai atskyrė atomo ir molekulės sąvokas ir iškėlė hipotezę, kad vienoduose įvairių dujų tūriuose, esant vienodiems slėgiui ir temperatūrai, yra vienodas molekulių skaičius. Vis dėlto supaprastinto atomų ir molekulių modelio taikymas chemijoje duodavo nevienareikšmių, net prieštaringų rezultatų.

XIX a. viduryje naują postūmį atomizmo raidai suteikė dujų nagrinėjimas jų sandaros požiūriu. Ankstesnieji R. Boyle'io ir D. Bernoulli rezultatai, aiškinę dujų savybes jų dalelių judėjimu, buvo tik kokybiniai, o XIX a. viduryje pradėta kurti kinetinę dujų teoriją.

1851 m. J. Joule'is vėl susiejo dujų slėgį su molekulių smūgiais ir pagrindė Boyle'io dėsnį. Vandenilio molekulių greitį jis įvertino esant apie 1,85 km/s. Tas Joule'io darbas liko nepastebėtas.

1856 m. vokiečių fizikas August'as Krönig'as (1822–1879) paskelbė 8 puslapių straipsnį „Dujų teorijos pagrindai“. Laikydamas dujų molekules tampriais rutuliukais, judančiais vienodu greičiu, jis įrodė Avogadro dėsnį, paaiškino dujų atvėsimą joms staiga plečiantis. A. Krönig'as teigė, kad dalelių kinetinė energija yra „ne kas kita kaip atskaitoma nuo absoliučiojo nulio temperatūra“. Darbe iškelta mintis, kad daugelio dalelių sistemai aprašyti reikėtų taikyti tikimybių teorijos metodus.

A. Krönig'o straipsnis paskatino R. Clausius'ą užbaigti ir paskelbti jo prieš keletą metų pradėtą teorinį dujų tyrimą. R. Clausius įvedė pirmąją vidutinę dalelių judėjimo charakteristiką – vidutinį laisvąjį kelią – ir susiejo jį su dujų klampa bei šiluminiu laidumu. Vis dėlto Clausius dar rėmėsi prielaida, kad visos dujų molekulės juda vienodu greičiu, nors ir įvairiomis kryptimis.

Po poros metų tos prielaidos atsisakė kitas žymus teoretikas J. Maxwell'as (apie jį plačiau rašoma 12 skyriuje, minint jo darbus iš elektromagnetizmo teorijos). J. Maxwell'as irgi laikė dujų molekules tampriais rutuliukais, sąveikaujančiais tik smūgių metu. Tačiau, anot jo, vykstant dalelių smūgiams, jų greičiai keičiasi, ir po daugelio smūgių susidaro tam tikras greičių skirstinys, kuris priklauso tik nuo dujų temperatūros ir dalelių masės. Maxwell'as gavo šio skirstinio algebrinę formulę. Ja naudodamasis, Maxwell'as patikslino savo pirmtakų nustatytas vidutinio molekulės laisvojo kelio ir kitų dydžių, nusakančių šiluminį judėjimą, išraiškas. Vėliau jis pateikė bendresnį greičių skirstinio įrodymą, išplėtojo dujų difuzijos, šiluminio laidumo ir vidinės trinties teoriją.

J. Maxwell'o darbus pratęsė L. Boltzmann'as. Jis apibendrino Maxwell'o skirstinį atvejui, kai dujos yra išoriniame lauke (Maxwell'o ir Boltzmann'o skirstinys). Net jeigu pradiniu momentu dujos yra sutrikdytos, vykstant smūgiams jos savaime pereina į pusiausvirąją būseną, kurią aprašo minėtas skirstinys. Naudodamasis statistikos metodais, Boltzmann'as išvedė idealių dujų kinetinę lygtį.

Deja, tiek fizikoje nei prasti statistiniai dujų molekulių judėjimo dėsniai, tiek Boltzmann'o pasiūlyta tikimybinė antrojo termodinamikos dėsnio interpretacija nepelnė amžininkų pripažinimo, bet susilaukė griežtos, dažnai

nepagrįstos atomizmo priešininkų E. Mach'o, W. Ostwald'o bei kitų filosofų ir fizikų kritikos. Tai labai slėgė jautrų mokslininką ir buvo viena iš jo savižudybės priežasčių.

Vis dėlto palaiptams kaupėsi argumentai atomizmo naudai. Eksperimentiškai buvo patvirtintos kinetinės dujų teorijos kai kurios išvados. 1869 m. rusų mokslininkas D. Mendelejevas (1834–1868) sudarė periodinę elementų sistemą, tiesa, jos struktūra dar nebuvo susieta su atomų savybėmis. Net keliais būdais pavyko nustatyti molekulių skaičių dujų molyje (Avogadro konstanta), taip pat įvertinti molekulių dydį. Atsižvelgdamas į tai, J. van der Waals'as išplėtojo realiųjų dujų teoriją.

Kinetinė dujų teorija palaiptams peraugo į atskirą fizikos sritį – statistinę fiziką. Statistiniai metodai pasirodė besą parankūs ne tik dujų, bet ir kitokių fizinių sistemų, susidedančių iš labai didelio skaičiaus dalelių (skysčiai, metalai ir kt.) savybėms aprašyti. Statistinės fizikos pradininkai buvo J. Maxwell'as, L. Boltzmann'as, J. Gibbs'as. Ypač daug prie bendrų statistinės fizikos metodų sukūrimo prisidėjo J. Gibbs'as, fundamentalus jo veikalas „Pagrindiniai statistinės mechanikos principai“ (1902 m.) vainikavo klasikinę statistinę fiziką. Tolesnė šios fizikos srities plėtra, ypač atsižvelgiant į kvantines mikrodalelių savybes, vyko ir XX a., apie tai rašoma 15 skyriuje.

SANTRAUKA

Sparčią šilumos fizikos raidą XIX a. paskatino garo mašinos išradimas ir jos tobulinimas. Norint apibūdinti mašinos naudingumą, buvo įvesta griežta darbo sąvoka. S. Carnot, nagrinėdamas idealiąją šiluminę mašiną, įrodė, kad ji turi turėti šildytuvą ir aušintuvą, o jų temperatūrų skirtumas lemia mašinos naudingumo koeficientą. Tas išvadas Carnot padarė naudodamasis šiluminio skysčio – kaloriko – modeliu. Kaip liudija nespausdinti jo užrašai, vėliau S. Carnot tapo mechaninės šilumos teorijos šalininku ir suformulavo bendrą teiginį, kad judinančiosios jėgos (energijos) kiekis gamtoje nekinta, bei apytiksliai nustatė mechaninį šilumos ekvivalentą.

XIX a. ketvirtame dešimtmetyje keletas mokslininkų beveik vienu metu išplėtojo idėją apie energijos tvermę. J. Mayer'is ją paskelbė pirmasis, bet jo formuluotė nebuvo griežta. J. Joule'is pagrindė šią idėją tiksliais šilumos kiekiu, išsiskiriančio vykstant mechaniniams ir elektriniams procesams, matavimais. H. Helmholtz'as suformulavo energijos tvermės dėsnį bendra forma ir nustatė matematinius sąryšius tarp įvairių energijos rūšių. Jis pirmasis suprato būtinumą įvesti atskirą energijos sąvoką.

Nuo XIX a. vidurio per keletą dešimtmečių R. Clausius, W. Thomson'as bei kiti mokslininkai apibendrino šilumos fiziką, suformulavo pagrį-

dinius jos principus, ir ji buvo pradėta vadinti termodinamika. Kaip pirmąjį termodinamikos dėsnį, R. Clausius nustatė bendrą sąryšį tarp šilumos, darbo ir sistemos funkcijos, kuri vėliau buvo pavadinta vidine energija. Antrąjį termodinamikos dėsnį, remdamiesi Carnot, nepriklausomai suformulavo Clausius ir Thomson'as. Pirmasis dėsnis uždraudžia tradicinį amžinąjį variklį, o antrasis dėsnis – antros rūšies amžinąjį variklį, kuris visą iš kaitintuvo gautą šilumos kiekį paverstų darbu. W. Thomson'as įvedė absoliučiąją temperatūrų skalę. Jis pirmasis ėmėsi nagrinėti realius negrįžtamuosius procesus ir padarė išvadą, kad tokių procesų metu energija išsisklaido ir suprastėja – viršta šiluma bei kitomis mažiau vertingomis energijos rūšimis. Clausius įrodė, kad tai atitinka naujo fizikinio dydžio – entropijos – didėjimą negrįžtamųjų adiabatinių procesų metu. Tai reiškė, kad termodinaminiai procesai išskiria laiko kryptį iš praeities į ateitį, o atskirai dalelei, paklūstančiai mechanikos dėsniams, abi laiko kryptys yra lygiavertės. Šį paradoksą paaiškino L. Boltzmann'as, susiejęs entropiją su daugiadalelės sistemos būsenos tikimybe. Jis atskleidė tikimybinį antrojo termodinamikos dėsnio pobūdį. XIX a. pabaigoje J. Gibbs'as išplėtojo analizinius termodinamikos metodus ir pritaikė juos įvairiems cheminiams ir fizikiniams procesams aprašyti.

Dar to amžiaus pradžioje J. Dalton'as, A. Avogadro ir kiti mokslininkai patikslino bei parėmė chemijos argumentais atomų ir molekulių egzistavimo hipotezę. Tad, nugalėjus mechaninei šilumos teorijai, iškilo problema aprašyti dujas – paprasčiausią medžiagos būseną – kaip jas sudarančių dalelių sistemą. Laikydami dujų molekules tampriais rutuliukais, sąveikaujančiais tik smūgių metu, ir netgi darydami labai apytikrą prielaidą, kad visų molekulių greičiai yra vienodi, A. Krönig'as ir R. Clausius gavo pirmuosius realistiškus rezultatus. R. Clausius pradėjo taikyti daugelio dalelių sistemai tikimybių teoriją, įvedė vidutinius dydžius. J. Maxwell'as, remdamasis bendromis prielaidomis, išvedė dujų molekulių greičių skirstinio formulę, aprašė dujų difuziją, šiluminį laidumą ir kt. L. Boltzmann'as statistikos metodais išvedė idealiųjų dujų kinetinę lygtį. Kinetinė dujų teorija ne tik paaiškino žinomus reiškinius, bet ir leido padaryti kai kurias naujas išvadas, kurios buvo patvirtintos eksperimentiškai. Pavyko įvertinti molekulių matmenis ir jų skaičių molyje. 1869 m. D. Mendelejevas sudarė periodinę elementų sistemą. Tačiau atomų egzistavimą pripažino dar toli gražu ne visi mokslininkai, kėlė abejonių ir neįprasti fizikoje statistiniai dėsniai. Vis dėlto palaipsniui jie buvo pradėti taikyti ir kitose fizikos srityse – atsirado bendra statistinė fizika. Vienas iš pagrindinių jos kūrėjų – J. Gibbs'as. Vėliau, XX a., ji buvo plėtojama atsižvelgiant į kvantines mikrodalelių savybes.

XI. ELEKTROS SROVĖS TYRIMAI

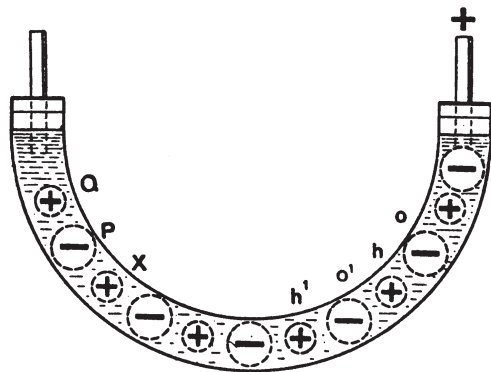
11.1. CHEMINIS IR MAGNETINIS SROVĖS VEIKIMAS

Elektrolizės atradimas. Sukūrus nuolatinės elektros srovės šaltinį – Volta stulpą, tapo įmanoma tirti elektros srovę ir jos veikimą.

Pirmiausia buvo aptiktas cheminis srovės veikimas. Kažkodėl to reiškinio, bent jau cinko oksidacijos tekant elektros srovei, nepastebėjo pats Volta. Sėkmė nusišypsojo dviem mėgėjams iš Anglijos – literatui W. Nicholson'ui ir medikui A. Carlisle'ui. Vos tik pasigaminę Volta bateriją, jie pastebėjo, kad elektros srovei tekant per valgomosios druskos tirpalą, prie baterijos elektrodų išsiskiria dujų burbuliukai. Tyrinėtojams pavyko įrodyti, kad prie vieno elektrodo susidaro vandenilio, o prie kito – deguonies dujos, taigi elektros srovė skaido vandenį į jo sudėtines dalis. Taip buvo atrasta elektrolizė – cheminiai procesai, vykstantys elektros srovei tekant per tirpalus ar išlydytus junginius (elektrolitus).

Pirmąją elektrolizės teoriją 1805 m. pasiūlė dvidešimtmetis Lietuvos bajoras, vokiečių riterių palikuonis Teodoras Grotusas (Theodor von Grotthus, 1785–1822), tuo metu studijavęs Romos universitete. Anot Grotuso, kiekviena elektrolito molekulė susideda iš dviejų teigiamąjį ir neigiamąjį krūvius turinčių dalių – „elementariųjų atomų“ (jie galbūt įsielektrina dėl tarpusavio trinties tekant elektros srovei). Neigiamasis elektrodas (Grotuso vadinamas neigiamuoju poliumi) pritraukia teigiamąjį molekulės atomą, jos neigiamoji dalis – kitos molekulės teigiamąją dalį, ir taip tarp elektrodų susidaro molekulių grandinė (11.1 pav.).

Neigiamojo elektrodo pritrauktas teigiamasis atomas neutralizuojasi ir atsiskiria nuo neigiamojo atomo. Šis prisijungia gretimoms molekulės teigiamąjį vandenilio atomą, ir taip molekulės, kol pasiekia kitą elektrodą, pasikeičia poromis. Po to molekulės grandinėje pasisuka, ir procesas kartojasi. Taip Grotusas supaprastintai paaiškino elektrolizės mechanizmą ir įvedė įelektrinto atomo (dabar vadinamo



11.1 pav. Elektrolito molekulių poliarizacija pagal T. Grotuso pirmąją elektrolizės teoriją.

jonu) sąvoką.

Sėkmingai prasidėjusi mokslinė Grotuso karjera, deja, vėliau prigeso. Dėl pašlijusios sveikatos ir Napoleono karų jis grįžo į savąjį Gedučių dvarą šiaurės Lietuvoje ir stengėsi čia tęsti mokslinį darbą, tyrinėjo fotocheminius procesus. Grotusas nustatė svarbų dėsnį, teigiantį, kad fotocheminį kitimą gali sukelti tik tie šviesos spinduliai, kuriuos medžiaga sugeria (vėliau šį dėsnį tiksliau suformulavo J. Draper'is). Vis dėlto aparatūros ir mokslinių ryšių stoka trukdė Grotuso tyrimams, o gautieji rezultatai liko mažai žinomi Vakarų Europoje.

Naują chemijos sritį – elektrochemiją – išplėtojo anglų chemikas ir fizikas Humphry Davy (1778–1829). Skaidydamas elektros srove šarmus, jis atrado du naujus elementus – kalį ir natrij. H. Davy sukonstravo didžiulę Volta bateriją, susidedančią iš 2000 elementų. Ją prijungęs prie dviejų anglies strypelių ir juos tolindamas vieną nuo kito, Davy 1810 m. stebėjo naujos rūšies elektros išlydį – elektros lanką. Jo temperatūra buvo tokia aukšta (apie 4000 °C), kad net platina „tirpo kaip vaškas“. Keleriais metais anksčiau lanką buvo stebėjęs rusų fizikas V. Petrovas, bet jo straipsnis, parašytas rusų kalba, liko nežinomas kitų šalių mokslininkams.

H. Oersted'o atradimas. Elektros ir magnetizmo tyrinėjimų pradininkas W. Gilbert'as buvo ilgam įtvirtinęs nuomonę, kad elektriniai ir magnetiniai reiškiniai yra skirtingos prigimties. Tad XVIII a., pastebėjus, kad geležiniai daiktai gali įsimagnetinti elektros išlydžio metu, tai buvo aiškinama išlydžio sukeltu sukrėtimu. Vis dėlto XIX a. pradžioje kai kurie fizikai mėgino ieškoti ryšio tarp elektros ir magnetizmo. Tos paieškos nebuvo sėkmingos, nes manyta, kad magnetą stipriau turi veikti elektros kibirkštis, o ne elektros srovė – slaptoji elektra ir, antra, ieškota įprastinės jėgos, veikiančios išilgai tiesės tarp magneto ir elektros kibirkšties ar laido su elektros



11.2 pav. Hans Christian Oersted.

srove. Apie galimą elektros poveikį magnetinei rodyklei 1812 m. savo knygoje rašė danų fizikas Hans'as Christian'as Oersted'as (1777–1851), bet užsiėmęs kitais tyrimais, jis nesiėmė to patikrinti bandymais.

H. Oersted'as buvo kilęs iš vaistininko šeimos ir pats turėjo vaistininko diplomą. Tačiau jis domėjosi įvairiomis mokslo sritimis – chemija, fizika ir net filosofija. Jo pažiūroms didelę įtaką turėjo F. Schelling'as (1775–1854), kurio gamtos filosofija skelbė elektrinių, magnetinių ir cheminių „jėgų“ bendrumo idėją. H. Oersted'as

visą kūrybinį gyvenimą dirbo Kopenhagos universitete, kurį buvo baigęs.

1819 m. pabaigoje, demonstruodamas studentams bandymus su elektros srove, H. Oersted'as pastebėjo jos poveikį netoliese padėto kompas rodyklei. Paplitusi nuomonė, kad tas atradimas buvo padarytas atsitiktinai. Pats Oersted'as vėliau rašė, kad jis demonstracijos metu prisiminęs savo knygos teiginį apie elektros ir magnetizmo tarpusavio ryšį ir pamėginęs artinti kompasą prie plonos vielės, kurią tekanti elektros srovė buvo stipriai įkaitinusi (jam atrodė, kad tokiu atveju srovės veikimas turi būti stipresnis).

H. Oersted'as atliko seriją papildomų bandymų su stipresne srove ir nustatė pagrindinius kokybinius reiškinio dėsniumus: srovė veikia magnetinę rodyklę, nukreiptą įvairiu kampu laido atžvilgiu, išskyrus statų kampą; rodyklės, esančios po laidu ir virš jo, yra veikiamos priešingomis kryptimis; srovės poveikis silpnėja, rodyklei tolstant nuo laido; rodyklę veikia ne trauka ar stūma, o ją suka jėgų momentas. Suprasdamas atradimo svarbą, H. Oersted'as aprašė jį nedidelėje, vos 4 puslapių brošiūroje „Bandymai, susiję su elektros konflikto įtaka magnetinei rodyklei“ (1820 m.) ir išsiuntinėjo ją mokslo žurnalų redakcijoms, mokslo draugijoms bei žymesniems fizikams. Kaip liudija brošiūros pavadinimas, Oersted'as neteisingai aiškino reiškinio priežastį. Remdamasis tuo metu vyraujančia teorija, kad laidu priešingomis kryptimis teka teigiamos ir neigiamos elektros srautai, Oersted'as manė, kad jiems susiduriant vyksta elektros konfliktas, kuris sukelia aplink laidą du priešingomis kryptimis besisukančius sukurius; jie ir pasuka rodyklę. Be to, Oersted'as laikė būtina sąlyga laido įkaitimą ir atsisakė jos tik savo antrajame darbe. Jame jis nustatė, kad laisvai kabantį laidą su srove magnetas nukreipia nuo vertikalės.

H. Oersted'o atradimas sukėlė didelį susidomėjimą mokslo pasaulyje, jo bandymai buvo pakartoti daugelyje laboratorijų. Juk atsivėrė galimybė suvienyti dvi fizikos sritis, be to, buvo aptikta naujos rūšies necentrinė jėga. Oersted'o atradimas labai paspartino elektrinių ir magnetinių reiškinų tyrimus.

Po svarbiausio savo gyvenimo atradimo H. Oersted'as tęsė šios srities tyrimus, bet daugiau tokio masto atradimų nepadarė.

11.2. AMPÈRE'O ELEKTRODINAMIKA

Tuoju po H. Oersted'o atradimo esminį indėlį į elektromagnetinių reiškinų tyrimą įnešė prancūzų mokslininkas André Marie Ampère'as (1775–1836).

A. Ampère'as gimė Lione, komersanto šeimoje ir nuo vaikystės, kaip ir T. Young'as, pasižymėjo nepaprastais gabumais. Nelankęs jokių mokyklų,



11.3 pav. André Marie Ampère.

jis savarankiškai įgijo visapusišką išsilavinimą. Deja, jam sulaukus aštuoniolikos metų, tėvas buvo nuteistas mirti kaip revoliucijos priešas. Kai Ampère'as atsigavo po šio smūgio, jis užsiėmė botaniniais ir matematiniais tyrimais, kūrė tarptautinę kalbą. Pagarsėjęs matematikos darbais, Ampère'as 1809 m. tapo Politechnikos mokyklos Paryžiuje profesoriumi. Chemijoje jis anksčiau už Avogadro ir Dalton'ą plėtojo molekulių hipotezę. 1820 m. Ampère'as užsiėmė elektros srovės tyrimais ir per penkerius metus sukūrė elektrodinamikos pagrindus. Gyvenimo pabaigoje jis parašė veikalą apie mokslo žinių klasifikaciją, kur numatė kai kuriuos naujus mokslus. Vieną iš jų Ampère'as pa-

vadino kibernetika, tiesa, jam teikė mokslo apie valstybės valdymą prasmę.

1820 m. vasarą A. Ampère'o draugas F. Arago dalyvavo gamtos tyrinėtojų suvažiavime Ženevoje, kur susipažino su H. Oersted'o atradimu, o grįžęs į Paryžių pademonstravo tuos bandymus Mokslų akademijos posėdyje. Jau po savaitės Ampère'as perskaitė originalų pranešimą, kuriame iškėlė svarbias idėjas – apie spirale tekančios elektros srovės ekvivalentiškumą magnetui ir elektrinę magnetizmo prigimtį, suformulavo „plaukiko taisyklę“, kaip aprašyti srovės poveikį magnetinei rodyklei. Dar po savaitės Ampère'as paskelbė atradęs naują reiškinį – dviejų laidų su srove sąveiką. Apie nepaprastą Ampère'o kūrybinį pakilimą galima spręsti iš to, jog jis spalio–gruodžio mėnesiais perskaitė dar devynis pranešimus apie eksperimentinius ir teorinius elektromagnetizmo tyrimus.

A. Ampère'as nustatė, kaip sąveikauja du lygiagretūs laidai, kuriais teka elektros srovės: jeigu jos teka ta pačia kryptimi, laidai traukia vienas kitą, o jei teka priešingomis kryptimis, laidai stumia viena kitą.

Jis pirmasis ėmė nagrinėti ratu tekančios elektros srovės magnetinį veikimą. Izoliuotas laidas dar nebuvo išrastas, tad Ampère'as apvyniodavo paprastu laidu stiklinį vamzdelį. Jis įrodė, kad ritė su srove veikia kaip magnetas; vienas ritės galas atitinka šiaurės, o antrasis – pietų polių. A. Ampère'as kartu su F. Arago pasiūlė tokią ritę naudoti kaip dirbtinį magnetą, jo veikimą sustiprinant į vidurį įkišta geležine šerdimi. Tiesa, praktiškas elektromagnetas, taikomas technikoje, buvo sukonstruotas tik po keleto metų.

A. Ampère'as išplėtojo hipotezę, kad magneto viduje – plokštumoje, statmenoje jo ašiai – irgi cirkuliuoja elektros srovė. Tiesa, iš pradžių jis

manė, kad tai magnetą iš vidaus aptekanti makroskopi-
nė srovė, bet vėliau priėjo teisingą išvadą, kad magneto
savybes nulemia daugelio mažyčių srovių, tekančių jį su-
darančiose dalelėse, bendras veikimas. Ampère’as iškėlė
idėją, kad ir Žemės magnetizmo priežastis yra planetos
viduje cirkuliuojančios srovės.

Taigi Ampère’as ryžtingai atsisakė paplitusios hi-
potezės apie ypatingo magnetinio skysčio egzistavimą ir
padarė išvadą, kad magnetizmas yra elektros srovės suke-
liamas reiškiny. Jis pasiūlė elektromagnetizmą skirstyti į
elektrostatiką ir elektrodinamiką, pastarajai priskiriant ir
magnetizmą.

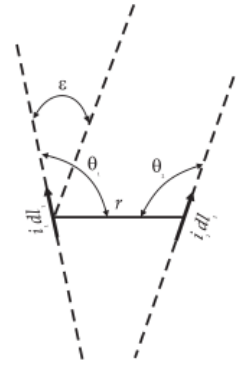
A. Ampère’ui priklauso ir kita naujojo reiški-
nio taikymo idėja. Jis pasiūlė panaudoti elektros srovę ir
magnetinį jos veikimą informacijai perduoti (1820 m.). Vis dėlto elektrotele-
grafui sukurti prireikė daugiau kaip dešimties metų. 1833 m. C. Gauss’as ir
W. Weber’is įrengė bandomąją telegrafo liniją Getingeno universitete tarp
fizikos laboratorijos ir astronomijos observatorijos. Maždaug tuo pačiu metu
amerikiečių išradėjui S. Morse kilo išganinga mintis sukurti specialią abėcėlę
naudojantis tik dviem ženklais – tašku ir brūkšneliu. 1839 m. buvo nutiesta
telegrafo linija Vašingtonas–Baltimorė, ir naujovė pradėjo sparčiai plisti.

A. Ampère’as iškėlė ir galvanometro – prietaiso silpnai elektros srovei
matuoti pasinaudojant magnetiniu jos veikimu – idėją. Jis pasiūlė nemažai
naujų elektros ir magnetizmo sąvokų ir jų pavadinimų, kurie vartojami ligi
šiol: be jau minėtų *elektrodinamikos* ir *galvanometro*, jis taip pat įvedė są-
vokas *įtampa*, *srovės stipris*, *solenoidas* ir kt. Netgi termino *elektros srovė*
autorius yra Ampère’as, ligi tol ji buvo vadinama Galvani srove arba Volta
srove. Vis dėlto sąvokų *srovės stipris* ir *įtampa* griežtų apibrėžimų Ampère’as
dar nepateikė.

Gautuosius rezultatus A. Ampère’as apibendrino veikalė „Elektrodina-
minių reiškinių teorija, pagrįsta vien tik bandymais“ (1826 m.). Jame pateikė
ir kiekybinį dviejų srovės elementų sąveikos dėsnį. Tarkime, pirmojo laidininko
elementu dl_1 teka srovė i_1 , o antrojo laidininko elementu dl_2 – srovė i_2
(11.4 pav.) Tarp jų veikiančią jėgą Ampère’as užrašė tokiu būdu:

$$dF = \frac{i_1 i_2 dl_1 dl_2}{r^n} \phi(\varepsilon, \theta_1, \theta_2);$$

čia ϕ – nežinoma kampų funkcija, o n – tam tikras atstumo laipsnis. Eks-



11.4 pav. Brėžinys, aiškinantis dviejų srovės elementų sąveiką.

perimentiškai tirdamas srovių sąveiką, A. Ampère'as nustatė, kad $n = 2$, o ϕ išreiškė trigonometrinėmis funkcijomis. Šis dėsnis sudarė Ampère'o elektrodinamikos pagrindą. Ja buvo naudojamosi elektromagnetiniams reiškiniams aprašyti keletą dešimtmečių, kol Maxwell'as sukūrė nuoseklesnę ir išsamesnę teoriją. Turėdamas galvoje Ampère'o atradimų reikšmę elektromagnetizmui, taip pat jo veikalo formos panašumą į pagrindinį Newton'o veikala, Maxwell'as pavadino Ampère'ą „elektros Newton'u“.

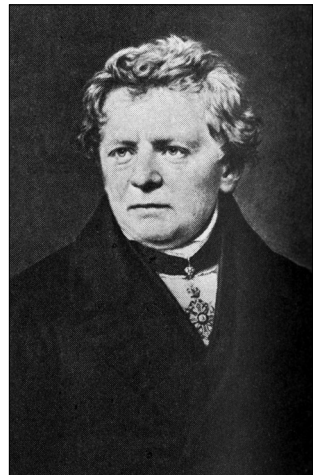
11.3. ELEKTROS SROVĖS DĖSNIAI

Ohm'o dėsnis. Iš pradžių fizikai labiau domėjosi elektros srovės sukeliamaisiais efektais negu pačios srovės tekėjimo ypatybėmis. Tai lėmė ir srovės šaltinių nestabilumas, negrynos laidininkų medžiagos, tikslių prietaisų ir griežtų sąvokų stoka. Pirmasis sistemingai tirti elektros srovę ėmėsi vokiečių fizikas Georg'as Ohm'as (1787–1854).

G. Ohm'o tėvas nebuvo pasiturintis (dirbo šaltkalviu), bet stengėsi suteikti vaikams gerą išsilavinimą. Ohm'as baigė gimnaziją, o po to ir universitetą (tiesa, mokslą jame teko penkeriems metams nutraukti ir imtis darbo). Vėliau Ohm'as dirbo gimnazijos mokytoju. Matyt, paskatintas Oersted'o atradimo, jis užsiėmė elektros srovės tyrimais.

Laidininku tekančią elektros srovę Ohm'as matavo sukamosiomis svarstyklėmis (11.6 pav.). Laidas b būdavo nukreipiamas išilgai dienovidžio, lygiagrečiai magnetinei rodyklei, pakabintai ant tampraus siūlo. Tekant srovei, rodyklė pasisukdavo tam tikru kampu. Po to rankenėle q siūlas būdavo sukamas tol, kol rodyklė grįždavo į pradinę padėtį. Ohm'as padarė prielaidą, kad posūkio kampas yra proporcingas laidu tekančios srovės magnetiniam veikimui, o šis – jos didumui (stipriui). Naudodamasis šiuo prietaisu, jis įrodė, kad visoje grandinėje teka vienodo stiprio elektros srovė.

Vis dėlto pirmieji G. Ohm'o matavimai buvo netikslūs, ir jis nustatė neteisingą dėsnį, kad srovė logaritmiškai priklauso nuo dydžio, apibūdinančio laidininko pasipriešinimą srovei. Žurnalo redaktorius patarė jam pakeisti nestabilių srovės šaltinį tuo metu ką tik išrastu termoelementu (jį 1821 m. sukonstravo T. Seebeck'as, sulitavęs dviejose vietose skirtingų metalų gabalus; vienas kontaktas buvo kaitinamas, o kitas – šaldomas). Sumažinęs matavimo paklaidas, Ohm'as 1826 m. nustatė tokį empirinį dėsnį:



11.5 pav. Georg Ohm.

$$X = \frac{a}{b + x};$$

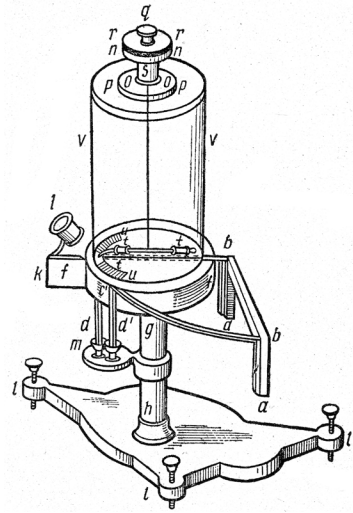
čia X žymėjo srovės magnetinį veikimą (jos stiprį), x – laidininko ilgį, o a ir b buvo empirinės konstantos: pirmoji aprašė srovės šaltinio „sužadinančią jėgą“ (elektrovarą), o b priklausė nuo likusios grandinės dalies bei termoelemento savybių. Taigi Ohm’as dar nevertėjo varžos sąvokos, bet, pakeitus x – laidininko, o b – likusios grandinės dalies varža, gaunamas dėsnis, dabar vadinamas atradėjo vardu.

Deja, G. Ohm’o viltis, kad, atlikus šį darbą, jam bus pasiūlyta profesoriaus vieta universitete, neišsipildė – paskelbti rezultatai nesukėlė fizikų susidomėjimo. Tada Ohm’as ėmėsi teorijos ir parašė veikalą „Galvaninės grandinės matematinis nagrinėjimas“ (1827 m.). Jis rėmėsi idėja, kad elektros srovė yra panaši į šilumos srautą. Pastarąjį nulemia temperatūrų skirtumas, o elektros srovę – potencialų skirtumas, kurį Ohm’as vadino elektroskopinių jėgų skirtumu. Mat tam tikro grandinės taško potencialą jis nustatydavo sujungęs tą tašką su elektroskopu (vienas grandinės taškas būdavo įžeminamas). G. Ohm’as įvedė *varžos* ir *elektros srovės stiprio* sąvokas. Analogiškai J. Fourier gautai šilumos sklidimo lygtčiai, G. Ohm’as užrašė elektros srovės tekėjimo lygtį ir iš jos teoriškai gavo sąryšį tarp laidininko varžos, juo tekančios srovės stiprio ir elektrosstatinių jėgų (potencialų) skirtumo laidininko galuose. Vis dėlto ir teoriniai jo rezultatai susilaukė pripažinimo tik maždaug po dešimtmečio. Tuomet G. Ohm’as tapo ne tik profesoriumi, bet ir aukštosios mokyklos rektoriumi.

Srovės tekėjimo sudėtingose elektrinėse grandinėse bendrus dėsnius 1845 m. suformulavo Karaliaučiaus universiteto studentas G. Kirchhoff’as, tuo metu vos 21 metų amžiaus.

Joule’io dėsnis. Šilumos išsiskyrimas tekant laidu elektros srovei buvo vienas iš pirmųjų pastebėtų srovės sukiamų reiškinių, bet apie keturiasdešimt metų nepavyko nustatyti jį aprašančio dėsnio. Viena iš priežasčių buvo ta, kad fizikai, keisdami laidininko varžą, nemanė kartu keičią ir srovę grandinėje. Nebuvo aiški ir šilumos išsiskyrimo priežastis – ar tai lemia priešpriešiais tekančių dviejų srovių susidūrimas (Oersted’o terminu – konfliktas), ar laidininko pasipriešinimas srovei.

J. Joule’is 1841 m. ėmėsi matuoti srovės sukuriamą šilumą. Jis ap-



11.6 pav. Prietaisas elektros srovės stipriui matuoti, kuriuo naudojantis buvo nustatytas Ohm’o dėsnis.

sukdavo laidu stiklinį vamzdelį ir įdėdavo jį į kalorimetrą. Kruopštūs bandymai leido J. Joule'ui dar tais pačiais metais padaryti išvadą, kad išsiskyręs šilumos kiekis yra proporcingas laidininko varžai. Remdamasis hipoteze, kad šiluma susidaro dėl elektrinio fluido dalelių smūgių į laidininko daleles, Joule'is iškėlė prielaidą, kad šilumos kiekis turėtų būti proporcingas srovės stiprio kvadratui. Anot jo, stiprėjant srovei, laidininku prateka daugiau fluido, be to, didėja srovės greitis, tad fluido dalelių energijos nuostoliai turi augti kvadratiškai. Bandymai patvirtino tokią priklausomybę.

Dar verta paminėti, kad J. Joule'is mėgino sukurti pirmąjį elektros variklį panaudodamas dviejų elektromagnetų sąveiką. Po metų darbo jis priėjo išvadą, kad „cinko ir tirpalų sąnaudos baterijoje yra tokios didelės, palyginti su anglies kaina, kad elektromagnetinis variklis yra praktiškai nepritaikomas, nebent tik esant išskirtinėms sąlygoms“.

Absoliučioji vienetų sistema. XVIII a. pabaigoje Prancūzijoje revoliucijos laikotarpiu buvo įvesta metrinė vienetų sistema, pagrįsta dviejų pagrindinių vienetų – metro ir kilogramo – etalonais. Napoleono karų metu ji paplito ir kitose Europos šalyse. Tačiau fizikai skverbiantis į naujas sritis, buvo įvedami papildomi vienetai, nesusieti su mechaniniais vienetais, ir susidarė vienetų vartojimo painiava. Ji ypač padidėjo fizikams pradėjus įvedinėti vis naujus elektrinius ir magnetinius vienetus. Bendrus metrologijos principus 1832 m. suformulavo vokiečių matematikas Carl'as Friedrich'as Gauss'as (1777–1855). Jis suskirstė vienetus į pagrindinius ir išvestinius, pasiūlė parinkti vienetus taip, kad koeficientai formulėse turėtų paprasčiausią pavidalą, jei įmanoma, taptų lygūs vienetui, ir apibrėžė absoliučiąją vienetų sistemą, kurios pagrindą sudarė trys pagrindiniai mechaniniai vienetai – milimetras, miligramas, sekundė. C. Gauss'as neapsiribojo teoriniais samprotavimais ir kartu su W. Weber'iu pasiūlė konkrečius būdus, kaip toje sistemoje įvesti elektrinius ir magnetinius vienetus.

Vis dėlto suderintus elektrinius ir magnetinius vienetus, bet susietus su kita – CGS (centimetras, gramas, sekundė) sistema, įvedė tik 1881 m. Paryžiuje vykęs pirmasis Tarptautinis elektrikų kongresas.

SANTRAUKA

Po to, kai 1799 m. A. Volta sukūrė pirmąjį nuolatinės elektros srovės šaltinį, prasidėjo spartūs srovės tyrimai. Tais pačiais metais buvo atrastas cheminis srovės veikimas – medžiagų išsiskyrimas iš elektrolito prie elektrodų. Pirmąją elektrolizės teoriją pasiūlė T. Grotus, jis iškėlė idėją, kad atomai gali įgyti elektros krūvį. H. Davy išplėtojo naują chemijos sritį – elektrochemiją.

XIX a. pradžioje imta abejoti W. Gilbert'o teiginiu, kad elektriniai ir magnetiniai reiškiniai yra skirtingos prigimties. Bandymai atrasti ryšį tarp jų iš pradžių nebuvo sėkmingi, nes ieškota paprasto, tradicinio ryšio. Tik 1820 m. H. Oersted'as atsitiktinai aptiko elektros srovės poveikį magnetinei rodyklei. Jis suprato atradimo svarbą ir pranešė apie jį įvairių šalių fizikams. Tai paskatino daugelį mokslininkų imtis elektrinių ir magnetinių reiškinų tyrinėjimo.

1820–1826 m. svarbų darbų ciklą atliko A. Ampère'as. Jis nustatė dviejų tiesių laidininkų, kuriais teka srovė, sąveikos dėsnį, įrodė, kad ritė su srove veikia kaip magnetas, iškėlė hipotezę, kad magneto veikimą lemia jo dalelėse cirkuliuojančios srovės, pasiūlė elektromagnetinių reiškinų fiziką skirstyti į elektrostatiką ir elektrodinamiką. A. Ampère'as iškėlė elektromagneto, elektrotelegrafo, galvanometro idėjas, įvedė įtampos, srovės stiprio, solenoido terminus. Jis nustatė dviejų srovės elementų sąveikos dėsnį ir juo remdamasis išplėtojo elektrodinamikos teoriją.

Elektros srovės tyrimus sunkino tai, kad to meto elektros šaltiniai buvo gana nestabilūs, laidininkų medžiagos – negrynos, matavimo prietaisai – netikslūs. Tik 1826 m. G. Ohm'ui pavyko nustatyti ryšį tarp pagrindinių elektros srovės charakteristikų. Gana ilgai truko ir dėsnio, aprašančio šilumos išsiskyrimą tekant elektros srovei, paieškos; tik kruopštūs J. Joule'io matavimai buvo vainikuoti sėkme.

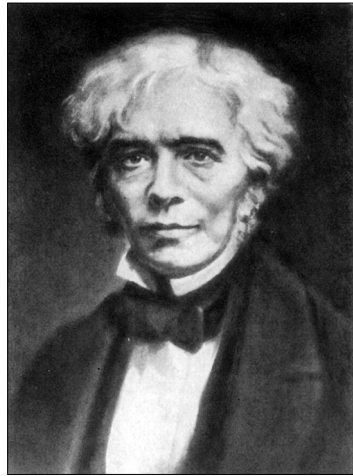
XIX a. pirmoje pusėje gerokai prasiplėtus tiriamų fizikinių reiškinų sričiai, kilo painiava dėl įvairių vartojamų vienetų ir jų tarpusavio ryšio. Čia tvarką pamėgino įvesti C. Gauss'as, kuris suformulavo racionalius vienetų parinkimo principus ir jais remdamasis pasiūlė absoliučiąją vienetų sistemą.

XII. BENDROS ELEKTROMAGNETINIŲ REIŠKINIŲ FIZIKOS SUKŪRIMAS

12.1. M. FARADAY GYVENIMAS IR DARBAI

Trumpa biografija. M. Faraday (1791–1867) – vienas iš žymiausių elektromagnetizmo kūrėjų ir apskritai XIX a. fizikų. Jis iš esmės papildė elektromagnetizmo mokslą, įžvelgė bendrus savitus jo bruožus. Be to, Faraday iškeltos idėjos ir pradėti tyrimai tapo viena iš pagrindinių šiuolaikinės fizikos ištakų.

Michael'is Faraday gimė 1791 m. Londono priemiestyje neturtingo kalvio šeimoje. Gabiam trylikamečiui berniukui, lankiusiam tik sekmadieninę bažnyčios mokyklą, teko imtis darbo. Jis buvo atiduotas mokiniu į knygyną ir knygrišyklą. Iš pradžių M. Faraday išnešiodavo knygas ir žurnalus, vėliau tapo knygrišio padė-
jėju. Nors ir turėdamas mažai laisvo laiko, jis skaitė knygas, lankė viešas



12.1 pav. Michael Faraday.

sekmadienines paskaitas, pats mėgino atlikti kai kuriuos knygose aprašytus chemijos ir fizikos bandymus. Vienas knygrišyklos klientas, atkreipęs dėmesį į smalsų jaunuolį, pakvietė jį į Karališkąjį institutą paklaustyti to meto chemijos garsenybės H. Davy paskaitų. Jų sudomintas, M. Faraday išdrįso parašyti laišką profesoriui apie savo norą užsiimti moksliniais tyrimais, kartu pasiuntė gražiai įrištą išklaustytų paskaitų konspektą. H. Davy atsakė į šį laišką, ir 1812 m. M. Faraday tapo jo pagalbininku, o netrukus ir asistentu. Po ketverių metų jis jau pradėjo savarankiškai vykdyti eksperimentus. M. Faraday pavyko suskystinti chlorą, o vėliau amoniaką, azoto oksidą, anglies dvideginį ir kitas dujas (savo paties išrastu metodu dujas šaldant ir kartu slegiant).

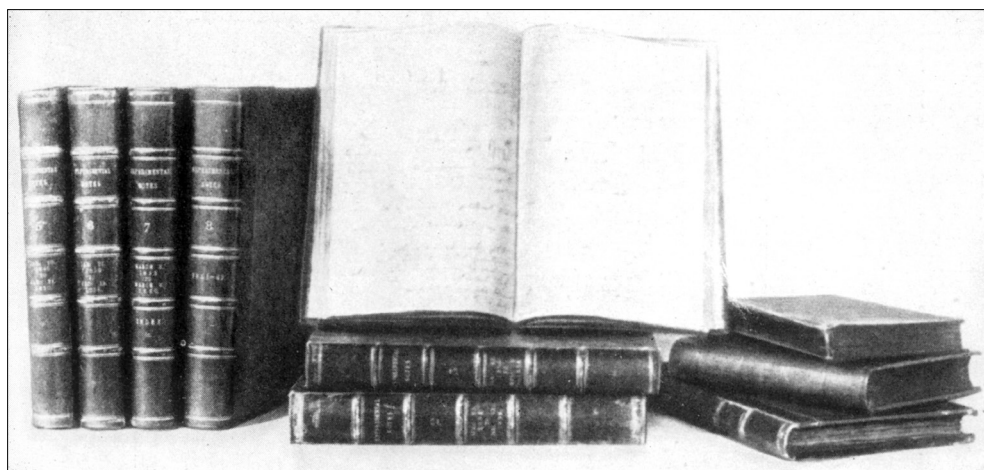
Po H. Oersted'o atradimo M. Faraday pagrindine savo darbų kryptimi pasirinko elektrinių ir magnetinių reiškinių tyrimus. 1824 m. M. Faraday buvo išrinktas Londono karališkosios draugijos nariu; tam priešinosi tuometis draugijos prezidentas H. Davy, kuriam greita jo mokinio karjera kėlė nepasitenkinimą. Vis dėlto vėliau H. Davy pripažino M. Faraday nuopelnus ir netgi sakydavo, kad šis mokslininkas esąs didžiausias jo atradimas. Faraday užėmė

Davy vietą – buvo paskirtas Karališkojo instituto laboratorijos direktoriumi. Šis institutas tapo Faraday gyvenimo centru – čia jis ištisus trisdešimt metų dirbo profesoriumi, čia buvo ir jo butas. Faraday gyveno ramų, nelabai turtingą įvykių, bet intensyvių kūrybinių gyvenimą. Tam sudarė sąlygas ir laiminga santuoka. Faraday garsėjo savo tiksliais, gerai apgalvotais, atskleidžiančiais reiškinio esmę eksperimentais. Antra vertus, savarankiškai lavindamasis, jis neįgijo gilesnių matematikos žinių, tad savo darbuose beveik nenaudojo formulių. M. Faraday labai nuosekliai ir atkakliai vykdė elektrinių ir magnetinių reiškinų eksperimentinius tyrimus. Nuo 1831 m., kai jis atrado elektromagnetinę indukciją, mokslininkas daugiau negu du dešimtmečius žurnale „Philosophical Transactions“ spausdino straipsnių ciklą bendru pavadinimu „Eksperimentiniai elektros tyrimai“. Jį sudarė trisdešimt serijų bandymų, aprašytų daugiau kaip 3000 poskyrių. Tik porą kartų, pervargęs nuo įtempto darbo, Faraday turėjo padaryti ilgesnę pertrauką, bet vėliau tęsė eksperimentus.

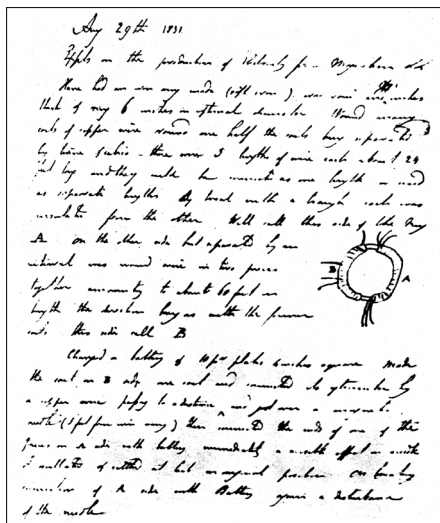
M. Faraday pasižymėjo ir išradėjo gabumais – jis patobulino jūrinio švyturio optinę sistemą, sukonstravo pirmąjį elektros variklį. Be to, jis garsėjo kaip puikus lektorius, mokslo žinių populiarintojas. Vis dėlto Faraday stengėsi riboti bet kokius šalutinius, net ir su mokslu susijusius darbus, idant daugiau laiko ir jėgų galėtų skirti pagrindiniams tyrimams. Faraday pasižymėdavo sau ne atliktus papildomus darbus, bet tuos, kurių jam pavykdavo atsakyti.

Taigi M. Faraday išpūdingus pasiekimus lėmė ne tik didžiulis jo talentas, bet ir nepaprastas darbštumas bei veiklos kryptingumas. Jis mirė sulaukęs 75 metų.

Elektromagnetinė indukcija. Dar 1821 m. M. Faraday iškėlė sau



12.2 pav. M. Faraday mokslinis dienoraštis, kuriame jis aprašydavo atliekamus eksperimentus. Dienoraščio tomai įrišti paties M. Faraday.



12.3 pav. M. Faraday dienoraščio puslapis, kuriame aprašytas elektromagnetinės indukcijos atradimas.

tikslą „paversti magnetizmą elektra“, tačiau tik po dešimtmečio, jau kelintą kartą grįždamas prie šios problemos, jis atrado ieškomą reiškinį. Faraday, kaip ir kitiems mokslininkams, trukdė tikėtina prielaida, kad magnetas ar magnetiniu veikimu pasižyminti elektros srovė turi nuolat sukelti kitą srovę ar keisti ją. O pasirodė, kad tam reikalingas kintantis magnetinis veikimas. Štai kaip Faraday aprašė savo žymiausiąjį bandymą: „Ant plačios medinės ritės buvo užvyniotas varinis 203 pėdų ilgio laidas, o tarp jo vijų užvyniotas kitas tokio pat ilgio laidas, izoliuotas nuo pirmojo medvilniniu siūlu. Viena iš šių spiralių buvo sujungta su galvanometru, o kita – su galinga baterija, susidedančia

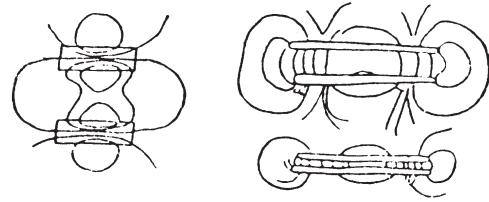
iš 100 elementų. <...> Sujungiant grandinę, pavykdavo stebėti staigų, bet labai silpną galvanometro rodyklės virptelėjimą, tas pats buvo stebima išjungiant srovę. O srovei nuolat tekant viena iš spiralių, nepavyko stebėti nei poveikio galvanometrui, nei apskritai kokio nors indukcinio poveikio kitai spiralei, nors sujungtos su baterija spiralės įšilimas ir kibirkštis, šokančios tarp anglies elektrodų, ryškis liudijo apie baterijos galią.“

Panašų bandymą keleriais metais anksčiau atliko Ženevos fizikas D. Colladon'as. Tačiau galvanometrą srovei matuoti jis padėdavo kitame kambaryje, kad išvengtų kokių nors iškraipymų. Įjungęs srovę grandinėje, Colladon'as eidavo pažiūrėti į galvanometrą ir, aišku, nepastebėjo jokie efekto.

M. Faraday nuodugniai ištyrė atrastą reiškinį. Jis įrodė, kad srovę sukelia ir nuolatinio magneto artinimas prie laido ar tolinimas nuo jo; tai ekvivalentiška elektros srovės įjungimui ar išjungimui. Faraday suformulavo taisyklę indukuotos srovės kryptčiai nustatyti, ją vėliau bendresne ir trumpesne forma užrašė rusų mokslininkas E. Lencas. Po kelerių metų Faraday pastebėjo ir saviindukcijos reiškinį (silpnėjančios ar stiprėjančios srovės poveikį sau pačiai), bet šiek tiek anksčiau už jį šį reiškinį jau buvo atradęs amerikiečių fizikas J. Henry.

1847 m. H. Helmholtz'as paaiškino elektromagnetinės indukcijos reiškinį teoriškai, naudodamasis Ampère'o elektrodinamika ir energijos tvermės dėsniu.

Lauko sąvoka. Darbe apie elektromagnetinę indukciją M. Faraday pirmą kartą paminėjo „magnetines linijas“. Jas apibrėžė kaip magnetines jėgos linijas, kurias išryškina geležies drožlės, o išilgai linijų lieštinių išsidėsto mažos magnetinės rodyklėlės. Linijų tankį jis susiejo su magnetinio veikimo stipriu. Iš pradžių Faraday laikė tas linijas pagalbine sąvoka, leidžiančia vaizdžiai pademonstruoti magneto ar laido su srove veikimą įvairiose vietose aplink juos. Vėliau jis įvedė ir elektrines jėgos linijas aplink elektros krūvį. Tirdamas elektrinius ir magnetinius reiškinius, Faraday palapsniui priėjo išvadą, kad jėgos linijos yra fizikinė realybė: jų visuma sudaro svarbų objektą – lauką. Būtent laukas perduoda elektrinį ir magnetinį veikimą per atstumą.



12.4 pav. M. Faraday piešiniai, vaizduojantys magnetines jėgos linijas.

J. Maxwell'as taip vėliau apibūdino M. Faraday pažiūras, prieštaravusias I. Newton'o šalininkų pažiūroms: „Faraday savo vidiniu regėjimu matė jėgos linijas, nusitęsiančias per visą erdvę ten, kur matematikai matė iš tolo traukiančių jėgų centrus. Faraday išvelgė kažką erdvėje ten, kur jie nematė nieko, išskyrus atstumą. Faraday ieškojo reiškinių esmės nagrinėdamas, kas iš tikrųjų vyksta erdvėje, kiti gi pasitenkino įžiūrėdami šią esmę elektrinio fluido gebėjime veikti per atstumą.“

Aišku, lauko sąvoka, kaip ir kitos abstrakčios fizikos sąvokos, dar turėjo nueiti ilgą evoliucijos kelią. M. Faraday buvo linkęs sieti lauko linijas su kažkokiomis eterio deformacijomis, įtempimais ar virpėjimais. To meto mokslininkai skeptiškai ir net priešiška sutiko lauko idėją, prieštaravusią įprastai pasaulio sampratai. Nepaisant Faraday autoriteto, netgi nenorėta spausdinti 24-osios jo straipsnių serijos, kur laukas buvo įvestas kaip fizikos objektas.

M. Faraday išvelgė netgi elektromagnetinių bangų egzistavimą ir elektromagnetinę šviesos prigimtį, bet manė, kad tai pripažins tik ateities kartos. Dar 1832 m. jis atidavė saugoti Londono karališkajai draugijai užantspauduotą laišką (jis buvo surastas ir atplėštas tik 1938 m.). Jame Faraday rašė: „Aš manau, kad magnetinių linijų sklidimas nuo magneto poliaus yra panašus į sujunginto vandens paviršiaus svyravimus arba oro dalelių svyravimus sklindant garsui, t. y. aš ketinu pritaikyti svyravimų teoriją magnetiniams reiškiniams, kaip yra daroma aprašant garsą, ir tai būtų labiausiai tikėtinas šviesos prigimties paaiškinimas.“ Prie tos idėjos jis grįždavo ir vėliau. 1845 m. Faraday nustatė magnetinio lauko poveikį šviesai – jos po-

liarizacijos plokštumos sukimą (Faraday efektas). O netrukus laiške draugui Faraday iškėlė prielaidą, kad šviesa yra pačių jėgos linijų virpėjimas, tad, jo nuomone, būtų galima apsieiti ir be eterio. Anot A. Einstein'o, lauko sąvoka buvo svarbiausias fizikos atradimas nuo Newton'o, jai išvelgti reikėjo nepaprastos mokslinės vaizduotės.

Įvairių rūšių elektros tapatumas ir elektromagnetiniai reiškiniai medžiagose. XIX a. pirmoje pusėje elektra buvo skirstoma į įprastinę (gaunamą trynimu), atmosferos, Galvani, arba „gyvūnų elektrą“, magnetinę, Volta elektrą bei termoelektą. Įvairiais būdais gaunami skirtingi elektros kiekiai sukeldavo įvairius reiškinius; tai įtvirtino nuomonę, kad egzistuoja kelių rūšių elektra. M. Faraday atliko didelę seriją eksperimentų ir įrodė, kad, keičiant sąlygas, visų rūšių elektra sukelia tuos pačius reiškinius – fiziologinį efektą, magnetinės rodyklės pasukimą, kibirkštis, šilumos išsiskyrimą ir kt. O jei kurio reiškinio stebėti dar nepavyksta, tai vien dėl to, kad neįmanoma sudaryti atitinkamų sąlygų. Tuo remdamasis, Faraday padarė išvadą, kad „visos elektros rūšys, nepriklausomai nuo jų gavimo būdo, turi vienodą prigimtį“.

Norint kokybinius palyginimus patvirtinti kiekybiniais matavimais, reikėjo įvesti elektros kiekio vienetą. Faraday išvelgė, kad tam labiausiai tinka cheminis elektros veikimas ir užsiėmė nuodugniais jo tyrimais. Jis įvedė daugelį pagrindinių elektrolizės terminų, tarp jų pačią *elektrolizę*, taip pat *elektrolitą*, *elektrodą*, *katodą*, *anodą* bei elektrolito elektringųjų dalelių pavadinimus *katijonas*, *anijonas* ir bendrą joms *jono* terminą. Remdamasis bandymais, Faraday priėjo išvadą, kad elektrolito molekulių suskilimą į elektringąsias daleles sukelia ne išorinė priežastis – elektrodų trauka ar stūma, o vidinė priežastis (vėliau R. Clausius savo bendroje elektrolizės teorijoje tai įvardijo kaip savaiminę elektrolito molekulių disociaciją tirpale).

M. Faraday eksperimentiškai nustatė abu pagrindinius elektrolizės dėsnius (1833 m.). Pasak pirmojo iš jų, svarbiausio fizikai, išskaidytas elektrolito kiekis yra proporcingas pratekėjusiam elektros kiekiui. Tai leido Faraday įvesti pirmąjį elektros kiekio (*krūvio* termino jis dar nevartojo) vienetą, kuris išskaido vieną šimtają kubinio colio vandens. Be to, Faraday bandymais patvirtino elektros kiekio (krūvio) tvermės dėsnį.

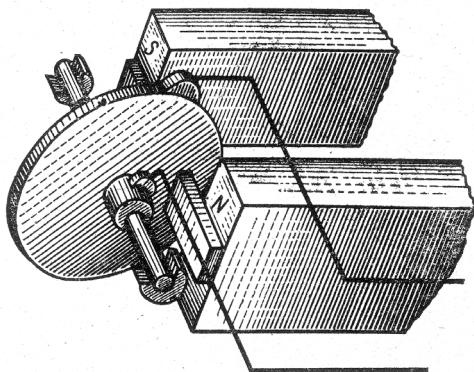
1833 m. viename savo straipsnių M. Faraday pranešė apie neįprastą sidabro sulfato savybę – kaitinant šią medžiagą, jos laidumas ne mažėjo, kaip visų laidininkų, o didėjo. Taip buvo atrasti puslaidininkiai, į kuriuos tuo metu nebuvo atkreipta dėmesio, bet XX a. jie tapo pagrindine medžiaga elektronikos prietaisams kurti.

M. Faraday yra ir elektros išlydžio dujose tyrimų pradininkas. Išsiurbiant orą iš stiklinės kolbos, į kurią buvo įleisti du variniai elektrodai,

prie anodo atsirasdavo purpurinis švytėjimas – rusenantysis išlydis. Didinant elektros įtampą, išlydis plėtėsi, bet vis tiek prie katodo likdavo tamsus tarpas (jis ligi šiol vadinamas Faraday tamsiąja erdve). XIX a. pabaigoje išlydžio dujose tyrimai atvedė prie Röntgen'o spindulių ir elektrono atradimo, apie tai plačiau rašoma dalyje „Šiuolaikinė fizika“.

M. Faraday pirmasis ėmėsi sistemingai nagrinėti elektrinio ir magnetinio lauko poveikį įvairioms medžiagoms. Jis pastebėjo dielektrikų poliarizaciją elektriniame lauke ir apibrėžė dielektrinę skvarbą (ją vadino indukcinė geba). Kabindamas įvairių medžiagų pavyzdėlius ant ilgo siūlo greta stipraus elektromagneto poliaus, Faraday nustatė, kad daugelis neorganinių ir net organinių medžiagų atsistumia nuo poliaus, tai liudijo, kad jos įsimagnetina priešingai veikiančio magnetinio lauko kryptimi. Tokį reiškinį M. Faraday pavadino diamagnetizmu, o medžiagas, kurioms jis būdingas, – diamagnetikais. Vėliau Faraday atrado, kad kitos medžiagos (kaip antai šarminiai ir retųjų žemių metalai) įsimagnetina magnetinio lauko kryptimi; jos gavo paramagnetikų pavadinimą. O nuo seno žinomos medžiagos, pasižyminčios natūraliu magnetizmu, buvo pavadintos feromagnetikais. Taigi M. Faraday įrodė, kad magnetizmas nėra reta, o visoms medžiagoms būdinga savybė. Tuo remdamasis, jis apibendrino Ampère'o idėją apie magnetizmo prigimtį ir padarė išvadą, kad bet kokių medžiagų dalelėse cirkuliuoja uždaros mikrosrovės.

Nuo pirmojo generatoriaus iki elektros amžiaus. Atradęs elektromagnetinę indukciją, M. Faraday sukonstravo ir pirmąjį elektros srovės generatorių. Jį sudarė varinis diskas, besisukantis tarp nuolatinio magneto polių. Diske indukuojama srovė nutekėdavo per du kontaktus, šliaužiančius disko ašimi ir jo kraštu (12.5 pav.). Faraday tikslas buvo pademonstruoti nuolatinio srovės generavimo galimybę, o tolesniais laikymais jis neužsiėmė. Elektros generatorių, kaip ir netrukus S. dal Negro sukonstruotą elektros variklį, kuriame buvo panaudota nejudančio ir judančio magnetų sąveika, tobulino daugelis mokslininkų ir išradėjų. Skirtingai nuo garo mašinų, elektros įrenginius konstruoti buvo įmanoma tik turint specialių žinių, tad šioje srityje fizikos atradimai ir technikos išradimai glaudžiai siejasi tarpusavyje. Iš pradžių magnetoelektriniai generatoriai (taip jie vadinti tais laikais) rado pritaikymą tik galvanoplastikoje



12.5 pav. Faraday diskas - pirmasis elektros srovės generatorius.

bei švyturių šviesos šaltiniams, bet Z. Gramme išradus praktišką generatorių, kuriame nuolatinius magnetus pakeitė elektromagnetai, elektros energiją pradėta plačiai naudoti gamyklose ir transporte. Tuo pačiu metu buvo atkakliai mėginama išrasti elektros lempą – iš pradžių naudojant elektros lanką, o vėliau – įkaitusį laidininką.

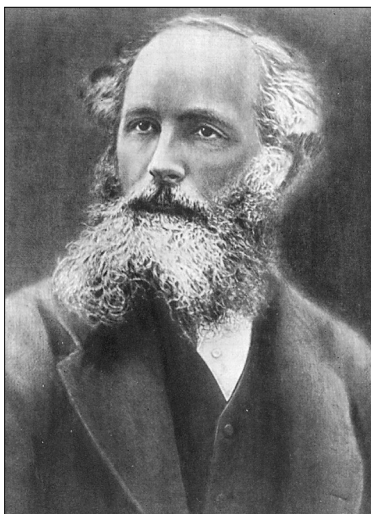
Vis dėlto, kai 1859 m. vienos madingos Paryžiaus kavinės savininkas panoro apšviesti ją elektros šviesa, paaiškėjo, kad elektros įrenginiams reikėtų tokio pat dydžio patalpos kaip pati kavinė, jau nekalbant apie didžiulę įrangos kainą.

Pirmąją praktišką elektros lemputę 1879 m. sukūrė amerikiečių išradėjas T. Edison'as. Tais pačiais metais Berlyno elektros parodoje (tokios parodos pradėtos organizuoti reguliariai) buvo pademonstruotas pirmasis elektrinis tramvajus. Netrukus po telegrafo atsirado ir pirmieji netobuli telefonai – dėl šio išradimo prioriteto vyko aštrūs ginčai ir net teismo procesai.

Naujas elektros energijos panaudojimo galimybes atvėrė kintamoji elektros srovė. Ją buvo galima generuoti stambiose elektrinėse ir tiekti dideliais atstumais aukštosios įtampos linijomis, po to vėl transformuoti į patogesnę žemąją įtampą. 1877 m. Z. Gramme pagamino kintamosios srovės generatorių – dinamo mašiną, o N. Tesla – įvairių rūšių dvifazius ir daugiafazius generatorius. IX a. pabaigoje garo amžius technikoje baigėsi ir prasidėjo elektros amžius.

12.2. MAXWELL'O LYGTYS

M. Faraday bei jo pirmtakų atrasti elektriniai ir magnetiniai reiškiniai buvo aprašyti teoriškai, naudojantis iš mechanikos perimta sąveikos samprata. Tai atliko F. Neumann'as, W. Weber'is, H. Helmholtz'as ir kiti mokslininkai, tad XIX a. septintojo dešimtmečio pradžioje atrodė, kad elektromagnetizmas jau yra iš esmės sukurtas. Toks aprašymas netenkino jauno ambicingo škotų fiziko J. Maxwell'o, kuris išvelgė M. Faraday lauko idėjoje galimybę suteikti elektromagnetinių reiškinių teorijai kitokią – bendresnę ir geriau atspindinčią jos esmę formą.



12.6 pav. James Clerk Maxwell.

James Clerk'as Maxwell'as (1831–1879) gimė Edinburge, Škotijoje, pasiturinčio teisininko šeimoje. Tėvas domėjosi ne tik socialiniais, bet ir gamtos mokslais. J. Max-

well'as gavo gerą išsilavinimą, mokėsi Edinburgo ir Kembridžo universitetuose. Vos baigęs studijas, jis ėmėsi aktyviai spręsti įvairių fizikos sričių – mechanikos, optikos, elektrodinamikos, astrofizikos – aktualias problemas. Maxwell'as įrodė, kad Saturno žiedai turi būti sudaryti iš daugelio smulkių dalelių – tiek stambūs kieti, tiek skysti žiedai būtų nestabilūs. Didžiausio Maxwell'o kūrybinio pakilimo laikotarpis – 1860–1865 m., kai jis, būdamas Londono karališkojo koledžo profesoriumi, atliko fundamentalius darbus iš elektrodinamikos ir kinetinės dujų teorijos.

J. Maxwell'as, nors ir buvo vienas žymiausių XIX a. fizikų teoretikų, taip pat nevengė eksperimentuoti, yra sukonstravęs keletą prietaisų, o 1871 m. tapo eksperimentinės fizikos profesoriumi Kembridžo universitete. Čia jis ėmėsi kurti laboratoriją, pavadintą H. Cavendish'o vardu. Ji tapo vienu iš pagrindinių fizikos mokslo centrų ir suvaidino svarbų vaidmenį atsirandant ir vystantis šiuolaikinei fizikai. Tai laboratorijai J. Maxwell'as vadovavo iki gyvenimo pabaigos.

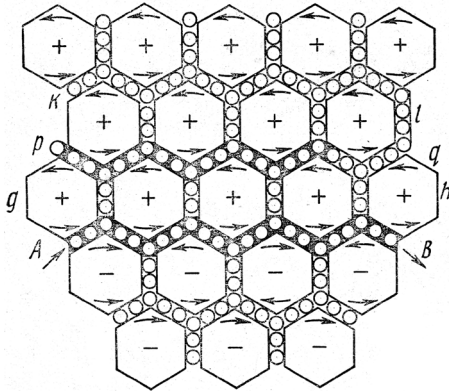
Apie J. Maxwell'o darbus iš kinetinės dujų teorijos rašyta 10.3 poskyryje, čia plačiau panagrinėsime esminį jo indėlį į elektros ir magnetizmo teoriją.

Teorinių darbų akstinu dažniausiai būna nauji eksperimentiniai rezultatai, kurių negali paaiškinti esama teorija. Tačiau J. Maxwell'o pasiryžimą reformuoti elektromagnetizmą paskatino jo susižavėjimas M. Faraday iškelta lauko idėja, kurios daugelis fizikų nepripažino arba laikė tik euristicine priemone. Maxwell'as pasiryžo suteikti Faraday idėjai matematinę formą. Jis labai nuosekliai ir atkakliai siekė užsibrėžto tikslo.

Pirmajame straipsnyje „Apie Faraday jėgos linijas“, kurį parašė iš karto baigęs Kembridžo universitetą, J. Maxwell'as įvedė pagrindinius lauką apibūdinančius dydžius – lauko stiprį, vektorinį potencialą, jėgos linijų tankį, srovės tankį ir kt., kaip funkcijas, priklausančias nuo erdvės koordinatų. Sąryšiams tarp lauko charakteristikų gauti Maxwell'as pasinaudojo skysčio modeliu. Lauką jis nagrinėjo kaip nespūdų, tekantį be inercijos, įsivaizduojamą skystį. Jis išteka iš teigiamųjų elektros krūvių ir įteka į neigiamuosius krūvius (savaiminio judėjimo uždara trajektorija būti negali, nes aplinka priešinasi skysčio tekėjimui). Vientisą skysčio srautą Maxwell'as suskirstė į srovės vamzdelius, atitinkančius jėgos linijas. Panašų modelį jis taikė ir magnetiniam laukui. Pasitelkęs Hamilton'o išplėtotą matematinį aparatą, naudojamą mechanikoje, Maxwell'as gavo diferencialines lygtis, kurios susiejo lauko charakteristikas. Jomis jis aprašė tik nuolatinis elektrinį ir magnetinį laukus, nes skysčio modelis netiko elektromagnetinės indukcijos reiškiniui. Taigi Maxwell'as suteikė Faraday idėjai matematinę pavidalą ir tokiu būdu

įrodė kai kuriuos žinomus dėsnius, bet naujų esminių rezultatų dar negavo.

Antrajame straipsnyje „Apie fizines jėgos linijas“, išspausdintame 1861 m., Maxwell'as įvedė sudėtingesnį mechaninį modelį, aprašantį ne tik nuolatinius, bet ir kintamuosius laukus bei ryšį tarp elektrinių ir magnetinių reiškinių. Anot šio modelio, kiekvienoje erdvės vietoje egzistuoja skysčio sūkuriai (ploni sūkurių vamzdeliai), o juos skiria mažų apvalių dalelių sluoksniai (12.7 pav.). Sūkuriai aprašo magnetinį lauką, o rutuliukai jų tarpuose yra elektringosios dalelės, kurios judėdamos sukuria elektros srovę. Dielektrike šios dalelės gali tik pasislinkti savo pusiausvyros padėčių atžvilgiu, tai atitinka šiame darbe įvestą slinkties srovę. Sūkuriai ir dalelės gali sukelti vieni kitų judėjimą, tai modeliuoja indukcijos reiškinius. Nustatęs atitikmenis tarp modelio charakteristikų ir elektrinio bei magnetinio laukų charakteristikų (pvz., skysčio greitis sūkurio išorėje siejamas su magnetinio lauko stipriu, skysčio tankis – su



12.7 pav. Mechaninis elektromagnetinio lauko modelis, kuriuo naudodamasis J. Maxwell'as išvedė elektromagnetinio lauko lygtis.

magnetine skvarba ir pan.), J. Maxwell'as užrašė lauko lygtis, kurios dar nesudarė bendros sistemos. Vis dėlto iš šio modelio buvo aišku, kad galimos skersinės bangos, kurių greitis yra lygus šviesos greičiui. Suvokęs, kad dviejų didelių greičių lygybė nėra atsitiktinis sutapimas, Maxwell'as padarė atsargią išvadą: „mes vargu ar galime atsakyti prielaidos, kad šviesą sudaro skersiniai svyravimai tos pačios terpės, kuri yra elektrinių ir magnetinių reiškinių priežastis“.

Tuos rezultatus J. Maxwell'as apibendrino 1864–1865 m. Jis jau nebenaudojo konkrečių mechaninių modelių ir lauką siejo su eterio deformacijomis, jame atsirandančia slinkties srove. Maxwell'as išvedė diferencialinių lygčių sistemą, išsamiai aprašančią elektromagnetinius reiškinius. Iš jos griežtai gauta išvada, kad egzistuoja elektromagnetinės bangos; atskira jų rūšimi Maxwell'as laikė šviesos bangas. Jis įrodė, kad elektromagnetinių bangų greitis terpėje priklauso nuo jos dielektrinės ir magnetinės skvarbos. Siedamas lauką su eteriu, J. Maxwell'as pasiūlė eksperimentą eteriui aptikti (jį vėliau atliko A. Michelson'as ir gavo neigiamą rezultatą).

Sukurta elektromagnetinių reiškinių teoriją J. Maxwell'as išdėstė bendra forma dviejų tomų veikalė „Traktatas apie elektrą ir magnetizmą“ (1873 m.).

Taigi J. Maxwell'as, naudodamasis gana dirbtiniais modeliais, bet siekdamas, kad lygtys pereitų į žinomus elektromagnetizmo dėsnius, ir pasikliaudamas savo genialia intuicija, gavo teisingas bendras lauko lygtis. Pateikti matematiniai įrodymai nebuvo be priekaištų, bet vėliau juos sugriežtino ir Maxwell'o lygtims šiuolaikinių pavidalą suteikė H. Hertz'as, O. Heaviside'as ir kiti mokslininkai.

Maxwell'o teorija buvo sutikta gana skeptiškai tiek dėl jos neįpras-tumo, tiek dėl eksperimentinių įrodymų stokos. Tuo metu buvo plėtojamose ir kitos alternatyvios elektromagnetinių reiškinių teorijos, visos jos aiškino žinomus reiškinius, o kai kurias skirtingas išvadas buvo sunku patikrinti eksperimentais. Esminiai argumentai Maxwell'o teorijos naudai buvo gauti tik devintojo dešimtmečio pabaigoje jau po jos kūrėjo mirties.

12.3. ELEKTROMAGNETINIŲ BANGŲ ATRADIMAS

Pripažįstant M. Faraday ir J. Maxwell'o lauko idėjas, lemiamą reikšmę turėjo elektromagnetinių bangų atradimas, kurio autorius – vokiečių fizikas Heinrich'as Hertz'as (1857–1894).

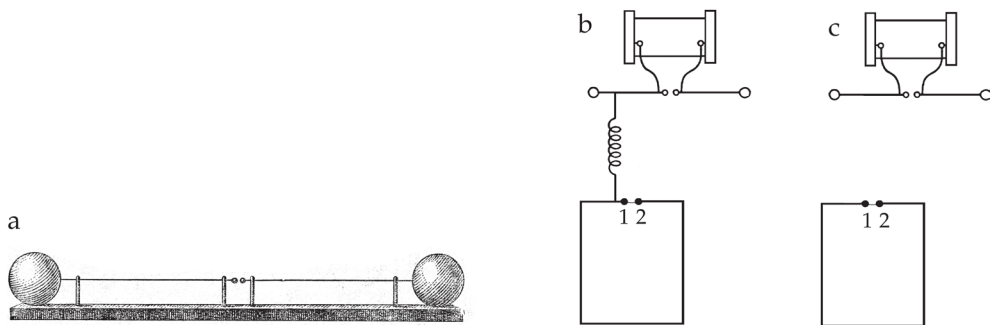
Dar mokydamasis gimnazijoje, H. Hertz'as pasižymėjo išradėjo gabumais. Vis dėlto, metus pastudijavęs technikos mokykloje, jis panorio spręsti bendresnes fizikos problemas. Keletą metų H. Hertz'as dirbo žymaus fiziko H. Helmholtz'o asistentu.

Dar 1847 m. H. Helmholtz'as įrodė, kad Leideno stiklinė išsikrauna per varžą ne tolygiai, o svyravimų būdu. Vėliau tokius svyravimus jis aptiko elektrinėje grandinėje, sudarytoje iš įelektrinto kondensatoriaus ir indukcinės ritės, t. y. sukonstravo virpesių kontūrą. H. Helmholtz'as plėtojo elektromagnetizmo teoriją, kurioje mėgino suderinti senąją elektrodinamiką ir J. Maxwell'o idėjas. Jis siūlė savo asistentui užsiimti įvairių teorijos variantų eksperimentiniu patikrinimu, bet H. Hertz'as priėjo prie išvados, kad tai sunkiai įmanoma neturint aukšto dažnio virpesių šaltinio.

Vėliau H. Hertz'as atidžiai studijavo Maxwell'o teoriją ir ją plėtojo viename savo teoriniame darbe. Pradėjęs dirbti Karlsruhe aukštojoje technikos mokykloje ir radęs ten gerą fizikos laboratoriją, Hertz'as 1886 m. rudenį grįžo prie elektrinių virpesių tyrimo. Jis sukonstravo aukšto dažnio virpesių gene-



12.8 pav. Heinrich Hertz.



12.9 pav. H. Hertz'o vibratorius (a) ir eksperimento schema, kai vibratorius sujungtas su rezonatoriumi (b) ir kai jie nesujungti (c).

ratorių, vadintą Hertz'o vibratoriumi. Jį sudarė du metaliniai strypeliai, ant vieno jų galo buvo užmauti maži rutuliai, ant kito – tuščiaviduriai variniai rutuliai, atliekantys kondensatorių vaidmenį (12.9a pav.). Nutolinus rutulius nedideliu atstumu ir prijungus juos prie kintamosios aukštos įtampos šaltinio, tarp rutuliukų šokdavo kibirkštys, kurios grandinėje sukeldavo elektrinius virpesius. Prijungus prie vibratoriaus laidu antrąjį kontūrą – rezonatorių, turintį tą patį savųjų virpesių dažnį, ir jo tarpelyje imdavo kibirkščiuoti. Atsitiktinai Hertz'as pastebėjo, kad virpesiai rezonatoriuje gali būti sužadinti ir nesant laido – per atstumą (12.9c pav.). 1887 m. H. Hertz'as priėjo išvadą, kad jis aptiko „banginį indukcijos kitimą ore“, t. y. J. Maxwell'o numatytas elektromagnetines bangas.

H. Hertz'as atliko daugelį eksperimentų tirdamas atrastų bangų savybes. Jis stebėjo jų atspindį nuo didelio skardos lapo, lūžimą joms pereinant per nulietą iš dervos lęšį, naudodamasis vielos tinklu aptiko bangų poliarizaciją. Sužadinęs stovinčiąsias bangas ir rezonatoriumi suradęs jų mazgų padėtis, Hertz'as išmatavo bangų ilgį, kuris pasirodė esąs apie 0,7 m (taigi jis stebėjo radijo bangas). Atradėjui pavyko nustatyti ir bangų greitį, jis apytiksliai prilygo šviesos greičiui.

Atlikdamas tuos tyrimus, H. Hertz'as padarė ir kitą svarbų atradimą. Jis pastebėjo, kad elektros kibirkštys tarp metalinių elektrodų yra lengviau sužadinamos juos apšvietus. Naudodamas įvairių metalų elektrodus bei keisdamas šviesos šaltinius, Hertz'as padarė išvadą, jog tai yra bendras reiškinys; jis vėliau buvo pavadintas fotoefektu. O prizme išskyręs tam tikro dažnio šviesą, jis įrodė, jog fotoefektą sukelia trumpesniųjų bangų spinduliai, ypač – ultravioletiniai spinduliai.

Vėliau H. Hertz'as, pasižymėjęs ir eksperimentatoriaus, ir teoretiko talentu, atliko svarbų teorinį darbą apibendrinamas Maxwell'o elektrodinamiką. Hertz'as suteikė Maxwell'o lygtims formą, simetrišką elektrinių ir

magnetinių dydžių atžvilgiu, tai geriau atskleidė jų tarpusavio ryšį.

Porą metų H. Hertz'as paskyrė originaliai mechanikos reformai – jis išplėtojo abstraktų jos variantą nevertodamas jėgos sąvokos. Šis Hertz'o darbas nesulaukė sekėjų ir liko įdomus tik mokslo filosofams bei fizikos istorikams.

H. Hertz'as mirė nuo sunkios ligos būdamas vos 36 metų amžiaus.

Elektromagnetinių bangų atradimas įtikino daugelį fizikų Maxwell'o teorijos teisingumu. Papildomu argumentu jos naudai tapo 1899 m. rusų mokslininko P. Lebedevo aptiktas šviesos slėgio reiškinys, kurį taip pat numatė J. Maxwell'as.

H. Hertz'as buvo skeptiškos nuomonės apie kokį nors praktinį elektromagnetinių bangų taikymą. Vis dėlto greitai buvo sukurti praktiškesni radijo bangų imtuvai bei siųstuvai ir įrodyta galimybė jas registruoti gana dideliu atstumu. 1894 m. O. Lodge'as pagamino radijo bangų indikatorių, naudojančią elektros išlydžio poveikį metalo miltelių varžai. Netrukus O. Popovas sukonstravo tobulesnį detektorių – „audromatį“, skirtą bangoms, generuojamoms žaibo metu, registruoti, ir juo naudodamasis 1896 m. perdavė radiogramą Morse signalais 250 m atstumu. Jaunas italų išradėjas G. Marconi porą metų atkakliai tobulino bevielio ryšio įrenginius ir 1897 m. juos užpatentavo. 1901 m. jis jau perdavė radijo signalus iš Europos į Ameriką. Prasidėjo spartus radiotechnikos tobulinimas ir taikymas.

SANTRAUKA

Nė vienas XIX a. fizikas nepadarė tiek svarbių atradimų elektros ir magnetizmo srityje, kiek M. Faraday. Apie trisdešimt metų jis labai nuosekliai ir sistemingai dirbo šioje srityje, vieną po kitos vykdė nuodugniai apgalvotas eksperimentų serijas. 1831 m. M. Faraday atrado elektromagnetinę indukciją; paaiškėjo, kad elektros srovę sukelia kintamasis magnetinis laukas, o ne nuolatinis, kaip buvo tikėtasi. M. Faraday įvedė magnetines, o paskui ir elektrines jėgos linijas. Iš pradžių jis laikė jas vaizdžiomis pagalbinėmis priemonėmis, tačiau palaipsniui priėjo išvada, kad linijos vaizduoja svarbų fizikos objektą – lauką. Faraday netgi išvelgė sklindančių lauko svyravimų galimybę ir kėlė mintį apie elektromagnetinę šviesos prigimtį.

Kruopščiai palyginęs įvairiais būdais gaunamos elektros savybes, Faraday priėjo išvada, kad ji visada sukelia tuos pačius reiškinius ir turi vienodą prigimtį.

Tirdamas elektrinius ir magnetinius reiškinius įvairiose terpėse, M. Faraday nustatė pagrindinius elektrolizės dėsnius, atrado dielektrikų poliarizaciją elektriniame lauke, diamagnetizmą ir paramagnetizmą, pradėjo

elektros išlydžio dujose tyrimus.

M. Faraday iškelta lauko sąvoka, pradėti dujų suskystinimo, elektros išlydžio tyrimai, atrasti puslaidininkiai turėjo didelės įtakos XX a. fizikos raidai.

J. Maxwell'as, remdamasis M. Faraday lauko idėja, išvedė bendras elektromagnetinio lauko lygtis, kurios vainikavo elektromagnetizmo kūrimą. Maxwell'as naudojami apytikriais modeliais, lauko analogija su skysčiu, vėliau su deformuojamu eteriu, betgi pasikliaudamas savo genialia intuicija gavo teisingą ir pilną lygčių sistemą. Jomis ne tik aprašė žinomus elektromagnetinius reiškinius, bet atskleidė ir naujo reiškinio – elektromagnetinių bangų – egzistavimą. Remdamasis tuo, kad šių bangų sklidimo greitis pasirodė esąs lygus šviesos greičiui ir abejos bangos buvo skersinės, J. Maxwell'as padarė išvadą apie jų giminingumą.

Šia naujoviška teorija, reformuojančia elektromagnetinės sąveikos sampratą, dauguma fizikų patikėjo ne iš karto; buvo plėtojama ir tradicinė bei kompromisinė elektrodinamika. Tikrai H. Hertz'o išsamūs ir įtikinami eksperimentai, įrodantys elektromagnetinių bangų egzistavimą (1887 m.), nulėmė Maxwell'o teorijos pripažinimą. H. Hertz'as ne tik generavo elektromagnetines (radijo) bangas, bet ir stebėjo jų atspindį, lūžimą, interferenciją bei poliarizaciją, išmatavo bangų greitį, iš tikrųjų lygų šviesos greičiui. Be to, atlikdamas šią eksperimentų seriją, Hertz'as aptiko fotoefekto reiškinį.

Netrukus, pačioje XIX a. pabaigoje, radijo bangos buvo pritaikytos tolimam bevieliam ryšiui.

ŠIUOLAIKINĖ FIZIKA

XIII. ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS PRADŽIA

Kaip jau rašyta praeitame skyriuje, XIX a. pabaigoje optika, elektromagnetizmas ir termodinamika savo griežtumu ir užbaigtumu pasiekė panašų lygį kaip mechanika XVIII a. Atrodė, kad didžiųjų fizikos atradimų laikotarpis artėja prie pabaigos, kad daugelis svarbiausių dėsnių yra nustatyti ir XX a. fizikams daugiausia teks spręsti modelių ir eksperimentų tikslinimo bei skaičiavimo problemas.

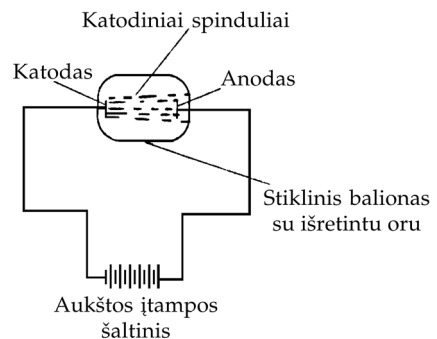
Tiesa, liko neišspręstos atomų sandaros, eterio egzistavimo esminės problemos, bet nesant galimybių tai ištirti tiesioginiais eksperimentais, daugelis fizikų šiuos klausimus priskyrė metafizikai, t. y. filosofijai.

Atradimai, atskleidę ištiesą naują mikrofizikos sritį, buvo padaryti 1895–1897 m., jie paprastai ir laikomi šiuolaikinės fizika pradžia.

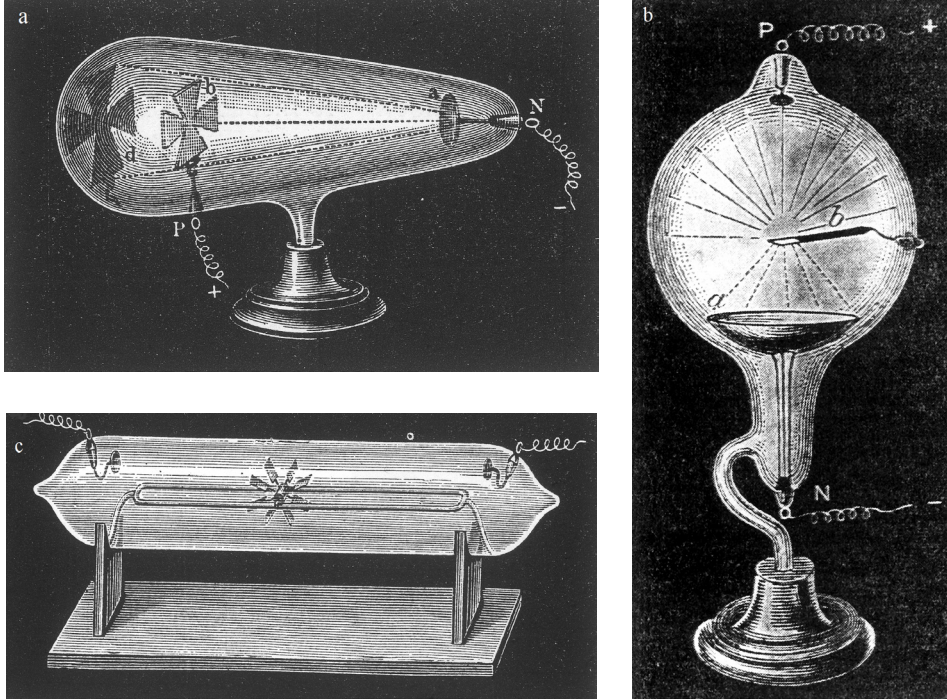
13.1. KATODINIŲ SPINDULIŲ TYRIMAI IR RÖNTGEN’O SPINDULIŲ ATRADIMAS

XIX a. antroje pusėje M. Faraday pradėti elektros išlydžio išretintose dujose tyrimai, sukonstravus vakuuminį siurblių ir aukštos įtampos šaltinį – Rumkorff’o ritę, tapo viena iš perspektyvių fizikos krypčių. J. Plücker’is ir jo mokinys W. Hittorf’as pastebėjo, kad, retinant orą katodiniame vamzdyje, už anodo ant stiklo susidaro jo šešelis, apsuptas švytinčios aureolės. Tai buvo aiškinama iš vamzdelio katodo išlekiančių spindulių poveikiu stiklui; jie buvo pavadinti katodiniiais spinduliais.

Šių spindulių savybes nuosekliai tyrinėjo anglų mokslininkas William’as Crookes (1832–1919). Jis turėjo nuosavą fizikos ir chemijos laboratoriją ir laikė save laisvuju tyrinėtoju. Pastatęs katodinių spindulių kelyje Maltos kryžiaus pavidalo ekraną, Crookes stebėjo tos pačios formos šešėlį (13.2a pav.). Tai liudijo, kad spinduliai sklinda tiesiomis linijomis.



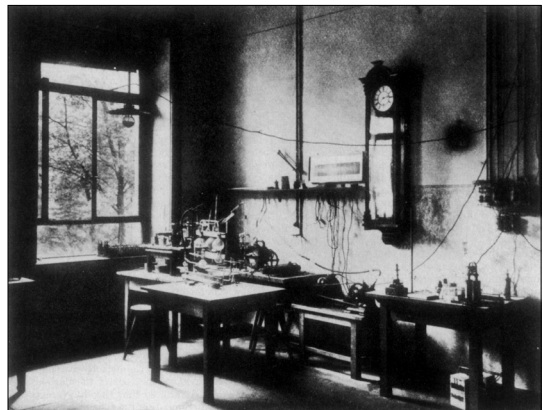
13.1 pav. Katodinių spindulių susidarymas.



13.2 pav. Crookes'o vamzdeliai katodinių spindulių savybėms tyrinėti.

Naudojantis įgaubtu katodu, spinduliai buvo koncentruojami jo židinyje, ten esanti metalinė vielėle įkaisdavo ligi raudonumo (13.2b pav.). Katodiniai spinduliai turi ne tik energijos, bet ir tam tikrą judėjimo kiekį, – tai W. Crookes įrodė pastatęs spindulių kelyje lengvą malūnėlį – šis pradėdavo sukis (13.2c pav.).

W. Crookes ir kiti mokslininkai nukreipdavo katodinius spindulius magnetiniu lauku. Tačiau jei katodiniai spinduliai – elektringosios dalelės, juos turėtų veikti ir elektrinis laukas; deja, to stebėti nepavyko (nepakankamai išretinus orą vamzdelyje, katodiniai spinduliai sukuria gana daug jonų, kurie ekranuoja elektrinį lauką). Antra vertus, H. Hertz'as įrodė, kad spinduliai pereina per ploną metalo foliją, o P. Lenard'ui pavyko tokiu būdu nukreipti katodinius spindulius iš vamzdelio į



13.3 pav. Laboratorija Viurcburgo universitete, kur buvo atrasti Röntgen'o spinduliai.

išorę. Kilo abejonių, kaip galėtų dalelės prasiskverbti per kietojo kūno atomus. Tad H. Hertz'as siūlė hipotezę, kad tai yra trumpos išilginės bangos. Katodinių spindulių prigimtis tuokart liko neatskleista, bet juos tyrinėjant 1895 m. buvo atrasti nauji – Röntgen'o spinduliai.

Wilhelm'as Conrad'as Röntgen'as (1845–1923) tuo metu buvo penkiasdešimtmetis Viurcburgo universiteto profesorius, gerai žinomas fizikams savo kruopščiais ir patikimais kristalų, skysčių, elektromagnetinių reiškinių tyrimais (jis įrodė, kad elektriniame lauke judantis dielektrikas, turintis atskirtus, bet nelaisvus krūvius, taip pat sukuria magnetinį lauką). Atlikdamas bandymus su katodiniais spinduliais, Röntgen'as pastebėjo atokiai pastatyto fluorescencinio ekrano švytėjimą. Kadangi



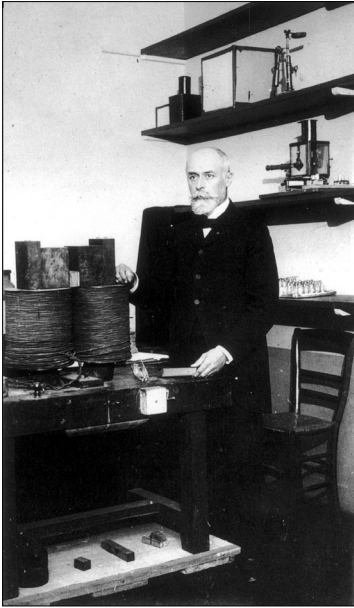
13.4 pav. Nuotrauka, paskelbta straipsnyje apie W. Röntgen'o atrastus spindulius (jo žmonos ranka su žiedu).

katodinius spindulius sugeria net nedidelis oro sluoksnis, Röntgen'as suprato aptikęs naujus spindulius. Per porą įtempto darbo mėnesių jis nuodugnai ištyrė jų savybes: įrodė, kad juos skleidžia vamzdelio stiklas, veikiamas katodinių spindulių, stebėjo nepaprastą jų skvarbumą (nustatė, kad jie lengvai pereina per knygą ar net per lentą), aptiko poveikį fotografinei plokštelei ir tuo naudodamasis padarė pirmąsias nuotraukas. Atradėjas užregistravo spindulių difuzinę sklaidą, bet jam nepavyko stebėti jų interferencijos ar difrakcijos, nukreipti magnetiniu lauku, taigi spindulių prigimtis liko neaiški. Vėliau jis sukonstravo specialų vamzdelį, generuojantį naujuosius spindulius.

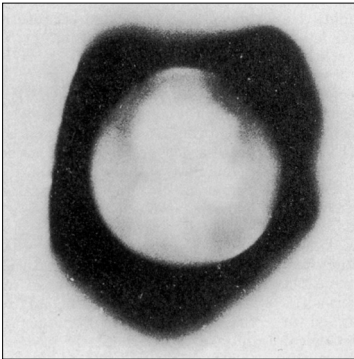
Röntgen'o atradimas sukėlė didžiulę sensaciją – vien 1896 m. apie juos buvo išspausdinta penkiasdešimt knygų ir per tūkstantį mokslinių straipsnių. Naujieji spinduliai buvo tuoj pat pritaikyti medicinoje. O švedų išradėjui ir pramonininkui A. Nobel'ui palikus savo didžiulį turtą tarptautinėms premijoms teikti, 1901 m. W. Röntgen'ui buvo paskirta pirmoji Nobel'io fizikos premija.

13.2. RADIOAKTYVUMAS

Katodiniai spinduliai, veikdami stiklą, sukelia jo švytėjimą ir kartu – Röntgen'o spindulius. Tad galbūt fluorescuojančiosios medžiagos, kurios



13.5 pav. Henri Becquerel.



13.6 pav. H. Becquerel'io gauta monetos nuotrauka. Moneta buvo uždėta ant įvyniotos į tamsų popierių fotografinės plokštelės ir pabarstyta urano druska.

reiškinį savo disertacijos tema pasirinko Marie Skłodowska-Curie (1867–1934).

M. Skłodowska gimė Varšuvoje, fizikos mokytojo šeimoje, pasižymėjo stebėtina atmintimi ir išskirtiniais gabumais. Gimnaziją ji baigė aukso medaliu, bet tais laikais moterys į Varšuvos universitetą dar nebuvo priimanamos. Tad Marie dirbo guvernante turtingose šeimose ir padėjo vyresniajai seseriai studijuojančiai mediciną Paryžiaus universitete; o kai sesuo

švyti, veikiamos ultravioletinių spindulių, irgi skleidžia Röntgen'o spindulius? Šią H. Poincaré hipotezę ėmėsi tikrinti prancūzų fizikas Henri Becquerel'is (1852–1908). Jis buvo žinomas fluorescencijos specialistas, tęšęs savo tėvo ir senelio vykdytus tos fizikos srities tyrinėjimus.

Išbandęs įvairias fluorescuojančiąsias medžiagas, Becquerel'is gavo neigiamą rezultatą. Laimė, jo laboratorijoje buvo gana retos fluorescuojančiosios medžiagos – urano druskos. Ji iš tikrųjų veikė fotografinę plokštelę, įvyniotą į tamsų popierių, tačiau ne tik apšvietus druską saulės spinduliais, bet ir tamsoje. Becquerel'is nustatė, kad šia savybe pasižymi ir kiti urano junginiai, o labiausiai – grynas metalinis uranas. Vadinas, tai turėjo būti urano elemento savybė.

Radioaktyvumas galėjo būti atrastas ir keturiasdešimčia metų anksčiau. Prancūzų chemikas N. de Saint-Victor'as buvo pastebėjęs urano druskos poveikį fotografinei plokštelei, net rašė apie tai savo straipsniuose, bet tas keistas faktas tada liko nepaaiškintas.

H. Becquerel'is sugalvojo dar vieną būdą urano spinduliams aptikti – jų veikiamas išsielektrindavo elektroskopas (dėl padidėjusio oro laidumo). Jis manė, kad šie spinduliai – tai ilgai trunkanti nematoma urano fosforescencija. Kitaip nei Röntgen'o spinduliai, urano spinduliai iš pradžių nesukėlė didesnio netgi fizikų susidomėjimo – pusantrų metų juos tyrinėjo vien tik H. Becquerel'is. 1897 m. pabaigoje ši

baigė mokslus, jos remiama Marie pati įstojo į tą universitetą. Čia ji gavo du licenciato diplomus – iš fizikos ir matematikos. Baigusi universitetą, M. Skłodowska netrukus ištekėjo už prancūzų fiziko Pierre'o Curie (1859–1906) ir liko dirbti Paryžiuje. P. Curie buvo paskelbęs keletą reikšmingų darbų apie medžiagų magnetinių savybių priklausomybę nuo temperatūros, tačiau jo žmona ėmėsi kitos jį sudominusios problemos.



13.7 pav. Marie ir Pierre Curie.

M. Curie urano spinduliams tirti pritaikė kiekybinį metodą – ji registravo srovę, kuri teka per kondensatorių tiems spinduliams jonizuojant orą. M. Curie nustatė, kad joks fizinis ar cheminis poveikis (kaitinimas, slėgimas, urano junginiais su kitomis medžiagomis) nekeičia urano spinduliuotės. Atrodė neįtikėtina, kad tokia neįprasta savybe pasižymėtų vienintelis elementas, tad M. Curie išbandė visus kitus žinomus cheminius elementus. Paaikškėjo, kad panašius spindulius skleidžia dar vienas sunkusis elementas – toris. M. Curie pasiūlė šį reiškinį vadinti radioaktyvumu (lot. *radio* – spinduliuoju).

Po to M. Curie ėmė ieškoti radioaktyviųjų mineralų bei rūdų ir nustatė, kad kai kurios urano rūdos, tarp jų uraninitas, spinduliuoja stipriau negu pats uranas. Buvo tikėtina, kad šioje rūdoje slypi dar nežinomas radioaktyvusis cheminis elementas.

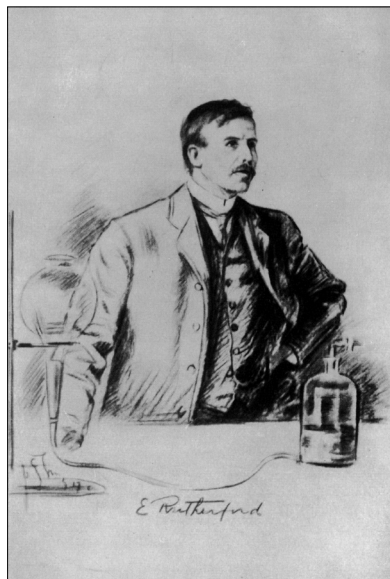
Sudomintas šios hipotezės, P. Curie atidėjo savuosius eksperimentus su kristalais ir prisijungė prie žmonos atliekamų tyrimų. 1898 m. jie uraninite aptiko du naujus radioaktyviusius elementus – polonį ir radį. Ypač aktyvus pasirodė esąs radis. M. ir P. Curie užsibrėžė tikslą išskirti nedidelį kiekį šio elemento ir panaudoti jį radioaktyvumo tyrimams. Deja, uraninitas buvo gana brangus (anais laikais uranas naudotas spalvotų stiklų gamyboje), tačiau paaikškėjo, kad ieškoma radioaktyvioji medžiaga išlieka šio mineralo atliekose, kurių nemažas kiekis buvo padovanota mokslininkams.

Per porą metų atkaklaus, varginančio darbo be pagalbininkų, apleistame, nevėdinamame barake M. ir P. Curie, perdirbę keletą tonų rūdos, išskyrė apie vieną decigramą radžio druskos. Savo aktyvumu radis apie milijoną kartų pranoko uraną, naujojo elemento koncentratas netgi švytėjo tamsoje. Hipotezė, kad radioaktyviosios medžiagos sugeria energiją iš aplinkos ir ją

transformuoja į spinduliuotę, neišlaikė kritikos. Teko pripažinti, kad kažkokie galingi procesai, išskiriantys daug daugiau energijos negu cheminės reakcijos, vyksta atomų viduje. Radioaktyvumo tyrimo pradininkai suvokė naujo energijos šaltinio galimybes ir pavojus. P. Curie savo Nobel'io paskaitoje (Nobel'io fizikos premija buvo suteikta M. ir P. Curie kartu su H. Becquerel'iu 1903 m. už radioaktyvumo tyrimus) teigė: „Nusikaltėlio rankose radis gali tapti gana pavojingas, tad kyla klausimas, ar laimi žmonija, atskleisdama gamtos paslaptis, ar ji yra pakankamai subrendusi, kad naudotųsi jomis, ar tas žinojimas neatneš žalos? <...> Aš linkęs pritarti Nobel'ui, kad nauji atradimai atneš žmonijai daugiau naudos negu žalos.“

Deja, po poros metų P. Curie tragiškai žuvo eidamas per gatvę. Jo žmona sulaukė ir antrosios Nobel'io premijos (ji teikiama tik gyviems mokslininkams), šįsyk chemijos premijos – už radžio ir polonio atradimą, radžio metalo išskyrimą ir eksperimentus su juo. Tokiais svarbiais laimėjimais M. Curie pirmoji nutraukė vyrų hegemoniją fizikos moksle. Ji tapo profesore, Radžio instituto direktore, daugelio mokslų akademijų ir draugijų nare. Deja, ilgas darbas su radioaktyviosiomis medžiagomis sukėlė jai sunkią, nepagydomą ligą.

1898 m. radioaktyvumo tyrimais Cavendish'o laboratorijoje užsiėmė Ernest'as Rutherford'as (1871–1937). Jis buvo kilęs iš Naujosios Zelandijos, ten baigė universitetą ir, gavęs stipendiją stažuotei viename Anglijos universitetų, 1895 m. atvyko pas žymų anglų fiziką J. Thomson'ą (apie jį, kaip elektrono atradėją, rašoma kitame poskyryje).



13.8 pav. Ernest Rutherford.

1899 m. E. Rutherford'as pastebėjo, kad „urano spinduliuotė nėra vienalytė ir susideda bent iš dviejų skirtingų rūšių: vienos, labai greitai sugeriamos, ją patogiu pavadinti α spinduliais, ir kitos, skvarbesnės, kurią vadiname β spinduliais“. Panašią išvadą nepriklausomai padarė ir H. Becquerel'is – jis nustatė, kad urano skleidžiami spinduliai magnetiniame lauke išsiskiria į dvi priešingas puses; 1900 m. buvo atrasti dar γ spinduliai, kurių magnetinis laukas neveikia. H. Becquerel'is identifikavo β spindulius kaip elektronus, o Rutherford'as α spindulius kaip helio branduolius, γ spinduliai pasirodė esančios labai trumpos elektromagnetinės bangos.

E. Rutherford'ui pirmajam pavyko

nustatyti, kad be medžiagų, pasižyminčių ilgaamžiu radioaktyvumu, gali susidaryti ir trumpaamžės radioaktyviosios medžiagos. Pirmąją tokią medžiagą – radioaktyviasias dujas – jis aptiko torio aplinkoje ir pavadino ją torio emanacija. Skirtingai nuo urano ir torio, kurių aktyvumas laikui bėgant bemaž nesikeičė, torio emanacijos aktyvumas sumažėdavo perpus kas 11,5 valandos. Tai atitiko eksponentinį aktyvumo mažėjimo dėsnį esant pusėjimo trukmei, lygiai 11,5 valandos. Vėliau paaiškėjo, kad U ir Th pusėjimo trukmės yra labai didelės.

Nuo 1901 m. E. Rutherford'as ėmė bendradarbiauti su jaunu chemiku Frederick'u Soddy. Jis įrodė, kad torio emanacija savo cheminėmis savybėmis atitinka inertines dujas argoną. Netrukus jie abu torio aplinkoje aptiko dar vieną greit suyrančią radioaktyvųjį elementą torį X, turintį torio savybes, bet keletą tūkstančių kartų aktyvesnį. Jie padarė išvadą, jog „radioaktyvumas – tai atominis reiškinys, kurį lydi cheminiai pokyčiai, sukuriantys naujas medžiagos rūšis“. Po poros metų Rutherford'as ir Soddy nustatė torio, radžio bei urano skilimo produktų grandinėles, į jas įėjo nemažai naujų radioaktyviųjų medžiagų, kurioms nebuvo įmanoma rasti vietos periodinėje elementų sistemoje. Remdamasis tais rezultatais, Soddy vėliau suformulavo *izotopo* – elemento atmainos, turinčios tą patį atominį numerį ir vienodas chemines savybes, sąvoką.

E. Rutherford'as ir jo mokiniai įrodė, kad eksponentinis skilimo dėsnis galioja įvairioms radioaktyviosioms medžiagoms, nors pusėjimo trukmė labai skiriasi. Antra vertus, ji nepriklauso nuo to, kada susidarė radioaktyvioji medžiaga – prieš keletą sekundžių ar prieš daugelį metų. Tai reiškė, kad radioaktyvumas nėra susijęs su atomų senėjimu, egzistuoja tam tikra atomo suirimo tikimybė, nepriklausanti nuo jo amžiaus. Fizikai susidūrė su pirmuoju tikimybiniu dėsniu, kuris galioja ne daugelio dalelių sistemai, o atskirai dalelei.

Tolesnė atomo branduolio tyrinėjimo istorija, taip pat vėlesni E. Rutherford'o darbai aprašyti 15.1 ir 16.1 poskyriuose.

13.3. ELEKTRONAS IR ELEKTRONINĖ TEORIJA

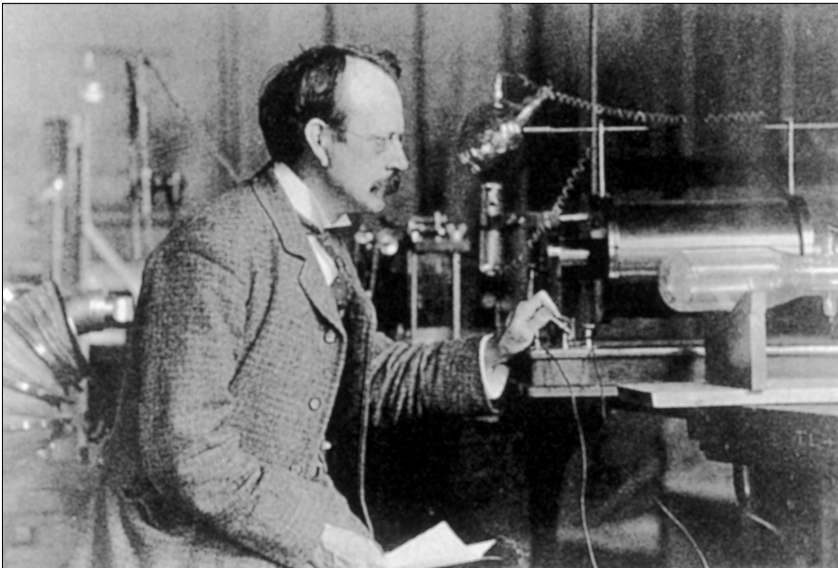
Pirma elementarioji dalelė. Tais pačiais 1895 m., kai buvo atrasti Röntgen'o spinduliai, prancūzų fizikas J. Perrin'as įrodė, kad katodinius spindulius sudaro dalelės, turinčios neigiamąjį elektros krūvį. Vamzdelyje priešais katodą jis įtaisė tuščiavidurį metalinį cilindrą ir, sujungęs jį su elektroskopu, nustatė, kad spinduliai cilindrą įelektrina neigiamai. Perrin'ui pavyko pakreipti katodinius spindulius ir elektriniu lauku.

Netrukus lemiamą žingsnį atskleidžiant katodinių spindulių prigimtį padarė anglų fizikas Joseph'as John'as Thomson'as (1856–1940).

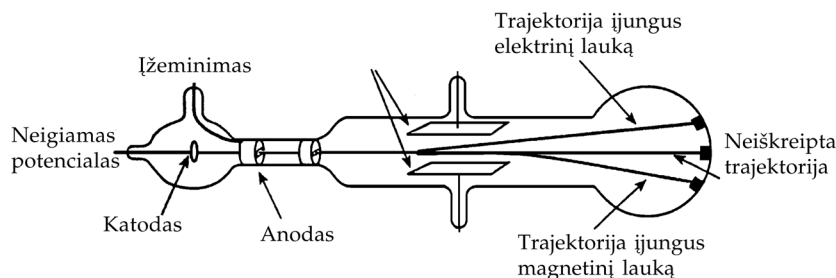
Vienas iš energijos tvermės dėsnio atradėjų J. Joule'is, gyvenęs Mančesteryje, dažnai užsukdavo į knygų antikvariatą, nuo seno priklausantį Thomson'ų šeimai. Jis atkreipė dėmesį į gabų berniuką ir paskatino jį domėtis fizika. Pasirodo, Joule'is buvo išvalgus – J. Thomson'as tapo jauniausiu Kembridžo universiteto profesoriumi. O netrukus garsiosios Cavendish'o laboratorijos direktorius J. Rayleigh'us jį pasirinko savo įpėdiniu. Thomson'as tapo pripažintu fizikos autoritetu: jis atrado elektroną, pasiūlė pirmąjį atomo modelį, buvo vienas iš metalų elektroninės teorijos kūrėjų. Gausus būrys jo mokinių ir kiti fizikai Thomson'ą trumpai vadindavo Džei Džei – jo vardų pirmosiomis raidėmis.

1897 m. Thomson'as atliko eksperimentų seriją, mėgindamas nustatyti katodinių spindulių dalelės (jo vadintos korpuskule) svarbiausias charakteristikas. Veikdamas katodinius spindulius magnetiniu lauku, jis išmatavo jų trajektorijos kreivumo spindulį, po to sukūrė tokį elektrinį lauką, kad jis kompensuotų magnetinio lauko poveikį ir katodiniai spinduliai judėtų tiesia linija (13.10 pav.). Žinodamas abiejų laukų stiprius ir minėtą kreivumo spindulį, Thomson'as surado korpuskulės krūvio ir masės santykį e/m . Tą dydį jis nustatė ir kitu būdu – apskaičiavęs katodinių spindulių kinetinę energiją pagal jais apšaudomo cilindro išilimą, o paskui išmatavęs spindulių nuokrypį magnetiniame lauke. Abu metodai davė panašų rezultatą, apytiksliai lygų:

$$\frac{e}{m} = 2 \cdot 10^{-13} C/kg.$$



13.9 pav. J. Thomson'as, demonstruojantis studentams bandymus su katodinais spinduliais (elektronais).



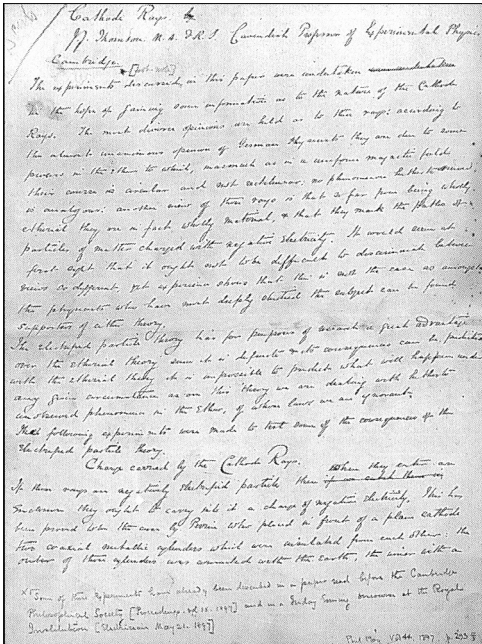
13.10 pav. J. Thomson'o eksperimento katodinių spindulių prigimčiai nustatyti schema.

Santykis nepriklausė nuo katodo medžiagos ir vamzdelyje esančių dujų, tad korpuskulės negalėjo būti elektringieji atomai – jonai. Be to, vandenilio jonui tas santykis buvo maždaug 2000 kartų mažesnis (10^{-16} C/kg). Thomson'as nagrinėjo tris hipotezes. Pirmoji: korpuskulės krūvis lygus jono krūviui, tuomet korpuskulės masė apie 2000 kartų mažesnė negu vandenilio atomo masė. Antroji: abiejų dalelių masės lygios, tokiu atveju korpuskulės krūvis 2000 kartų didesnis negu vandenilio jono krūvis. Trečioji: nei krūviai, nei masės nėra lygūs. Remdamasis tik kai kuriais netiesioginiais argumentais, Thomson'as pasirinko pirmąją, labai neįprastą hipotezę, kad katodinius spindulius sudaro dalelės, daug lengvesnės negu paprasčiausias vandenilio atomas. Jis spėjo, kad tai yra elementarieji elektros krūviai, kurie įeina į visų atomų sudėtį, bet gali egzistuoti ir atskirai nuo atomų. Netrukus Thomson'as išmatavo e/m santykį dalelėms, išlekiančioms dėl fotoefekto iš metalų apšvietus juos ultravioletiniais spinduliais, taip pat iš įkaitintų metalų, ir gavo panašų santykį, kaip ir katodiniams spinduliams. O H. Becquerel'is 1900 m. įrodė, kad radioaktyviųjų medžiagų skleidžiami β spinduliai irgi yra tokios pačios dalelės. Tai patvirtino Thomson'o išvadą, kad atrasta elementaresnė nei atomas dalelė, įeinanti į jo sudėtį.

Vis dėlto pirmajai elementariajai dalelei jo duotas korpuskulės vardas neprigijo. Ją imta vadinti elektronu; šį pavadinimą anglas G. Stoney buvo suteikęs vandenilio jono krūviui (pats Thomson'as laikėsi savojo varianto).

Kaip ir daugelio kitų „pribrendusių“ atradimų atvejais, J. Thomson'as turėjo ir pirmtakų, ir konkurentų. Dar prieš dešimtmetį A. Schuster'is, stebėdamas katodinių spindulių nukrypimą magnetiniame lauke ir darydamas eksperimentais nepatvirtintą prielaidą apie jų energiją, buvo apytiksliai įvertinęs santykį e/m . O netrukus po J. Thomson'o atradimo panašius rezultatus paskelbė nepriklausomai gavę W. Kaufmann'as ir E. Wiechert'as.

J. Thomson'ui pavyko nustatyti ir elektrono krūvio vertę. Tai padaryti padėjo jo mokinio C. Wilson'o pastebėtas reiškinys. Staigiai atšaldant švarų, be dulkių, vandens garų prisotintą orą, galima gauti persotintuosius



13.11 pav. J. Thomson'o straipsnio apie elektrono atradimą rankraščio pirmasis puslapis.

garus. Jeigu juose atsiranda jonų, jie tampa kondensacijos centrais ir susidaro maži lašeliai. Tuo naudodamasis, Wilson'as vėliau sukonstravo jo vardu vadinamą kamerą elementariosioms dalelėms registruoti (elementarioji dalelė savo kelyje sukuria jonus, kurie tampa garų kondensacijos centrais, ir taip atsiranda iš lašelių sudarytas, matomas dalelės pėdsakas).

J. Thomson'as pritaikė C. Wilson'o metodą tokiu būdu. Aplink joną susidaręs mažytis lašelis iš lėto kristavo žemyn. Įjungus tam tikro stiprio priešinga kryptimi veikiančią elektrinį lauką, lašeliai būdavo „pakabinami“ ore. Sunkio ir elektrinės jėgų lygybė leidžia nustatyti jono krūvį, o tarus, kad mažiausias jono krūvis yra lygus elektrono krūviui, gauti ir jo vertę.

Klasikinis atomo modelis ir atomų egzistavimo įrodymas. Žinodamas vieną sudėtinę atomo dalį, J. Thomson'as 1903 m. pasiūlė paprastą klasikinį atomo modelį: atomą sudaro teigiamojo krūvio debesėlis, kuriam „plūduriuoja“ neigiamojo krūvio elektronai. Manydamas, kad kiekvienas elektronas spinduliuoja vieno tam tikro dažnio šviesą ir atsižvelgdamas į kai kurių elementų spektrų sudėtingumą, Thomson'as spėjo atomo viduje esant gana daug elektronų, gal net apie tūkstantį. O cheminių elementų savybių periodiškumą jis mėgino aiškinti elektronų išsidėstymu tam tikrais žiedais.

Netrukus, nagrinėjant Brown'o judėjimą – netvarkingą mažų dulkielių judėjimą skystyje, pastebėtą dar 1827 m. škotų biologo R. Brown'o, buvo akivaizdžiai įrodytas molekulių – iš atomų sudarytų dalelių – egzistavimas. Šio judėjimo teoriją, remdamasis molekulių šiluminiu judėjimu, 1905 m. išplėtojo A. Einstein'as (apie jį ir jo atradimus plačiau rašoma 14 skyriuje.) Jis susiejo vidutinį dalelės kelią su molekulių skaičiumi molyje, temperatūra bei dalelių ir skysčio charakteristikomis, taip pat pasiūlė naują būdą molekulių dydžiui nustatyti. Tuo pačiu metu panašius rezultatus gavo ir M. Smoluchowski, bet jis savo rezultatus paskelbė vėliau. O 1908 m. J. Perrin'as atliko kruopščius eksperimentinius Brown'o judėjimo tyrimus ir nustatė Avogadro konstantos vertę, kuri gerai sutapo su gauta kitais metodais.

Tie rezultatai įtikino molekulių ir atomų egzistavimu netgi vieną iš atkakliausių jų priešininkų W. Ostwald'ą, tiesa, kitas žinomas fizikas ir filosofas E. Mach'as jų nepripažino dar dešimtmetį, ligi pat savo mirties.

Elektroninė teorija. Elektrono atradimas leido išplėtoti medžiagos elektroninę teoriją. Pirminis jos variantas buvo sukurtas dar prieš elektrono atradimą – 1895 m. paskelbtame Hendrik'o Lorentz'o (1853–1928) veikalė „Elektrinių ir optinių reiškinių judančiuose kūnuose teorijos apmatai“. Įvedęs hipotetines elektringąsias daleles – teigiamojo ir neigiamojo elementaraus krūvio nešėjas, Lorentz'as aprašė jų sąveiką su elektromagnetiniu lauku. Jis gavo išraišką jėgos, kuria laukas veikia judančią elektringąją dalelę (Lorentz'o jėga). Antra vertus, tokia su pagreičiu judanti dalelė pati skleidžia elektromagnetines bangas. Dielektrikuose elementarieji krūviai, veikiami elektromagnetinio lauko, tik pasislenka, bet neatsiskiria nuo medžiagos dalelių, o šios ima svyruoti. H. Lorentz'as, atsižvelgęs į medžiagos ir elektros krūvio diskrečią struktūrą, apibendrino Maxwell'o elektromagnetinę teoriją. Jis gavo išraiškas kai kurių medžiagos charakteristikų (pavyzdžiui, dielektrinės skvarbos), kurios anksčiau būdavo nustatomos tik bandymais.

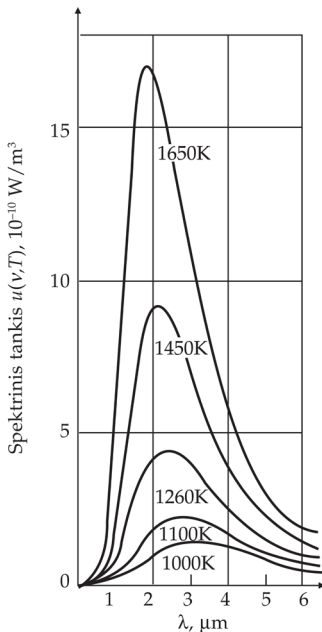
Atradus elektroną, iš pradžių E. Riecke, o 1900 m. P. Drude ir J. Thomson'as, remdamiesi H. Lorentz'o teorija, aprašė metalų elektrinį laidumą. Tuo tikslu buvo sėkmingai pritaikytas laisvųjų elektronų modelis, paremtas prielaida, kad jie metale nėra susieti su atomais ir sudaro tarsi idealiąsias dujas kietojo kūno viduje. 1905 m. P. Langevin'as elektroninę teoriją panaudojo diamagnetizmui ir paramagnetizmui aprašyti. Tiesa, jo modelis nebuvo nuoseklus – teko postuluoti, kad elektronas, sukdamasis molekulės viduje, elektromagnetinių bangų nespinduliuoja.

Elektronai buvo įsivaizduojami kaip klasikinės dalelės – maži, kieti, nedeformuojami rutuliukai, kurių paviršiuje tolygiai pasiskirstęs elektros krūvis. Prie elektrono kinetinės energijos pridėjus jo sukuriama magnetinio lauko energiją, kuri irgi priklauso nuo greičio kvadrato, ir užrašius visą dalelės energiją pavidalu $mv^2/2$, gauta išvada, kad judantis elektronas tarsi įgyja papildomą elektromagnetinę masę (ji didėjo mažinant elektrono spindulį). Tokiu būdu H. Lorentz'as interpretavo W. Kaufmann'o 1901 m. pastebėtą keistą faktą, kad elektronams, išlekiantiems iš atomų kaip β spinduliai, santykis e/m nėra pastovus – jis priklauso nuo elektronų greičio. Šį reiškinį nuosekliai paaiškino specialioji reliatyvumo teorija.

13.4. KVANTO IR FOTONO ATRADIMAS

XIX a. pabaigoje vienas iš aktualių, plačiai nagrinėtų termodinamikos klausimų buvo absoliučiai juodo kūno spinduliuotė. Šį idealųjį objektą įvedė

G. Kirchhoff'as dar 1860 m. kaip kūną, kuris sugeria visus į jį krintančius spindulius. Kirchhoff'as įrodė, kad, esant šiluminei pusiausvyrai su aplinka, absoliučiai juodo kūno spektrinis spinduliuotės energijos tankis $u(\nu, T)$ (energija, spinduliuojama dažnių intervale $\nu - \nu + d\nu$) priklauso tik nuo jo absoliučiosios temperatūros T ir dažnio ν . Ta funkcija svarbi spinduliuotės teorijoje, nes per ją išreiškiamas bet kokio kūno spinduliavimo ir sugerties gebų santykis. Suintegravus $u(\nu, T)$ pagal visą kūno spinduliuojamų dažnių intervalą, gaunama absoliučiai juodo kūno spinduliuojama energija. Kaip įrodė J. Stefan'as eksperimentiškai ir L. Boltzmann'as teoriškai, ji proporcinga kūno absoliučiosios temperatūros ketvirtajam laipsniui. Funkcija $u(\nu, T)$ įgyja maksimumą esant tam tikrai temperatūrai (13.12 pav.). 1893 m. W. Wien'as nustatė, kad, kylant kūno temperatūrai, spinduliuotės maksimumas pasislenka link didesniųjų dažnių, o netrukus tas pats mokslininkas gavo algebrinę funkcijos $u(\nu, T)$ išraišką, deja, ji galiojo tik dideliems dažniams, bet neatitiko eksperimentinių rezultatų mažiems dažniams. Ją sukritikavęs, J. Rayleigh'us 1900 m. išvedė kitą formulę, naudodamasis bendra prielaida, kad energija vienodai pasiskirsto pagal visus laisvės laipsnius. Ši formulė gerai aprašė $u(\nu, T)$ mažų dažnių srityje, bet neribotai augo esant dideliems dažniams (tai buvo pavadinta ultravioletine katastrofa).

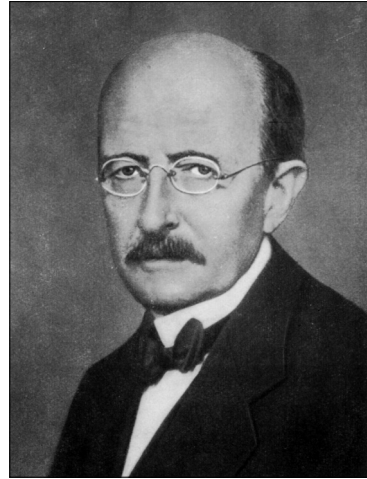


13.12 pav. Absoliučiai juodo kūno spinduliuojamos energijos spektrinio tankio $u(\nu, T)$ priklausomybė nuo bangos ilgio, esant įvairiai temperatūrai T .

Tuo metu vienas iš žinomų termodinamikos specialistų buvo vokiečių Max'as Planck'as (1858–1947).

M. Planck'o tėvas, senelis ir net prosenelis buvo Kylio universiteto profesoriai. Jau nuolis pasižymėjo muzikiniais gabumais, tad fiziką jis pasirinko tik po ilgų dvejonių. Užtat pagrindinę tyrimų sritį – termodinamiką – jis susirado dar studijuodamas Berlyno universitete. Vėliau keliolika metų M. Planck'as tarsi ruošėsi savo pagrindiniam – kvanto – atradimui, palaiapsniui tapo žinomu savo srities specialistu. Daugiau kaip tris dešimtmečius jis dirbo profesoriumi Berlyno universitete, laisvalaikį skirdavo muzikai ir turizmui. M. Planck'as buvo pirmas žymus fizikas, nedaręs eksperimentų, taigi taip prasidėjo teorinės ir eksperimentinės fizikos atsiskyrimas. Matyt, tvarkingas ir aktyvus gyvenimo būdas padėjo M. Planck'ui sulaukti beveik devyniasdešimties metų.

Nuo 1896 m. M. Planck'as užsiėmė absoliučiai juodo kūno spinduliuotės problema, bet ilgą laiką ir jam nesisekė jos išspręsti. 1900 m. pabaigoje du vokiečių fizikai eksperimentatoriai turėjo skaityti Vokiečių fizikų draugijos posėdyje pranešimą apie tikslesnius funkcijos $u(v, T)$ matavimus. M. Planck'as iš anksto išnagrinėjo tuos rezultatus ir, ruošdamasis diskusijai, sudarė formulę, kuri didelių dažnių srityje pereitų į Wien'o formulę, bet teisingai aprašytų visą kreivę. Po to jis beveik du mėnesius atkakliai mėgino išvesti šią formulę teoriškai. Deja, jos niekaip nepavyko suderinti su klasikine termodinamika, ir M. Planck'as iš nevilties, jo paties žodžiais tariant, padarė paradoksalią, bet duodančią



13.13 pav. Max'as Planck'as 1900 m. – energijos kvanto atradimo metais.

teisingą rezultatą prielaidą, kad absoliučiai juodo kūno energija (pagal jo naudotą modelį – osciliatorių sistemos energija) kinta ne tolydžiai, o porcijomis, kartotinėmis $h\nu$; čia ν – spinduliuojamų bangų dažnis, o h – nauja universali konstanta (Planck'o konstanta). Naudodamasis to meto eksperimentiniais duomenimis, Planck'as įvertino ją esant lygiai $6,55 \cdot 10^{-34}$ J/s. Dabar žinoma jos vertė yra $6,62607004 \cdot 10^{-34}$ J/s). Tai leido išvesti nuspėtą formulę.

Kaip vėliau M. Planck'as rašė savo atsiminimuose, buvo dvi galimybės: arba energijos elementas (kvantas) $h\nu$ yra tik fiktyvus dydis, leidžiantis formaliai gauti reikiamą išraišką, arba jis reiškia kažką visai naujo ir negirdėto fizikoje. Kaip klasikinės fizikos specialistas ir kūrėjas, M. Planck'as buvo linkęs rinktis pirmąją galimybę. Tiesa, jis intuityviai nujautė, kad tai nėra atsitiktinis sutapimas, tuščias žaidimas formulėmis, kad padaryta prielaida slepia kažką svarbaus. Tad 1900 m. gruodžio mėnesį jis perskaitė pranešimą fizikų draugijos posėdyje, o netrukus savo rezultatą paskelbė ir mokslo žurnale. M. Planck'as susilaikė nuo energijos diskretiškumo aptarimo, jis netgi nevartojo termino *energijos kvantas* ar *veikimo kvantas* ($h\nu$ vadino energijos elementu), nors tame pačiame žurnale kitame straipsnyje vartojo *elektros kvanto* terminą. Po to Planck'as atkakliai, bet nesėkmingai mėgino suderinti naująją konstantą h su klasikine teorija.

Planck'o formulė, gerai aprašanti eksperimentinius duomenis, sukėlė fizikų susidomėjimą, bet buvo vertinama kaip įtartinu būdu gautas teisingas rezultatas.

Pirmasis kvantų realumu patikėjo jaunas vokiečių fizikas Albert'as

Einstein'as. Jis pripažino energijos kvantą kaip fizikos objektą, suprato šios sąvokos bendrumą ir ypatingą jos reikšmę tolesnei fizikos raidai. Ligi tol kvanto idėja buvo reikalinga tik vienam fizikiniam reiškiniui – absoliučiai juodo kūno spinduliuotei – paaiškinti. A. Einstein'as įrodė, kad ji leidžia išspręsti ir kitas fizikos problemas. Viena iš jų buvo susijusi su neseniai H. Hertz'o atrastu fotoefekto reiškiniu. 1902 m. P. Lenard'as eksperimentiškai nustatė pagrindinius jo dėsningumus: kiekvienam metalui egzistuoja tam tikras minimalus šviesos dažnis, tik jį viršijus stebimas fotoefekto reiškinys; didinant šviesos intensyvumą, auga fotoelektronų skaičius, bet jų energija priklauso vien nuo šviesos dažnio. To negalėjo paaiškinti banginė šviesos teorija, – anot jos, kuo intensyvesnės šviesos bangos, tuo daugiau energijos jos suteikia išlekiantiems elektronams, o šviesos dažnis nėra esminis šiam reiškiniui. A. Einstein'as padarė prielaidą, kad ne tik kūno energija kinta porcijomis, bet pati šviesa yra sudaryta iš jos kvantų. Tokiai šviesos dalelei pataikius į elektroną, remiantis energijos tvermės dėsniu, turi galioti sąryšis:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A,$$

čia m – elektrono masė, v – išlėkusio fotoelektrono greitis, o A – išlaisvinimo darbas (energija, reikalinga elektronui pašalinti iš metalo). Pagal šią teoriją, išlėkusių elektronų skaičius yra tiesiogiai proporcingas krintančių šviesos kvantų skaičiui, t. y. jos intensyvumui. Šviesos kvantą G. Lewis 1926 m. pavadino fononu.

Taigi šviesos kvanto hipotezė leido paaiškinti fotoefekto dėsningumus. Vis dėlto fizikai nebuvo linkę atsisakyti visuotinai priimtos banginės šviesos teorijos, patvirtintos daugeliu eksperimentų, o suderinti skirtingas – bangines ir korpuskulines – to paties objekto savybes atrodė neįmanoma klasikinės fizikos požiūriu. Netgi M. Planck'as neigiamai vertino tolesnį savo paties idėjų plėtojimą.

A. Einstein'as, naudodamasis kvanto sąvoka, sėkmingai paaiškino ir šiluminės talpos priklausomybę nuo temperatūros. Anot klasikinės kinetinės teorijos, kietojo kūno šiluminė talpa turi nepriklausyti nuo temperatūros, o iš tikrųjų ji mažėja žeminant temperatūrą. Nagrinėdamas kietąjį kūną kaip virpančių atomų sistemą ir remdamasis Planck'o hipoteze, A. Einstein'as gavo formulę, pagal kurią šiluminė talpa artėja prie nulio kūno temperatūrai artėjant prie absoliučiojo nulio, o klasikinė talpos vertė atitinka tik aukštesnes temperatūras, kai kvantiniai efektai pasidaro nesvarbūs. Tiesa, Einstein'o formulė tik kokybiškai aprašė eksperimentinius duomenis, vėliau ji buvo patikslinta.

A. Einstein'o teorija sudomino W. Nernst'ą (1864–1941). Jis nustatė, kad ne tik šiluminė talpa, bet ir entropija turėtų pasidaryti lygi nuliui esant

absoliučiojo nulio temperatūrai. Tas svarbus rezultatas vėliau buvo pavadintas trečiuoju termodinamikos dėsniumi. Jis leido apibrėžti entropiją ne konstantos tikslumu, o nustatyti absoliučiąją jos vertę. Be to, remiantis šiuo dėsniu gaunama išvada, kad jokiais būdais neįmanoma pasiekti absoliučiojo nulio.

1911 m. Briuselyje įvyko W. Nernst'o sumanyta ir belgų išradėjo bei pramonininko E. Solvay finansuota aukščiausiojo lygio mokslinė konferencija, kurioje dalyvavo M. Planck'as, H. Lorentz'as, A. Einstein'as, H. Poincaré, E. Rutherford'as, M. Curie ir kiti žymiausi to meto fizikai. Konferencijos tema buvo „Spinduliavimas ir kvantai“. Jos metu vyko smarkios diskusijos dėl kvantų prasmės, jų suderinamumo su klasikine fizika ir egzistuojančių prieštaravimų sprendimo. Daugumai dalyvių atrodė, kad pripažinus realų kvantų egzistavimą fizika tampa nenuosekli ir prieštaringa, kad, sėkmingai išsprendus keletą paradoksų, kartu tenka griauti daugeliu eksperimentų patikrintus klasikinės fizikos pagrindus. Netgi kilo abejonų, ar atsisiųsius fizikinių dydžių tolydumo bus galima naudotis diferencialiniu skaičiavimu ir diferencialinėmis lygtimis. Pats kvanto atradėjas M. Planck'as žengė žingsnį atgal ir pasiūlė hipotezę, kad energija tik spinduliuojama kvantais, o sugerama tolydžiai. Atkakliausiai už kvantų, kaip fizikinės realybės, pripažinimą pasisakė A. Einstein'as, bet ir jis turėjo pripažinti, kad kvantų teorija tuometiniu pavidalu dar nebuvo „tikra teorija įprastine šio žodžio prasme, bent jau tokia teorija, kurią būtų galima nuosekliai plėtoti toliau“. Vis dėlto, nors to susitikimo metu kvantai nebuvo įteisinti fizikoje, išsami diskusija parodė, kad iškilusių problemų, matyt, neįmanoma išspręsti klasikinės fizikos metodais. Tuo būdu buvo parengta dirva Bohr'o kvantinei teorijai, kurią jis pasiūlė po poros metų.

Viena iš priežasčių, kodėl taip ilgai užtruko kvanto ir kitų šiuolaikinės fizikos sąvokų pripažinimas, buvo tuo metu dar tik klostęsis suvokimas, kad kiekviena teorija turi savo galiojimo ribas. Tad naujų idėjų prieštaravimas klasikinei fizikai buvo priimamas kaip jos trūkumų pripažinimas, o ne kaip ženklas, kad prieitos klasikinės fizikos ribos ir už jų turi galioti kitokia teorija.

13.5. ŠIUOLAIKINĖS FIZIKOS BRUOŽAI

Baigiantis XIX amžiui, 1900 m. Paryžiuje įvyko pasaulinė paroda bei su ja susiję įvairūs kongresai, tarp jų ir Pirmasis tarptautinis fizikų kongresas. Jo metu veikė septynios sekcijos: 1) bendrieji klausimai, vienetai, fizikos mokymas; 2) mechanika ir molekulinė fizika; 3) optika ir termodinamika; 4) elektra ir magnetizmas; 5) magnetooptika, katodiniai spinduliai ir radžio spinduliuotė; 6) kosminė fizika; 7) biologinė fizika. Taigi organizatoriai keturias sekcijas skyrė klasikinei fizikai ir tris – naujoms perspektyvioms kryp-

tims. Pastarosios buvo numatytos gana įžvalgiai – būtent mikrofizika, išsivysčiusi iš katodinių spindulių ir radžio spinduliuotės tyrimų, taip pat kosminė fizika (astrofizika) ir biologinė fizika (biofizika) tapo vienomis iš pagrindinių XX a. fizikos sričių (tiesa, biofizika dabar paprastai priskiriama biologijai, o ne fizikai). Tuo metu, aišku, dar nebuvo įmanoma įžvelgti reliatyvumo teorijos, lazerių fizikos ir mikroelektronikos.

XX amžiuje reguliariūs tarptautiniai fizikų kongresai ir konferencijos tapo nauju būdingu fizikos bruožu. Jį nulėmė didėjantis mokslininkų skaičius, spartėjanti fizikos raida, poreikis naudoti vis sudėtingesnius fizikinius prietaisus ir metodus, pagaliau auganti valstybės ir privačių fondų finansinė parama mokslui. Šiame skyriuje jau buvo minėta Pirmoji Solvay konferencija. Ji reguliariai vyko kas treji metai (išskyrus karo metus) ir vėliau. Žymiausių fizikų susitikimai, skirti kuriai nors aktualiai problemai, suvaidino svarbų vaidmenį sprendžiant naujų atradimų sukeltą krizę fizikoje, formuojant šiuolaikinės fizikos pagrindus. Tačiau po Antrojo pasaulinio karo, susiaurėjus fizikų specializacijai ir fizikos raidai tapus nuoseklesnei, ši konferencija neteko ankstesnės svarbos. Užtat atsirado daug įvairių specializuotų fizikos konferencijų; dalyvavimas jose tapo kiekvieno aktyvaus mokslininko būtinybe. Labai išaugo ir mokslo žurnalų skaičius, tiesa, pagal mokslotyros duomenis, jų rangai įvairuoja – tik nedidelis skaičius pagrindinių tarptautinių žurnalų vaidina išskirtinį vaidmenį fizikos, kaip ir kitų mokslų, raidoje; būtent juose publikuojama dauguma svarbiausių rezultatų.

XX a. iš esmės pasikeitė fizikos vaidmuo visuomenės gyvenime. XVI–XVIII a. fizika veikė civilizacijos raidą daugiausia savo idėjomis ir bendrų gamtos dėsnių pažinimu, XIX a. – ir naujais energijos šaltiniais bei technikos išradimais, o XX a. – daugeliu taikymų, iš esmės keičiančių žmogaus gyvenimo ir veiklos sąlygas, tapo svarbiausiu civilizacijos raidos veiksmu. Pirmiausia tai buvo suvokta kuriant naujas karines priemones ir apsaugą nuo jų. Būtent po Pirmojo ir ypač po Antrojo pasaulinio karo pasikeitė politikų požiūris į fiziką ir jai pradėta skirti vis daugiau valstybės lėšų. Iš pradžių parama buvo labiau teikiama taikomajai fizikai, bet vėliau suprasta, kad būtent fundamentinė fizika maitina naujomis, dažnai netikėtomis idėjomis taikomąją fiziką, tad išsivysčiusioms šalims atsigavus po Antrojo pasaulinio karo, buvo pradėta dosniai finansuoti įvairius fizikinius tyrimus. Vėliau, sulėtėjus ekonomikos augimui ir iškilus aštrioms aplinkos taršos, gamtos išteklių mažėjimo problemoms, sparčiai didėjant kitų mokslo sričių – kosmonautikos, elektronikos, biofizikos, chemijos – poreikiams, santykinis fizikos finansavimas ėmė mažėti, vėlgi buvo labiau nukreiptas aktualioms taikomosioms problemoms spręsti.

Keitėsi ir atskirų šalių vaidmuo fizikos raidoje. XX a. pradžioje tradicinės lyderės buvo pagrindinės Vakarų Europos šalys, ypač Vokietija. Tačiau jos pralaimėjimas dviejuose karuose bei kitų Europos šalių patirti didžiuliai nuostoliai, daugelio žymių mokslininkų emigracija prieš Antrąjį pasaulinį karą ir jo metu iš Vakarų Europos į JAV iš esmės pakeitė mokslo centrų išsidėstymą – ryškia mokslo lydere tapo JAV. Pagrindine tarptautine mokslo kalba tapo anglų kalba. Po Antrojo pasaulinio karo atsigavusi SSRS irgi ėmė skirti didžiules lėšas mokslui ir kai kuriose srityse pasiekė Vakarų Europos lygį, tačiau mokslo sistemos neefektyvumas ir izoliacija nuo pasaulinio mokslo trukdė jos mokslininkams dalyvauti lenktynėse dėl svarbiausių atradimų, įvertinamų Nobel'io premijomis. O SSRS imperijos žlugimas ir po to prasidėjusi ūkio suirutė nubloškė Rusijos mokslą gerokai atgal. XX a. pabaigoje ir XXI a. pradžioje vis svarbesnį vaidmenį moksle ėmė vaidinti didžiosios Azijos šalys Japonija ir Kinija, joms iš paskos seka Indija.

Iš esmės pasikeitus fizikos finansavimui ir jos problemoms tapus daug sudėtingesnėms, pasikeitė ir mokslo organizavimo formos. Įvairiose šalyse buvo įsteigti mokslo institutai ir nacionalinės laboratorijos, sutelkiantys daugelio mokslininkų pastangas svarbiausioms problemoms spręsti. O pačias sudėtingiausias, reikalaujančias didžiulių lėšų programas, tokias kaip naujų elementariųjų dalelių paieškos, valdomos termobranduolinės sintezės įgyvendinimas ir pan., tapo įmanoma realizuoti tik sutelkus daugelio šalių lėšas ir intelektines pajėgas. Netgi ir kitose fizikos srityse tarptautinės programos tapo įprastine praktika, ypač Europos Sąjungoje.

Fizikai skverbiantis tolyn į mikropasaulį bei makropasaulį, jos pažanga darėsi vis sunkesnė, reikalavo vis sudėtingesnių prietaisų ir tikslesnių metodų. Vis dėlto augant finansavimui ir didėjant mokslininkų skaičiui, tobulėjant mokslinių tyrimų sistemai, ją automatizuojant ir plačiai diegiant kompiuterius, fizikos raida beveik visą XX a. vyko gana sparčiais tempais. Per šimtmetį buvo išplėtoti šiuolaikinė fizika, žinių apimtimi viršijanti klasikinę fiziką, kuri formavosi beveik trejetą amžių. Fizika išlieka vienu iš prioritetinių mokslų ir šiame XXI a., sėkmingą tolesnę jos raidą lemia tiek didelė įtaka technologijų plėtrai, tiek sprendžiamos esminės pažinimo problemos.

SANTRAUKA

1895–1897 m. padaryti svarbūs Röntgen'o spindulių, radioaktyvumo, elektrono atradimai ir 1900 m. įvestas kvantas atskleidė naują mikrofizikos sritį, kuriai aprašyti reikėjo naujų principų, sąvokų ir metodų. Prasidėjo šiuolaikinės fizikos etapas.

Langą į subatominių pasaulį atvėrė elektros išlydžio išretintose dujose

tyrimai. Buvo pastebėta, kad iš katodinio vamzdelio katodo sklinda spinduliai, kurie turi energijos ir sukelia vamzdelio stiklo švytėjimą. 1895 m. W. Röntgen'as atrado, kad katodiniai spinduliai, smogdami į stiklą, generuoja kitus, daug skvarbesnius spindulius. Röntgen'as nustatė pagrindines jų savybes, bet negalėjo atskleisti spindulių prigimties, nes nepavyko jų nukreipti nei elektriniu, nei magnetiniu lauku ar stebėti difrakcijos. Galimybė pamatyti gyvo žmogaus kaulus ir daiktus, esančius uždarytoje dėžėje, sukėlė didžiulę sensaciją.

Mėgindamas išsiaiškinti, ar ir kitos fluorescuojančiosios medžiagos skleidžia Röntgen'o spindulius, H. Becquerel'is aptiko urano radioaktyvumą. M. Curie atrado antrą radioaktyvųjį elementą – torį, o kartu su savo vyru P. Curie iš urano rūdos išskyrė dar du naujus radioaktyvius elementus – radį ir polonį. Jų spinduliavimo nekeitė fiziniai ir cheminiai poveikiai, tad teko priimti hipotezę, jog atomų viduje vyksta nežinomi procesai, galingesni negu cheminės reakcijos. E. Rutherford'as įrodė, kad radioaktyvioji spinduliuotė nėra vienalytė, iš jos išskyrė α ir β spindulius, o vėliau buvo aptikti dar γ spinduliai. E. Rutherford'as nustatė, kad skilimo metu susidaro naujos radioaktyviosios medžiagos; tokios trumpaamžės medžiagos – torio emanacijos – tyrimas leido atrasti radioaktyviojo skilimo dėsnį. Proceso greitis nepriklauso nuo atomų amžiaus, tad fizikai susidūrė su pirmuoju tikimybinio dėsnio, aprašančiu atskiros mikrodalelės kitimą. Rutherford'as ir Soddy aptiko cheminių elementų radioaktyvias atmainas, kurios, patikslinus sąvoką, buvo pavadintos izotopais.

1897 m. J. Thomson'as pagaliau atskleidė katodinių spindulių prigimtį: jis išmatavo juos sudarančių dalelių krūvio ir masės santykį ir, lygindamas su atitinkamu santykiu vandenilio jonams, padarė išvadą, kad spindulius sudaro dalelės, kurių krūvis lygus vandenilio jono krūviui, bet yra priešingo ženklo, o masė beveik 2000 kartų mažesnė už vandenilio atomo masę. Taigi buvo atrasta pirmoji sudedamoji atomo dalis. Thomson'as įrodė, kad tos pačios dalelės išlekia iš metalų juos veikiant ultravioletiniais spinduliais ar kaitinant, o H. Becquerel'is jas sutapatino su β spinduliais. Žinodamas šią vieną elementariąją dalelę, J. Thomson'as pasiūlė paprastą klasikinį atomo modelį – tai teigiamojo krūvio debesėlis su jame esančiais elektronais. Remiantis anksčiau H. Lorentz'o išplėtotą elektringųjų dalelių sąveikos su elektromagnetiniu lauku teorija, elektronų egzistavimas leido paaiškinti metalų laidumo ir magnetinius reiškinius.

XIX a. pabaigoje fizikai susidūrė su paradoksu: visi mėginimai aprašyti paprasčiausią – absoliučiai juodo kūno spinduliuotę, naudojantis klasikine termodinamika, duodavo rezultata, kuris atitiko eksperimentinius

duomenis tik mažiems arba tik dideliems dažniams. M. Planck'as įspėjo teisingą formulę, o paskui priėjo išvadą, jog norint ją išvesti teoriškai, būtina padaryti prielaidą, kad absoliučiai juodo kūno energija spinduliavimo metu keičiasi ne tolydžiai, o tam tikromis porcijomis. M. Planck'as, kaip ir kiti to meto klasikinės fizikos autoritetai, nesiryžo pripažinti kvanto realaus egzistavimo, laikė jį tik euristicine priemone, mėgino tą rezultatą suderinti su klasikine fizika. Pirmasis kvantą, kaip fizikinę realybę, įteisino A. Einstein'as. Padaręs prielaidą, kad šviesa yra ne tik sugerama ir spinduliuojama kvantais, bet ir sudaryta iš šviesos kvantų, jis 1905 m. sėkmingai paaiškino fotoefekto dėsnį, kurie buvo nesuprantami banginės šviesos teorijos požiūriu. Vis dėlto daugelis to meto fizikų neskubėjo priimti kvanto hipotezės, laikydami ją nepakankamai pagrįsta ir prieštaringa. Taigi nauji atradimai sukėlė fizikoje krizę, kurią galėjo išspręsti tik nuoseklios kvantinės teorijos sukūrimas, jos ir klasikinės fizikos galiojimo sričių nustatymas.

1900 m. įvyko Pirmasis tarptautinis fizikų kongresas. Vėliau reguliarios mokslinės konferencijos tapo būdingu šiuolaikinės fizikos bruožu. Kiti jos bruožai – siaurėjanti mokslininkų specializacija, svarbūs fizikos taikymai, valstybinis mokslo organizavimas ir finansavimas. Fizikos atradimai, atskleidžiantys naujus energijos šaltinius, greitai virstantys buities, pramonės ir karo išradimais, tapo pagrindiniu civilizacijos raidos veiksmu. Dėl to valstybės ėmė skirti daug lėšų fizikiniams tyrimams, taigi atsirado galimybė kurti unikalius prietaisus, sutelkti didelius mokslininkų kolektyvus svarbiausioms problemoms spręsti. Nors sunkumai skverbiantis į neregimus pasaulius vis didėjo, fizikos raida XX a. vyko gana sparčiai. Atrodo, tas progresas sėkmingai tęsis ir XXI amžiuje, tam prielaidą sudaro stiprėjantys tarptautiniai ryšiai ir bendradarbiavimas.

Du pasauliniai karai, palietę daugiausia Europą, pakeitė pagrindinių mokslo centrų išsidėstymą – JAV tapo mokslo lydere, o anglų kalba virto tarptautine mokslo kalba. XXI a. pirmaisiais dešimtmečiais svarbų vaidmenį moksle ėmė vaidinti priešakinės Azijos šalys Japonija ir Kinija.

XIV. RELIATYVUMO TEORIJA

14.1. A. EINSTEIN'O GYVENIMAS IR VEIKLA

Albert'as Einstein'as – žymiausias XX a. fizikas, reliatyvumo teorijos kūrėjas, pagrindęs svarbiausių fizikos sąvokų – laiko ir erdvės, energijos ir masės, inercijos ir gravitacijos naują sampratą, įvedęs šviesos kvanto (šviesos dalelės) sąvoką.

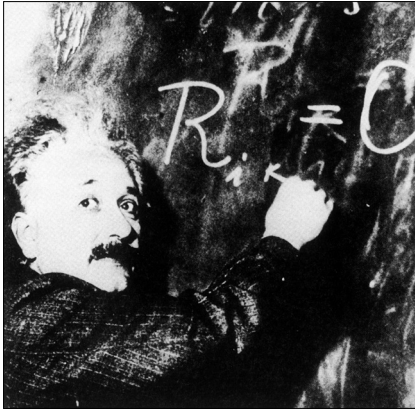
A. Einstein'as gimė 1879 m. nedideliame pietų Vokietijos mieste Ulme, vietinių žydų šeimoje. Jo tėvas ne itin sėkmingai prekiaavo elektros reikmenimis; netrukus šeima persikraustė į Miuncheną, kur tėvas užsiėmė elektros prietaisų prekyba ir gamyba.

A. Einstein'as vėlai išmoko kalbėti, o mokykloje iš kitų neišsiskyrė gabumais. Užsiėmęs ku nors, darė tai lėtai, bet iš pagrindų. Nemėgo sporto ir žaidimų su bendraamžiais, pats vienas konstravo techninius žaislus arba skaitė. Mokykloje jam patiko matematika, savarankiškai perskaitė Eukleides'o „Pradmenis“ ir populiarią gamtos mokslų enciklopediją. Tėvams dar kartą pakeitus gyvenamąją vietą – išsikėlus į Šiaurės Italiją, A. Einstein'as nebaigė gimnazijos, savarankiškai rengėsi stoti į aukštąją mokyklą. Pažintis su elektros prietaisais tėvo krautuvėje ir dirbtuvėje, matyt, nulėmė pasirinkimą studijuoti Federalinėje aukštojoje politechnikos mokykloje Ciuriche. Čia jis gyveno kukliai, ne itin stropiai lankė paskaitas, bet gilinosi į jam patinkančius dalykus, buvo sužavėtas E. Mach'o „Mechanikos“, joje pateiktos klasikinės fizikos kritikos. Baigęs aukštąją mokyklą 1900 m., A. Einstein'as nebuvo paliktas asistentu (matyt, lėmė keli konfliktai su dėstytojais, kilę dėl nepriklausomo jo elgesio), dvejus metus nerado nuolatinio darbo.

Tik 1902 m. A. Einstein'as gavo eksperto vietą patentų biure Berne. Jis tikrindavo pateiktas išradimų paraiškas, pats konstravo ir išradinėjo prietaisus. Darbas jam patiko, be to, likdavo laiko moksliniams apmąstymams, jis kartu su dviem draugais studijavo filosofijos veikalus. A. Einstein'as vedė



14.1 pav. Albert'as Einstein'as Berno patentų biure (1905 m.).



14.2 pav. A. Einstein'as, skaitantis paskaitą apie bendrąją reliatyvumo teoriją (1930 m.).

buvusią kurso draugę serbę Milevą Marić, jiems gimė du sūnūs.

1902–1904 m. A. Einstein'as išspausdino kelis mokslinius straipsnius iš termodinamikos. Jis plėtojo statistinės fizikos metodus ir taikė juos termodinamiškai pagrįsti molekulinės kinetinės teorijos požiūriu, deja, tie rezultatai, netgi bendresne forma, jau buvo gauti J. Gibbs'o – A. Einstein'as apie šiuos darbus nežinojo.

1905 m. už darbą „Naujas molekulių matmenų nustatymas“ jis gavo filosofijos daktaro laipsnį. Tais pačiais metais, vos pripažintas kaip mokslininkas,

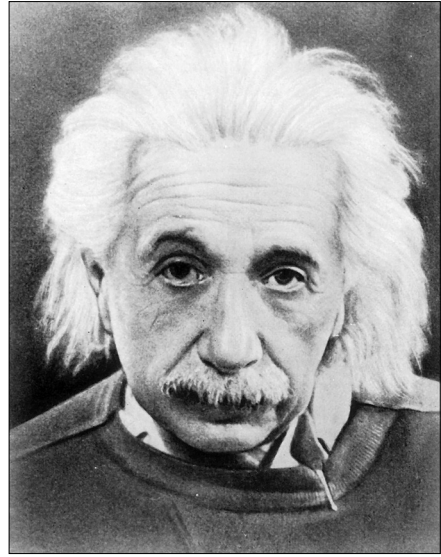
nebūdamas susijęs su jokia mokslo įstaiga, A. Einstein'as paskelbė net keletą labai reikšmingų darbų, tai jo kūrybinio pakilimo viršūnė – „auksiniai metai“ (tada jis tebuvo 26 metų). Kaip rašyta praeitame skyriuje, A. Einstein'as, remdamasis šviesos kvanto hipoteze, paaiškino fotoefekto dėsningumus, be to, jis išplėtojo Brown'o judėjimo teoriją; jos išvadas patikrinus eksperimentiškai, buvo gautas pirmasis akivaizdus molekulių egzistavimo įrodymas. Tais pačiais metais jis išspausdino du straipsnius, kuriuose bendru pavidalu pateikė specialiąją reliatyvumo teoriją, aprašančią judėjimą greičiais, artimais šviesos greičiui, atskleidė jos fizikinę prasmę, paskelbė garsųjį sąryšį tarp masės ir energijos (tai plačiau nagrinėjama 14.2 poskyryje).

Nepaprastą A. Einstein'o kūrybingumą lėmė ypatinga mokslinė intuicija, gebėjimas susikoncentruoti ties bendriausiomis fizikos problemomis, nuoseklus problemos visumos suvokimas, bendra jos loginė, net filosofinė analizė.

A. Einstein'o gautus rezultatus, ypač specialiąją reliatyvumo teoriją, iš karto aukštai įvertino kai kurie žymūs fizikai, tačiau didesnio dėmesio ir diskusijų ji sulaukė tik po kelerių metų. 1908 m. A. Einstein'as atsisakė darbo patentų biure; dėstė Berno, Ciuricho, Prahos universitetuose. 1911 m. jis, jau kaip pripažintas fizikas, dalyvavo Pirmojoje Solvay konferencijoje. 1914 m. Einstein'as buvo paskirtas Kaizerio Vilhelmo Fizikos instituto direktoriumi ir jam pasiūlyta profesoriaus vieta Berlyno universitete be privalomo pedagoginio krūvio, jis išrinktas Prūsijos mokslų akademijos nariu. Deja, tuo pačiu metu sustiprėjo jo nesutarimai su žmona; ji su vaikais netrukus grįžo į Šveicariją. Po kelerių metų Einstein'as vedė antrą kartą – savo pusseserę.

Nuo 1907 m. A. Einstein'as beveik aštuonerius metus atkakliai dir-

bo siekdamas apibendrinti reliatyvumo teoriją atskaitos sistemoms, judančioms su pagreičiu, išplėtoti reliatyvistinę gravitacijos teoriją. Galutinis jos variantas buvo paskelbtas tik 1916 m. Ši teorija atskleidė naujas erdvės, laiko ir gravitacijos savybes. Jos išvada apie erdvės neeuclidiskumą galėjo būti patikrinta stebint žvaigždės spindulio nukrypimą, kai šis sklinda pro Saulę. Tuo tikslu 1919 m. buvo organizuotos dvi astronomų ekspedicijos į visiško Saulės užtemimo rajoną. Jos patvirtino Einstein'o numatytą rezultatą. Šią žinią paskleidė spauda, ir 1920 m. keista reliatyvumo teorija bei savitas jos kūrėjas tapo visuotinio susidomėjimo objektu. Einstein'o šlovę dar padidino 1921 m. „už



14.3 pav. Viena iš paskutiniųjų A. Einstein'o nuotraukų.

svarbius fizikos ir matematikos tyrimus, ypač už fotoelektrinio efekto dėsnio atradimą“ jam suteikta Nobel'io premija. Pasipylė premijų ir garbės vardų srautas, Einstein'as buvo kviečiamas į įvairias šalis skaityti paskaitų, stengiamasi juo „papuošti“ iškilmes, konferencijas, parodas ir pan. Į jo paskaitas Berlyno universitete rinkdavosi daugybė žmonių, netgi atvykusių iš užsienio, besidominčių ne tiek fizika, kiek pačiu mokslininku. Garbė nepakeitė A. Einstein'o ir jo gyvenimo būdo – jis liko paprastas, tiesmukas, nepaisė įprastinių elgesio normų, neskyrė daug dėmesio savo aprangai. Dar nuo Pirmojo pasaulinio karo metų jis atvirai pasisakydavo prieš karą ir nacionalizmą, už demokratines vertybes, dėl to susilaukė revanšistų ir fašistų išpuolių.

XX a. trečiajame dešimtmetyje grupė fizikų su N. Bohr'u priešakyje sukūrė nuoseklią kvantinę mechaniką. A. Einstein'as netapo vienu iš jos autorių. Tiesa, dar 1916 m. jis aprašė elementarius spinduliavimo ir sugerties procesus, numatė priverstinį spinduliavimą, o 1924 m. kartu su S. Bose išplėtojo vieną iš dviejų kvantinės statistikos variantų. Vis dėlto A. Einstein'as labiau pasižymėjo kaip kvantinės mechanikos kritikas, o ne kaip kūrėjas, – jis atkakliai kritikavo tikimybinę kvantinės mechanikos interpretaciją, teigdamas, kad „Dievas nežaidžia kauliukais.“

A. Einstein'as atsidėjo kitai esminei problemai – kurti suvienytąją lauko teoriją, kuri susietų abi tuo metu žinomas fundamentines sąveikas – gravitacinę ir elektromagnetinę. Deja, jam nepavyko gauti esminių rezultatų (ši superproblema lieka neišspręsta ligi šiol).

1933 m. Vokietijoje į valdžią atėjus Hitler'ui, A. Einstein'as, tuo metu buvęs JAV, nutarė nebegrįžti į savo gimtąją šalį, kur prasidėjo nacizmo priešininkų ir žydų persekiojimai. Iki gyvenimo pabaigos jis dirbo Perspektyviųjų tyrimų institute Prinstone, kur naudojosi visiška kūrybine laisve.

1939 m. paaiškėjo atominės bombos sukūrimo galimybė ir kilo pavojus, kad šį ginklą gali pasigaminti nacistinė Vokietija. Tai ypač rūpėjo mokslininkams, pasitraukusiems nuo fašizmo grėsmės į JAV. Tad buvo parengtas laiškas šios šalies prezidentui, raginantis jį pradėti kurti atominę bombą, kad būtų aplenkta Vokietija. A. Einstein'as ne tik pasirašė šį laišką, bet ir pasirūpino jo perdavimu F. Roosvelt'ui. Vėliau, po atominės bombos sprogdinimų Hirošimoje ir Nagasaki, A. Einstein'as labai gailėjosi, kad prisidėjo prie branduolinio ginklo atsiradimo.

Po karo A. Einstein'as, tapęs gyvąja legenda, gyveno Prinstono universitetiniame miestelyje, savo laiką dalijo fizikai ir politikai. Jis toliau atkakliai, bet nesėkmingai kūrė suvienytąją lauko teoriją. Apibendrinančių veikalų – monografijų – A. Einstein'as neparašė, žymesnių mokinių neišugdė, liko vienišas genijus. Elgėsi jis pagal savo principus, ignoruodamas amerikietiškojo gyvenimo vertybes, atvirai pasisakydamas prieš makartizmą. A. Einstein'as kartu su B. Russell'u ir A. Schweitzer'iu aktyviai dalyvavo taikos šalininkų judėjime, buvo iškėlęs utopinę pasaulio vyriausybės idėją, rėmė susikūrusią Izraelio valstybę.

A. Einstein'as mirė 1955 m., sulaukęs septyniasdešimt šešerių metų. Pildant jo norą, iškilmingų laidotuvių nebuvo, o pelenai išbarstyti nežinomoje vietoje.

14.2. SPECIALIOJI RELIATYVUMO TEORIJA

Kaip rašoma 9.5 poskyryje, A. Michelson'as 1881 m. nustatė, kad šviesos greitis Žemės judėjimo kryptimi ir priešinga kryptimi yra toks pat; tą rezultatą patvirtino po kelerių metų A. Michelson'o ir jo bendradarbio E. Morley atliktas tikslesnis eksperimentas. Jeigu šviesos bangos sklinda eteryje, kaip tuo metu buvo manoma, vadinasi, eteris juda kartu su Žeme. Tai prieštaravo kitiems rezultatams (H. Fizeau eksperimentui, stebimai žvaigždžių aberacijai), kurie liudijo, kad eteris nejuda arba yra iš dalies velkamas kūno.

G. FitzGerald'as ir H. Lorentz'as nepriklausomai įrodė, kad A. Michelson'o ir E. Morley gautą rezultatą vis dėlto galima suderinti su eterio rimitimi padarius prielaidą, kad visi kūnai sutrumpėja judėjimo kryptimi $\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$ kartų (čia v – kūno, o c – šviesos greitis). Prielaidą buvo mėginama pagrįsti tokiu būdu: eteryje sklinda ne tik šviesa, bet ir sąveikos tarp molekulių, tad kūnui judant eterio atžvilgiu, tos sąveikos kinta, o kartu

kinta ir kūno matmenys.

Kūno judėjimą eterio atžvilgiu skatino tirti ir dar viena priežastis. Skirtingai nuo mechanikos lygčių, Maxwell'o lygčių pavidalas keitėsi taikant Galilei transformacijas (pereinant nuo vienos inercinės atskaitos sistemos prie kitos). Buvo manoma, kad lygtys galioja tik atskaitos sistemoje, susijusioje su eteriu, ir turėtų būti apibendrintos kūno judėjimui eterio atžvilgiu.

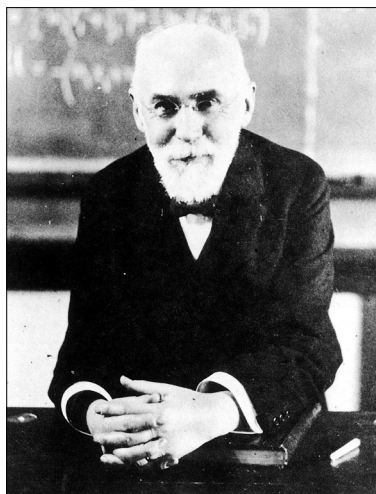
1890 m. H. Hertz'as išvedė kitokias elektromagnetinio lauko lygtis, kurių nekeitė Galilei transformacijos, betgi jis padarė prielaidą, kad kūno viduje esantis eteris vis dėlto juda kartu su kūnu. Tai prieštaravo eksperimentams su šviesa, tad Hertz'as netaikė savo teorijos optiniams reiškiniams.

XIX a. pabaigoje daug dėmesio elektrodinamikos ir eterio problemoms skyrė vienas žymiausių to meto teoretikų H. Lorentz'as. Jis ilgus metus vadovavo Leideno universiteto teorinės fizikos katedrai, garsėjo savo erudicija, subtiliu humoru, mokėjo daugelį kalbų, tad buvo nepakeičiamas tarptautinių kongresų ir konferencijų vadovas. Kaip rašyta 13.3 poskyryje, H. Lorentz'as sukūrė klasikinę elektroninę teoriją, aprašančią elektringųjų dalelių sąveiką su elektromagnetiniu lauku. Vienas iš sėkmingų jos taikymų buvo spektro linijų suskilimo magnetiniame lauke paaiškinimas. Šį reiškinį 1896 m. atrado kitas Nyderlandų fizikas P. Zeeman'as.

H. Lorentz'as daug prisidėjo ir prie specialiosios reliatyvumo teorijos atsiradimo. Užuo mėginęs pakeisti Maxwell'o lygtis taip, kad jos nesikeistų atliekant Galilei transformacijas, Lorentz'as surado kitas transformacijas, kurių atžvilgiu tos lygtys buvo invariantiškos (panašias transformacijas dar 1887 m. buvo siūlęs W. Voigt'as, o 1900 m. gavo ir J. Larmor'as). Skirtingai nuo Galilei transformacijų, kurios nekeičia laiko, Lorentz'o transformacijos keitė ne tik erdvines koordinates, bet ir laiką. H. Lorentz'ui teko įvesti kiekvienai koordinatinių sistemai atskirą „vietinį“ laiką. Vis dėlto jis manė, kad egzistuoja vienas tikrasis laikas, turintis fizikinę prasmę, o vietinis laikas yra tik formali priemonė, slepianti kažkokiais dar neatskleistas eterio savybes.

Dar toliau specialiosios reliatyvumo teorijos linkme nuėjo H. Poincaré.

Henri Poincaré (1854–1912) – žymus prancūzų matematikas, fizikas ir filosofas. Jis atliko labai reikšmingų darbų daugelyje matematikos sričių,



14.4 pav. Hendrik Anton Lorentz.



14.5 pav. Henri Poincaré.

pradėjo naują topologijos sritį ir buvo gretinamas su „matematikų karaliumi“ D. Hilbert'u. H. Poincaré įstengė aprėpti ir visą to meto teorinę fiziką – jis parašė dvylikos tomų „Matematinės fizikos kursą“. Apie Poincaré autoritetą tarp fizikų liudija tai, kad jis vadovavo Pirmajam tarptautiniam fizikų kongresui ir skaitė jame bendrą įžanginį pranešimą. Nemažai svarių H. Poincaré darbų skirta mokslo filosofijai ir metodologijai.

Vienas iš tokių straipsnių „Laiko matavimas“ (1898 m.) buvo skirtas absoliučiojo laiko kritikai. Anot Poincaré, jeigu šviesos greitis yra baigtinis, tai negalima fizikiniais matavimais nustatyti įvykių, vykstančių skirtingose vietose, vienalaikiškumo (iš pradžių būtina išmatuoti patį šviesos greitį, o tam reikia pasinaudoti vienalaikiškumo samprata). Lorentz'o transformacijomis H. Poincaré šiame darbe nesinaudojo.

Remdamasis eksperimentais, liudijančiais, kad neįmanoma pastebėti kūno tolygaus judėjimo eterio atžvilgiu, H. Poincaré suformulavo bendrąjį reliatyvumo principą: „Fizikos dėsniai yra vienodi tiek nejudančiam stebėtojui, tiek stebėtojui, judančiam tiesiai ir tolygiai, todėl mes neturime ir negalime turėti jokių priemonių, kurios leistų atskirti, judame mes tokiu būdu ar ne.“ Tai buvo pranešta 1904 m. tarptautiniame mokslo ir meno kongrese Sent Luise (JAV). Tikėdamasis ši principą nuosekliai suderinti su Lorentz'o rezultatais, Poincaré savo pranešime pranašingai spėjo: „Iš visų tų rezultatų, jeigu jie pasitvirtins, atsiras iš esmės nauja mechanika, kurią, be viso kito, apibūdins tas faktas, kad joks greitis negalės viršyti šviesos greičio, kaip temperatūra negali nukristi žemiau absoliučiojo nulio, kadangi kūnai priešinsis priežastims, greitinančioms jų judėjimą, vis didindami inerciją, ir ta inercija taps begalinė, kai kūnas pasieks šviesos greitį.“ Tiesa, ten pat Poincaré darė išlygą, kad seni principai dar „gali laimėti ir nepatirti nuostolių“.

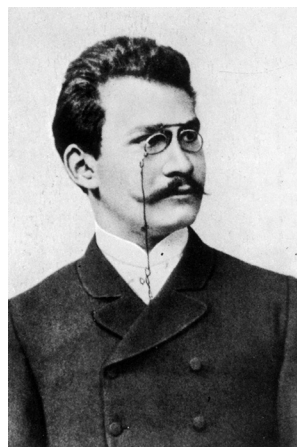
Šias naujos teorijos paieškas vainikavo A. Einstein'o straipsnis „Apie judančių kūnų elektrodinamiką“, 1905 m. paskelbtas žurnale „Annalen der Physik“. Čia nuosekliai ir nepriešaringai buvo pateikta reliatyvumo teorija (vėliau, po bendrosios reliatyvumo teorijos sukūrimo, pavadinta specialiąja). Kaip pagrindinius, iš eksperimento išplaukiančius principus, A. Einstein'as priėmė bendrąjį reliatyvumo principą (jo suformuluotą nepriklausomai) ir šviesos greičio pastovumą visose inercinėse sistemose. Remdamasis tais prin-

cipais, A. Einstein'as išvedė Lorentz'o transformacijas, įrodė, kad ne tik kūno matmenys, bet ir atstumai erdvėje priklauso nuo atskaitos sistemos greičio. Jis padarė aiškia išvadą, kad tie rezultatai atskleidžia naujas erdvės ir laiko savybes, paneigia šių sąvokų absoliutų pobūdį ir nurodo jų priklausomybę nuo atskaitos sistemos. A. Einstein'as atmetė eterio hipotezę, kaip nereikalingą reliatyvumo teorijoje ir netgi prieštaraujančią jai, nes su eteriu susieta sistema turėtų išskirtinę reikšmę. Be to, tame straipsnyje buvo išvestos naujos greičių sudėties, pereinant nuo vienos inercinės atskaitos sistemos prie kitos, formulės bei nustatyta kūno masės priklausomybė nuo greičio.

A. Einstein'as, remdamasis šia masės priklausomybe, kitame straipsnyje pateikė sąryšį tarp energijos ir masės $E = mc^2$. Tie du svarbūs fizikiniai dydžiai pasirodė esą vienareikšmiškai susiję tarpusavyje. „Kūno masė yra jo turimos energijos matas“, – rašė Einstein'as. Iš tos formulės paaiškėjo, kad egzistuoja dar viena energijos forma – milžiniška rimties energija, susijusi su kūno rimties mase. A. Einstein'as nurodė galimybę eksperimentiškai patikrinti formulę tiriant radžio druskas, kurios išskiria gana daug energijos.

1906 m. pradžioje pasirodė ir naujas H. Poincaré darbas (atiduotas spaudai šiek tiek vėliau negu pagrindinis A. Einstein'o straipsnis). Čia buvo paskelbtas bendrasis reliatyvumo principas, tačiau Poincaré mėgino jį suderinti su nejudančio eterio egzistavimu; o judančių kūnų ilgio sutrumpėjimas buvo aiškinamas kaip eterio pasipriešinimo tam judėjimui rezultatas. H. Poincaré nepriklausomai išvedė greičių sudėties formules ir pastebėjo įdomią galimybę: prijungus prie trijų erdvinių koordinačių ketvirtąją koordinatę *ict* (*i* – menamasis vienetas), Lorentz'o transformacijas galima nagrinėti kaip posūkius keturmatėje erdvėje. Taigi H. Poincaré buvo visai priartėjęs prie specialiosios reliatyvumo teorijos sukūrimo, netgi jos keturmačiu pavidalu, bet, deja, būdamas matematikas ir klasikinės fizikos šalininkas, jis nežengė lemiamo žingsnio, neįžvelgė už formulių slypinčių naujų esminių idėjų, jo teorija liko prieštaringa ir neužbaigta. Tuo tarpu H. Lorentz'as, netgi po specialiosios reliatyvumo teorijos paskelbimo, jos ilgai nepripažino, o vėliau nesiginčijo dėl prioriteto, pagrindinį nuopelną priskirdamas A. Einstein'ui.

1907–1908 m. matematikas Hermann'as Minkowski (1864–1909) specialiajai reliatyvumo teorijai suteikė graikščią keturmatę formą. Minkows-



14.6 pav. Hermann Minkowski.

ki gimė Lietuvoje, Kauno priemiestyje, tačiau vaikystėje su tėvais emigravo į Prūsiją, studijavo Karaliaučiaus universitete, vėliau dėstė Berlyno ir Karaliaučiaus universitetuose bei Aukštojoje politechnikos mokykloje Ciuriche, čia jo paskaitų klausė ir A. Einstein'as.

H. Minkowski išplėtojo erdvės ir laiko – keturmačio erdvėlaikio – geometriją, įvedė šioje erdvėje tašką (pasaulinį tašką) ir liniją (pasaulinę liniją).

Jis įrodė, kad atstumas tarp dviejų pasaulinių taškų ($s = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2}$) išlieka invariantiškas pereinant nuo vienos atskaitos sistemos prie kitos, nors atstumas trimatėje erdvėje ir laiko tarpas tarp dviejų įvykių kinta. H. Minkowski įvedė keturmačius vektorius, kurių naudojimas lygtyse užtikrina jų invariantiškumą Lorentz'o transformacijų atžvilgiu. Specialioji reliatyvumo teorija nepaneigė klasikinės mechanikos, tik nurodė jos galiojimo sritį – maži judėjimo greičiai, palyginti su šviesos greičiu. Kai $\frac{v}{c} \rightarrow 0$, reliatyvumo teorijos formulės pereina į klasikinės mechanikos formules.

Specialiąją reliatyvumo teoriją patvirtino elektrono masės priklausomybės nuo greičio bei energijos, išsiskiriančios branduolinių reakcijų metu, matavimai, o vėliau ir daugelis kitų eksperimentų. Tačiau Einstein'o atskleista nauja laiko, erdvės ir kitų pagrindinių fizikos sąvokų samprata, paradoksalia – sveiko proto požiūriu – teorijos išvados sukėlė dideles diskusijas ir įvairius nenusisekusius mėginimus „ištaisyti“ ar net paneigti šią teoriją. Reliatyvumo teorijos idėjos, ypač absoliučiosios erdvės ir absoliučiojo laiko atsisakymas ir keturmačio erdvėlaikio įvedimas, gamtos reiškinių reliatyvumo ir kartu šviesos greičio absoliutumo nustatymas, turėjo didelės įtakos XX a. filosofijai.

14.3. BENDROJI RELIATYVUMO TEORIJA

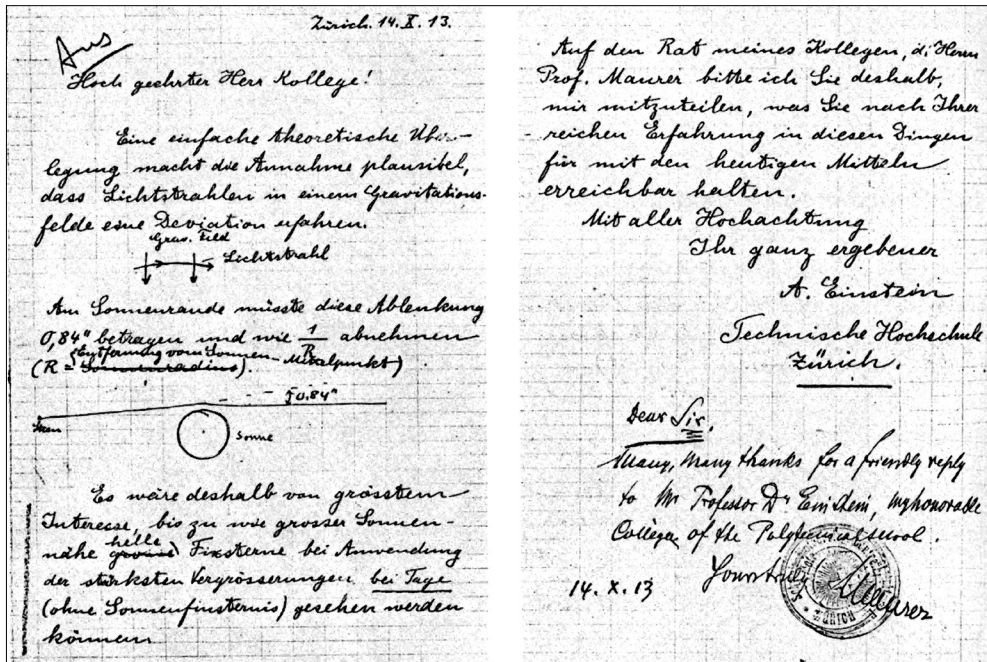
Anot specialiosios reliatyvumo teorijos, šviesos greitis yra didžiausias galimas fizinis greitis, tad visuotinė trauka tarp kūnų negali būti perduodama akimirksniu, kaip tai išplaukia iš Newton'o dėsnio. Taigi iškilo būtinumas sukurti reliatyvistinę gravitacijos teoriją. Tiesa, tuo metu buvo žinomas tik vienas nesutapimas tarp stebėjimų ir Newton'o teorijos – ji negalėjo paaiškinti artimiausios Saulei planetos – Merkurijaus – anomalaus orbitos sukimosi.

Pirmąją reliatyvistinę gravitacijos teoriją 1906–1907 metais išplėtojo H. Poincaré ir H. Minkowski – jie pamėgino apibendrinti Newton'o dėsnį atsižvelgdami į baigtinį sąveikos sklidimo greitį. Deja, jų teorija paaiškino tik 1/6 Merkurijaus efekto. A. Einstein'as pirmasis suprato, kad šią problemą reikia spręsti susiejant ją su reliatyvumo teorijos apibendrinimu atskaitos sistemoms, judančioms su pagreičiu (specialioji reliatyvumo teorija nagrinėja tik inercines sistemas, judančias pastoviu greičiu).

1907 m. A. Einstein'as parengė didelę reliatyvumo teorijos apžvalgą,

kurioje numatė ir tolesnio jos plėtojimo pagrindinę idėją. Masė kaip dydis įeina į visuotinės traukos dėsnį (gravitacinė masė) ir į antrąjį Newton'o dėsnį (inercinė masė). Tų dviejų masės prasmių, atspindinčių dvi skirtingas medžiagos savybes, ekvivalentiškumą buvo ne kartą mėginta paaiškinti (arba paneigti). A. Einstein'as šį ekvivalentiškumą priėmė kaip pagrindinį bendrosios reliatyvumo teorijos principą (kurdamas specialiąją reliatyvumo teoriją, jis irgi nemėgino paaiškinti šviesos greičio pastovumo ir priėmė jį kaip principą). Gravitacinės ir inercinės masių ekvivalentiškumo pasekmė yra tokia: sistemoje, kuri laisvai krinta Žemės traukos lauke (pavyzdžiu gali būti nutrūkęs liftas) stebimas nesvarumas, tarsi gravitacijos laukas būtų išnykęs. Einstein'as padarė išvadą, kad dvi atskaitos sistemos – judanti su pagreičiu ir nejudanti, bet esanti vienalyčiame gravitacijos lauke, – yra ekvivalentiškos ne tik mechaninių, bet ir elektromagnetinių reiškinių požiūriu. Tuo remdamasis, jis gavo naujas fizikines išvadas: gravitacijos lauke šviesos spindulys gali nukrypti nuo tiesaus kelio, jo bangos ilgis pasikeisti, o laiko tėkmė sulėtėti. Tuo metu Einstein'ui dar nepavyko išspręsti visų teorinių problemų, tarp jų – aprašyti Merkuriiaus orbitos anomalaus sukimosi. Straipsnis kitų fizikų dėmesio nesulaukė.

Kelerius metus A. Einstein'ui nesisekė įveikti sunkumų, jis imdavosi kitų problemų, bet ir vėl grįždavo prie bendrosios reliatyvumo teorijos. 1911 m. jis paskelbė naują straipsnį, kuriame įrodė, kad lokaliai, t. y. nedidelėje erdvė-



14.7 pav. A. Einstein'o laiškas G. Hale, kuriame teiraujamasi, ar spindulio nukrypimas Saulės gravitacijos lauke gali būti patikrintas stebėjimais.

je, nevienalytį gravitacijos lauką galima pakeisti neinericine atskaitos sistema. Be to, Einstein'as nurodė būdą išvadai apie spindulio nukrypimą gravitacijos lauke patikrinti – reikėtų stebėti žvaigždžių padėtis prie Saulės visiško jos užtemimo metu.

Tuo metu buvo paskelbta keletas alternatyvių reliatyvistinių gravitacijos teorijų – M. Abraham'o, G. Mie ir G. Nordström'o, bet jos prieštaravo kai kurioms specialiosios reliatyvumo teorijos išvadoms. O A. Einstein'as pagaliau surado raktą iškilusių problemų sprendimui. Jis suprato, kad „išjungiant“ gravitacijos lauką, reikia įvesti neeuklidinę – kreivą erdvę. Joje atstumas ds tarp dviejų artimų taškų išreiškiamas ne lygtimi:

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2,$$

o bendresne kvadratine forma:

$$ds^2 = \sum_{i,k=1}^4 g_{ik} dx_i dx_k.$$

Čia $x_1 \equiv x, x_2 \equiv y, x_3 \equiv z, x_4 \equiv ict$, o g_{ik} pasauliniam taškui yra rinkinys skaičių, kurie sudaro vadinamojo metrinio tenzorius G komponentes. Nagrinėjant lauką keturmatėje erdvėje, g_{ik} yra visų keturių koordinatų funkcijos.

Taigi A. Einstein'as susiejo gravitaciją su erdvės geometrija. Koefficientai g_{ik} aprašo gravitacijos lauko potencialus. Tai atskleidė A. Einstein'o ir kitų mokslininkų, kūrusių reliatyvistinę gravitacijos teoriją, suklydimą: buvo įvedamas tik paprastas skaliarinis, kaip Newton'o teorijoje, gravitacijos lauko potencialas, nors reikalingas visas jų rinkinys.

Taigi teko spręsti matematinę problemą – užrašyti gravitacijos lauko lygtis. Kadangi neeuklidinė geometrija ir tenzorinė analizė buvo išplėtoti dar XIX a., A. Einstein'as kreipėsi į savo studijų draugą matematiką M. Grossmann'ą pagalbos. Šis sutiko su sąlyga, kad nebus atsakingas už kokius nors fizikinius teiginius ir interpretacijas. Naudojantis B. Riemann'o ir M. Ricci rezultatais, jiems pavyko išvesti bendras lygtis. Tiesa, jos tenkino ne visas būtinas sąlygas, tad savo bendrą darbą A. Einstein'as ir M. Grossmann'as pavadino „Apibendrintos reliatyvumo teorijos ir gravitacijos teorijos metmenys“ (1913 m.).

Dar po dvejų metų A. Einstein'as užrašė bendras reliatyvistinės gravitacijos teorijos lygtis ir, jomis remdamasis, paaiškino Merkurijaus orbitos sukimaši bei apskaičiavo žvaigždės spindulio nukrypimą jam sklindant pro Saulę. Tas pačias lygtis išvedė ir matematikas D. Hilbert'as, tiesa, plėtodamas bendrąją lauko teoriją. Žinoma, jog tuo metu A. Einstein'as ir D. Hilbert'as buvo susitikę ir aptarę teorines problemas; matyt, tai paskatino jų abiejų mokslinius ieškojimus. 1916 m. A. Einstein'as išspausdino apžvalginį straipsnį

„Bendrosios reliatyvumo teorijos pagrindai“, kuriame nuosekliai išdėstė šią teoriją.

Taigi daugiausia A. Einstein'o pastangomis buvo sukurta viena iš įspūdingiausių XX a. fizikos teorijų, sujungusi, anot M. Born'o, „gilią filosofinę prasmę, fizikinę intuiciją ir matematinį meistriškumą“. Ji atskleidė naujas erdvės, laiko ir masės savybes, mus supančio pasaulio neeuklidiškumą, ja naudojantis pradėtos nagrinėti Visatos sandara ir evoliucija (apie bendrosios reliatyvumo teorijos (BRT) taikymus kosmologijoje ir astrofizikoje rašoma 18 skyriuje).

1919 m. astronomų stebėjimai visiško Saulės užtemimo metu patvirtino BRT išvadą apie šviesos spindulio nukrypimą gravitacijos lauke. 1925 m. buvo atrastas dar vienas jos numatytas reiškinys – masyvaus objekto spektro linijų raudonasis poslinkis – jį Sirijaus B žvaigždės spektre aptiko W. Adams'as.

Vis dėlto tie trys efektai (įskaitant Merkurijaus orbitos sukimašį) buvo išmatuoti nedideliu tikslumu, tad XX a. nesiliovė mėginimai „pataisyti“ ar paneigti šią neįprastą teoriją, buvo siūlomi alternatyvūs variantai. Tačiau atlikti tikslesni ir įvairesni BRT išvadų patikrinimai įrodė jos teisingumą. Šia teorija remiamasi aprašant Visatos raidą ir reiškinius, stebimus labai stipriuose gravitacijos laukuose. Antra vertus, BRT nustoja galioti, kai tampa svarbūs kvantiniai efektai, ir toje srityje turėtų būti pakeista kvantine gravitacijos teorija, kurią dar tik mėginama kurti.

SANTRAUKA

A. Einstein'as – žymiausias XX a. fizikas, atlikęs esminį vaidmenį kuriant šiuolaikinę fiziką, iškėlęs ir įtvirtinęs nemažai pagrindinių jos idėjų ir sąvokų. Ypač kūrybingas jam buvo 1905–1916 m. laikotarpis, prasidėjęs keliais labai reikšmingais darbais. 1905 m. A. Einstein'as įvedė šviesos kvanto (dalelės) sąvoką ir paaiškino fotoefekto dėsningumus, teoriškai aprašė Brown'o judėjimą kaip molekulių smūgių fluktuacijas ir bendru neprieštaringu pavidalu išplėtojo specialiąją reliatyvumo teoriją.

Nauja didelių greičių mechanika buvo reikalinga norint nagrinėti šviesos sklidimo ir eterio problemas. Siekdamį suderinti prieštarigus kelių eksperimentų rezultatus (ar eteris, hipotetinė šviesą perduodanti medžiaga, išlieka parimęs, ar juda kartu su judančiu kūnu), G. FitzGerald'as ir H. Lorentz'as padarė prielaidą, kad kūnai sutrumpėja judėjimo kryptimi. H. Lorentz'as (ir nepriklausomai kiti mokslininkai), nagrinėdamas Maxwell'o lygtis atskaitos sistemoje, judančioje tiesiai ir tolygiai eterio atžvilgiu, gavo naujas koordinacinių ir laiko transformacijas, kurios nekeitė šių lygčių pavidalo. Kiekvie-

noje atskaitos sistemoje teko įvesti atskirą laiką, kurią H. Lorentz'as pavadino vietiniu laiku, bet jį laikė formaliu dydžiu, neturinčiu fizikinės prasmės. H. Poincaré suformulavo bendrąjį reliatyvumo principą, galiojantį ne tik mechaniniams, bet ir elektromagnetiniams reiškiniams. Šiuos ieškojimus apibendrino A. Einstein'as, sukūręs nuoseklią specialiąją reliatyvumo teoriją. Jis pagrindė ir įteisino naują erdvės ir laiko sampratą, nustatė bendrą sąryšį tarp masės ir energijos. H. Minkowski panaudojo keturmatį erdvėlaikį specialiosios reliatyvumo teorijos lygtims užrašyti bendresne forma. Jis įrodė, kad pereinant nuo vienos atskaitos sistemos prie kitos, fizikinių įvykių erdvės ir laiko koordinatės kinta, bet išlieka nepakitusi jų kombinacija, atitinkanti atstumą tarp įvykių (pasaulinių taškų) keturmatėje erdvėje.

Po specialiosios reliatyvumo teorijos sukūrimo A. Einstein'as ėmėsi ją apibendrinti neinerčinėms atskaitos sistemoms. Jis įžvelgė, kad tokiu būdu galima sukurti reliatyvistinę gravitacijos teoriją. Tas darbas su pertraukomis truko maždaug aštuonerius metus. Teorijos pagrindą sudarė apibendrintas reliatyvumo bei gravitacinės ir inercinės masių ekvivalentiškumo principai. Remdamasis pastaruoju, A. Einstein'as padarė išvadą, kad dvi atskaitos sistemos – nejudanti sistema, kurioje veikia gravitacijos jėga, ir judanti su pagreičiu sistema – yra ekvivalentiškos fizikiniu požiūriu (esant nevienalyčiam laukui, tai galioja lokaliai – nedidelėje erdvėje).

Ilgą laiką A. Einstein'as, kaip ir kiti mokslininkai, tuo pačiu metu kūrė reliatyvistinę gravitacijos teoriją, manė, kad gravitacijos lauko potencialas yra skaliarinis dydis (tai atitinka euklidinę erdvę). A. Einstein'as pirmasis suprato, kad erdvėje esantys kūnai iškreipia ją ir ji tampa neeuklidinė, todėl reikia naudoti daugiakomponentį potencialą. Tada, pasinaudojus neeuklidinės geometrijos ir tenzorinės analizės matematiniu aparatu, jam pavyko užrašyti pagrindines bendrosios reliatyvumo teorijos lygtis.

Ši teorija paaiškino anomalų Merkurijaus orbitos sukimąsi. Taip pat A. Einstein'as nurodė du kitus stebėjimais patikrinamus reiškinius – žvaigždės spindulio nukrypimą, jam sklindant pro Saulę, ir spektro linijų raudonąjį poslinkį gravitacijos lauke; jie po keleto metų buvo išmatuoti, nors ir nedideliu tikslumu. A. Einstein'as ir kiti mokslininkai pritaikė bendrąją reliatyvumo teoriją Visatos modeliams ir jos evoliucijai nagrinėti (žr. 18 skyrių).

Ypatingą reliatyvumo teorijos reikšmę nulėmė ne tiek jos aprašomi specialūs efektai, stebimi esant dideliems judėjimo greičiams ar labai stipriems gravitacijos laukams, kiek tos teorijos atlikta pagrindinių fizikos sąvokų – erdvės, laiko, masės ir energijos – revizija, atskleisti ryšiai tarp jų. Tos originalios, prieštaraujančios tradiciniam požiūriui idėjos sukėlė didžiulį susidomėjimą, bet kartu ir karštas diskusijas bei daugelį nesėkmingų mėginimų „ištaisyti“ reliatyvumo teoriją ar kurti alternatyvias teorijas.

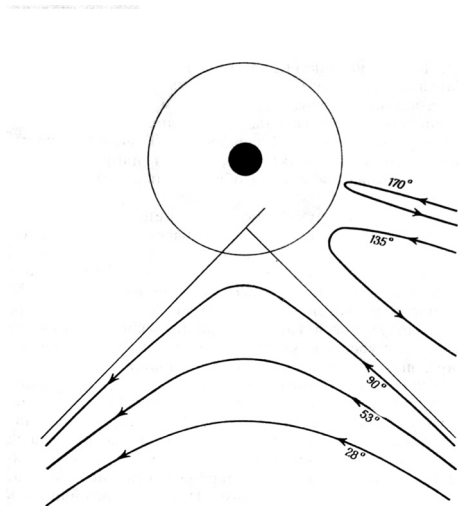
XV. KVANTINĖ MECHANIKA. ATOMŲ IR MOLEKULIŲ FIZIKA

15.1. PLANETINIS ATOMO MODELIS

Vienas iš radioaktyvumo tyrimo pradininkų E. Rutherford'as, padirbėjęs keletą metų J. Thomson'o laboratorijoje, o vėliau – viename Kanados universitete, 1907 m. tapo Mančesterio universiteto profesoriumi. Čia jo vadovaujama fizikos laboratorija netrukus virto pagrindiniu atomų tyrimo centru. Ypač daug dėmesio Rutherford'as skyrė eksperimentams su α spinduliais. Jis įrodė, jog tai yra helio atomai, išplėtojo būdą atskiroms α dalelėms registruoti stebint jų sukeltimus žybtelėjimus pataikius į cinko sulfatu padengtą ekraną. 1908 m. buvo pradėti eksperimentai tiriant α dalelių perėjimą per ploną metalo foliją. Rutherford'o bendradarbiai H. Geiger'is ir E. Marsden'as pastebėjo, kad retkarčiais – maždaug viena dalelė iš 10 000 – atšoka nuo folijos atgal. Tas nelauktas rezultatas visai nesiderino su J. Thomson'o atomo modeliu. Vėliau E. Rutherford'as prisiminė: „Tai buvo, ko gero, pats netikėčiausias įvykis mano gyvenime. Tai buvo taip pat neįtikėtina, kaip šovus 15 colių artilerijos sviediniu į ploną popieriaus lapą, jus sužeistų rikošetu atšokęs sviedinys. Pagalvojęs aš supratau, kad sklaida atgal turi būti vienintelio susidūrimo



15.1 pav. E. Rutherford'as, klausantis pranešimo.



15.2 pav. α dalelių, joms susiduriant su atomu, trajektorijos, apskaičiuotos E. Rutherford'o.

rezultatas ir, atlikęs skaičiavimus, įsitikinau, kad neįmanoma gauti ko nors panašaus, jei nenagrinėsime sistemos, kurioje didžioji dalis atomo masės yra sukoncentruota mažyčiame branduolyje.“

Taip 1911 m. E. Rutherford'as pasiūlė planetinį atomo modelį, primenantį Saulės sistemą: atomą sudaro nedidelis masyvus teigiamojo krūvio branduolys, aplink kurį sukasi elektronai. Rutherford'as matematiškai aprašė α dalelės sklaidą tokiu atomu (15.2 pav.), įvedė pagrindinę dalelių sklaidos charakteristiką – diferencialinį sklaidos skerspjūvį ir nagrinėjamu atveju nustatė jo priklausomybę nuo atomo branduolio krūvio, dalelės greičio ir sklaidos kampo. Eksperimentai patvirtino tuos dėsningumus ir leido įvertinti branduolio krūvį: jis lygus maždaug pusei atominės masės vertės (atominiais vienetais). Vėliau Rutherford'as, remdamasis savo ir kitų mokslininkų tyrimais, padarė išvadą, kad branduolio krūvis yra lygus elemento eilės numeriui.

Planetinio atomo idėja nebuvo visai nauja, antai 1904 m. japonų mokslininkas H. Nagaoka siūlė į Saturno planetą panašaus atomo su elektronų žiedais vaizdinį, tačiau tada tai buvo vienas iš daugelio galimų variantų, nesulaukęs pripažinimo dėl tokio atomo nestabilumo (anot klasikinės elektrodinamikos, besisukantis elektronas turi spinduliuoti elektromagnetines bangas ir, netekęs energijos, galų gale nukristi ant branduolio). Tik akivaizdūs eksperimentiniai faktai ir Rutherford'o pateiktas teorinis jų pagrindimas įteisingo klasikinės fizikos požiūriu prieštarą planetinį atomo modelį.

1912 m. į Rutherford'o laboratoriją stažuotėn atvyko jaunas danų fizikas, neseniai apgynęs daktaro disertaciją, Niels'as Bohr'as (1885–1962).

N. Bohr'as, medicinos profesoriaus sūnus, dar studijų metais pasižymėjo mokslininko talentu, už darbą apie skysčio srovės virpesius pelnė Danijos karališkosios mokslų akademijos aukso medalį. Kaip matysime toliau, jis savo paties darbais, taip pat gebėjimu sutelkti kitus fizikus kūrybiniais ieškojimams atliko esminį vaidmenį, atskleidžiant pagrindinius mikrofizikos dėsnius, kuriant naująją atomo ir atomo branduolio fiziką. Įdomu pažymėti, kad N. Bohr'o darbus iš branduolio teorijos pratęsė jo sūnus Aage, kuris, kaip ir tėvas, tapo Nobel'io premijos laureatu (N. Bohr'as iš viso turėjo penkis sūnus).



Rutherford'o atomo modelio prieštaravimas klasikinei elektrodinamikai N. Bohr'ui

15.3 pav. Niels Bohr.

atrodė ne trūkumas, o pranašumas. Pagrindinė jo mintis buvo ta, kad planetinio atomo stabilumą lemia kvantų egzistavimas. Teisingą kelią N. Bohr'ui nurodė vandenilio spektro dėsningumas – empirinė formulė, išreiškianti spektro linijų dažnius dviejų dydžių R/n_1^2 ir R/n_2^2 skirtumu (čia R – Rydberg'o konstanta, o n_1, n_2 – sveikieji skaičiai). Bohr'as padarė išvadą, kad elektronas spinduliuoja šviesą ne sukdamasis savo orbita, o tik peršokdamas iš vienos orbitos į kitą. Jis postulavo, kad atome egzistuoja tam tikros stacionariosios orbitos, kuriomis judėdamas elektronas savo energijos nekeičia. O peršokdamas tarp orbitų, kuriose elektrono energija yra E_1 ir E_2 , elektronas išspinduliuoja fotoną, jei $E_1 > E_2$, arba turi jį sugerti, jei $E_1 < E_2$. Fotono energija tenkina energijos tvermės dėsnį:

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

Remdamasis tais postulatais, klasikiniu sąryšiu tarp dalelės sukimosi aplink branduolį kampinio dažnio ω ir jos energijos E , Bohr'as 1913 m. išplėtojo vandenilio atomo teoriją: gavo išraiškas orbitų spinduliams ir elektrono bei spektro linijų energijoms. Rezultatai gerai atitiko atomo dydžio, jonizacijos potencialo ir linijų dažnių eksperimentinius duomenis. Net kvantų teorijos skeptikai pripažino, jog visa tai negali būti atsitiktinis sutapimas.

A. Sommerfeld'as suformulavo kelias kvantavimo sąlygas atskiriems elektrono laisvės laipsniams, tai leido pereiti nuo N. Bohr'o įvestų apskritiminių orbitų prie bendresnių elipsės pavidalo orbitų. Judėjimo kiekio momento projekcijos į tam tikrą ašį kvantavimas reiškė, kad elektrono judėjimo kiekio momentas gali būti nukreiptas tik tam tikromis kryptimis erdvėje. Šį keistą rezultatą eksperimentiškai patvirtino 1922 m. O. Stern'as ir W. Gerlach'as. Dalelė, turinti judėjimo kiekio momentą, kartu įgyja ir magnetinį momentą. Stern'as ir Gerlach'as stebėjo sidabro atomų pluoštelio judėjimą tarp stipraus magneto polių. Atomai, sąveikaudami su magnetiniu lauku, išsiskyrė į du pluoštelius, o tai liudijo, kad sidabro atomo magnetinis momentas gali įgyti dvi skirtingas orientacijas išorinio lauko atžvilgiu.

Deja, nei Bohr'ui, nei Sommerfeld'ui nepavyko išplėtoti daugiaelektroninių atomų, netgi helio, teorijos, paaiškinančios sudėtingą jų spektrų struktūrą (Bohr'o teorija, neskaitant vandenilio, daugmaž tiko tik šarminių elementų spektrams interpretuoti).

Vis dar neradamas būdo bendrai kvantinei teorijai sukurti, N. Bohr'as nustatė euristinį principą, nusakantį jos sąryšį su klasikine teorija. Sužadinant elektroną į vis tolimesnę branduoliui orbitą, elektrono energijos „pakopos“ darosi vis mažesnės, t. y. kvantiniai efektai tampa vis silpnesni ir kvantinė teorija turi asimptotiškai pereiti į klasikinę; tai tinka ir spinduliuotės išraiškai. Šis atitikties principas leido pirmą kartą apskaičiuoti spektro linijų intensyvumus.

Kaip parodė H. Moseley, W. Kossel'is ir kiti, svarbią informaciją apie atomo sandarą teikia būdingieji Röntgen'o spektrai, kurie atsiranda vykstant elektronų šuoliams tarp vidinių orbitų. Paprasta šių spektrų struktūra liudijo, kad egzistuoja elektronų orbitų grupės, arba sluoksniai, kurie normaliomis sąlygomis būna užpildyti, o Röntgen'o spektrai atsiranda išmušus iš tokio užpildyto sluoksnio elektroną ir į laisvą vietą peršokant kito užpildyto sluoksnio elektronui. Apie išorinių sluoksnių palaipsni užsipildymą liudijo cheminių savybių periodiškumas. Be to, Röntgen'o spektrų tyrimai patvirtino, kad branduolio krūvis, o kartu ir elektronų skaičius atome yra lygūs elemento numeriui periodinėje lentelėje.

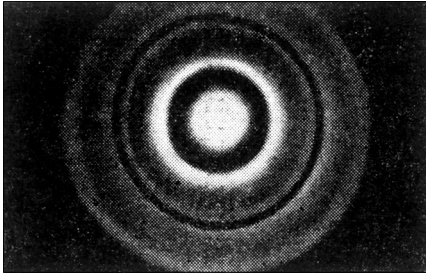
Remdamasis spektroskopijos duomenimis, nustatytais kvantiniais dėsningumais bei energijos minimumo principu, N. Bohr'as ėmėsi nagrinėti atomo elektronų sluoksnių užpildymą didėjant elemento eilės numeriui. 1922 m. jis Getingeno universitete šešetą vakarų iš eilės aiškino periodinę elementų sistemą atomų sandaros požiūriu, o septintąją dieną įvyko diskusijos. Mokslo istorikai tai vadina Bohr'o festivaliu. Jis teisingai išvelgė pagrindinius atomo sandaros bruožus ir jų ryšį su periodinės elementų sistemos savybėmis, nors elektronų skaičių kai kuriuose sluoksniuose ar užpildymo tvarką vėliau teko tikslinti.

1923 m., tiriant Röntgen'o spindulių sklaidą atomais, buvo gautas akivaizdus fotonų, kaip realių dalelių, egzistavimo įrodymas, nulėmęs galutinį jų pripažinimą. Jaunas amerikiečių fizikas A. Compton'as pastebėjo, kad sklaidos metu Röntgen'o spinduliai gali pakeisti ne tik kryptį, bet ir dažnį, t. y. savo energiją. Tai Compton'as paaiškino kaip dviejų dalelių – fotono ir elektrono – susidūrimą, kuriam galioja energijos ir judėjimo kiekio tvermės dėsniai (kadangi Röntgen'o spindulių fotono energija gerokai viršija elektrono ryšio energiją, tai buvo galima nagrinėti fotono susidūrimą su atskiru elektronu, o ne su visu atomu). Compton'o išvadą patvirtino atatrąkos elektronų, po smūgio išlekiančių iš atomų, registravimas.

Taigi trečiojo dešimtmečio pradžioje atomo elektronų bei fotonų kvantinės savybės leido paaiškinti kai kurias atomų ir jų spektrų savybes, deja, teorija dar buvo dalinė bei prieštaringa, nes rėmėsi ir kvantinėmis idėjomis, ir klasikine fizika (antai elektronas buvo laikomas judančiu orbita pagal klasikinius dėsnius, o spinduliuojančiu šuolio į kitą orbitą metu – pagal kvantinius dėsnius).

15.2. KVANTINĖS MECHANIKOS SUKŪRIMAS

Fotoefekto ir ypač Compton'o efekto interpretacija, remiantis šviesos dalelių – fotonų egzistavimu, vėl gražino korpuskulinę šviesos teoriją į fiziką, nors



15.4 pav. G. Thomson'o gauta elektronų difrakcijos nuotrauka.

interferencijos ir difrakcijos reiškinius ir toliau aiškino tik jai prieštaraujanti – klasikinės fizikos požiūriu – banginė teorija. Pasak W.L. Bragg'o, fizikai tris dienas per savaitę turėjo tikėti korpuskuline, o likusias dienas – bangine teorija.

Šį paradoksą ėmėsi spręsti jaunas ambicingas fizikas, kilmingos šeimos palikuonis Lui de Broglie (1892–1987). Užuoat aiškinęs dvejojumą kaip išskirtinę šviesos

savybę, de Broglie iškėlė drąsią hipotezę, kad banginės savybės būdingos ir medžiagos dalelėms, tarp jų ir elektronui. Ta idėja jam kilo sugretinus du faktus: sveikieji skaičiai kaip kvantiniai skaičiai yra įvesti stacionariosiems elektronų orbitoms atome aprašyti, o tokie skaičiai fizikoje pasirodo tik bangų interferencijos ir savųjų svyravimų teorijoje. 1923 m. de Broglie paskelbė tris straipsnius, kuriuos po metų apibendrino savo daktaro disertacijoje. Jis postulavo, kad su kiekviena dalele yra susijęs kažkoks banginis procesas. Apibendrinęs fotonui galiojantį sąryšį tarp judėjimo kiekio ir energijos bet kokiai mikrodalelei, de Broglie išreiškė dalelės bangos ilgį λ per jos masę m ir greitį v :

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

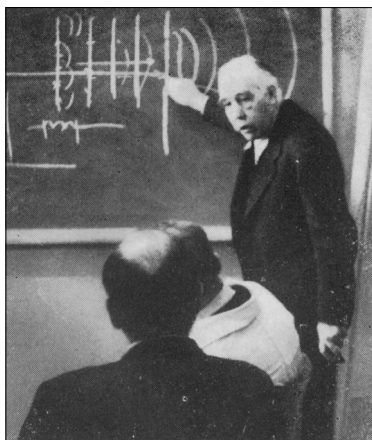
čia h – Planck'o konstanta. Pritaikius šią formulę stacionariosiems Bohr'o orbitoms, paaiškėjo, kad jose išsitenka sveikasis bangų skaičius, t. y. stacionariosios yra tos orbitos, kuriose susidaro stovinčiosios bangos. (Fizikai juokavo, kad elektronas pats save gaudo už uodegos.) Aiškindamas dalelės ir su ja susijusios bangos sąryšį, de Broglie dar naudojosi klasikiniiais vaizdiniais; anot vienos iš jo interpretacijų, dalelė yra apsupta bangos, kuri veda dalelę („banga pilotas“).

L. de Broglie nurodė, kad jo hipo-



15.5 pav. Teorinės fizikos institutas Kopenhagoje.

tezę galima patikrinti stebint elektronų difrakciją. Tokį eksperimentą 1927 m. atliko amerikiečių fizikai C. Davisson'as ir L. Germer'is bei nepriklausomai anglas G. Thomson'as, elektrono atradėjo J. Thomson'o sūnus (tėvas gavo Nobel'io premiją aptikęs elektroną kaip dalelę, o sūnus – aptikęs jį kaip bangą). Vėliau O. Stern'as preciziniais eksperimentais patvirtino ir atomų bei molekulių banginę prigimtį.



15.6 pav. Diskusija N. Bohr'o seminare.

Esminis L. de Broglie rezultatas pradėjo lemiamą kvantinės mechanikos kūrimo etapą. Jo metu svarbiausiu idėjų kristalizacijos ir kolektyvinių svarstymų bei ieškojimų centru tapo 1921 m. N. Bohr'o įkurtas ir jo vadovaujamas Teorinės fizikos institutas Kopenhagoje. N. Bohr'o erudicija ir gebėjimas sudaryti kūrybinę atmosferą, jo kritiška, bet įžvalgi ir geranoriška naujų idėjų analizė traukė į šį institutą atomo tyrėjus, ypač jaunus talentus. Čia dirbo W. Heisenberg'as, W. Pauli, atvykdavo aptarti rezultatų ar iškilusių problemų M. Born'as, P. Dirac'as, E. Schrödinger'is ir kiti kvantinės mechanikos kūrėjai.

Dar tik pradedant kurti naują teoriją, buvo padaryti du svarbūs atradimai. 1925 m. pradžioje Wolfgang'as Pauli (1900–1958) atrado jo vardu dabar vadinamą draudimo principą, teigiantį, kad atome du elektronai negali užimti tos pačios būsenos, aprašomos vienodu kvantinių skaičių rinkiniu. Tai pagrindė elektronų sluoksnių sandarą ir užpildymą atome. O 1925 m. rudenį S. Goudsmit'as ir G. Uhlenbeck'as, norėdami paaiškinti spektro linijų suskilimą magnetiniame lauke, įvedė naują elektrono charakteristiką – jo savąjį judėjimo kiekio momentą – sukini (bei su juo susijusį magnetinį momentą). Sukinio (angl. *spin*) pavadinimas buvo parinktas manant, kad tas momentas atsiranda dėl elektrono sukimosi apie savo ašį; vėliau to klasikinio modelio buvo atsisakyta, ir sukiny s liko grynai kvantine elektrono ir kitų mikrodalelių savybe, neturinčia analogo klasikinėje fizikoje.

Jaunas vokiečių fizikas Werner'is Heisenberg'as (1901–1976) pirmasis ėmėsi kurti nuoseklią kvantinę mechaniką. Jis nusprendė nenagrinėti elektrono judėjimo orbita ar jo šuolio iš vienos orbitos į kitą, kaip nestebimų reiškinių, ir ėmėsi plėtoti teoriją, kuri aprašytų spektro linijų dažnių ir intensyvumų galimas vertes. Užrašęs jas skaičių lentelių pavidalu, Heisenberg'as pastebėjo, kad tokiems dydžiams negalioja komutacijos sąlyga – sandauga priklauso nuo daugiklių eilės tvarkos. M. Born'as atkreipė dėmesį, kad



15.7 pav. Werner Heisenberg.

panašūs nekomutuojantys dydžiai – matricos – yra naudojami matematikoje. Remdamiesi pradinėmis W. Heisenberg'o idėjomis, grupė teoretikų – jis pats, M. Born'as, P. Jordan'as, P. Dirac'as (1902–1984) ir kiti teoretikai – 1925–1926 m. išplėtojo matricinę kvantinę mechaniką, įvedė ermitinius operatorius fizikiniams dydžiams aprašyti, nustatė elektrono koordinatės ir judėjimo kiekio operatoriaus perstatymo sąryšį ir juo naudodamiesi – judėjimo kiekio momento kvadrato ir momento projekcijos kvantavimo sąlygas. Tie rezultatai buvo sėkmingai pritaikyti spektrams interpretuoti.

Kitu būdu – remdamasis L. de Broglie idėja apie bangines dalelių savybes – kvantinę mechaniką ėmėsi kurti austrų fizikas Erwin'as Schrödinger'is (1887–1961). Jo darbe, paskelbtame 1926 m. pradžioje, buvo įvesta elektrono banginė funkcija ir jai užrašyta diferencialinė lygtis. Spręsdamas tą lygtį vandenilio atomui, Schrödinger'is gavo leistinas elektrono energijos vertes, kurios sutapo su Bohr'o rezultatais. Po to kas keletą mėnesių Schrödinger'is skelbė naujus straipsnius, kuriuose apibendrinė savo lygtį kitoms atominėms sistemoms bei nestacionariam atvejui ir rado kai kuriuos jos sprendinius. Rezultatai sutapo su gautaisiais matricinės mechanikos metodu. Kilo klausimas, kaip susieti tuos du teorijos variantus ir kokia yra banginės funkcijos prasmė.



15.8 pav. Erwin Schrödinger.

Į pirmąjį klausimą atsakė pats E. Schrödinger'is – jis įrodė, kad banginė ir matricinė mechanikos yra ekvivalentiškos ir papildo viena kitą: žinant bangines funkcijas, galima apskaičiuoti fizikinių dydžių operatorių matricinius elementus. Taigi nuo 1926 m. vidurio kvantinė mechanika jau plėtojama kaip vieninga teorija.

E. Schrödinger'is buvo linkęs manyti, kad egzistuoja medžiagos bangos, o dalelės yra tik tų bangų paketai. Tokius paketus iš tikrųjų įmanoma sudaryti, tačiau jie turėtų greitai išsklisti bėgant laikui.

Banginės funkcijos prasmę išvelgė M. Born'as: šios funkcijos modulio kvadratas (funkcija gali būti ir kompleksinė) reiškia tikimybės tankį. Jo integralas pagal tam tikrą tūrį lygus tikimybei rasti dalelę šiame tūryje. Taigi Born'as padarė svarbią išvadą: mikrodalelės judėjimas nėra griežtai apibrėžtas, o yra tikimybinio pobūdžio.

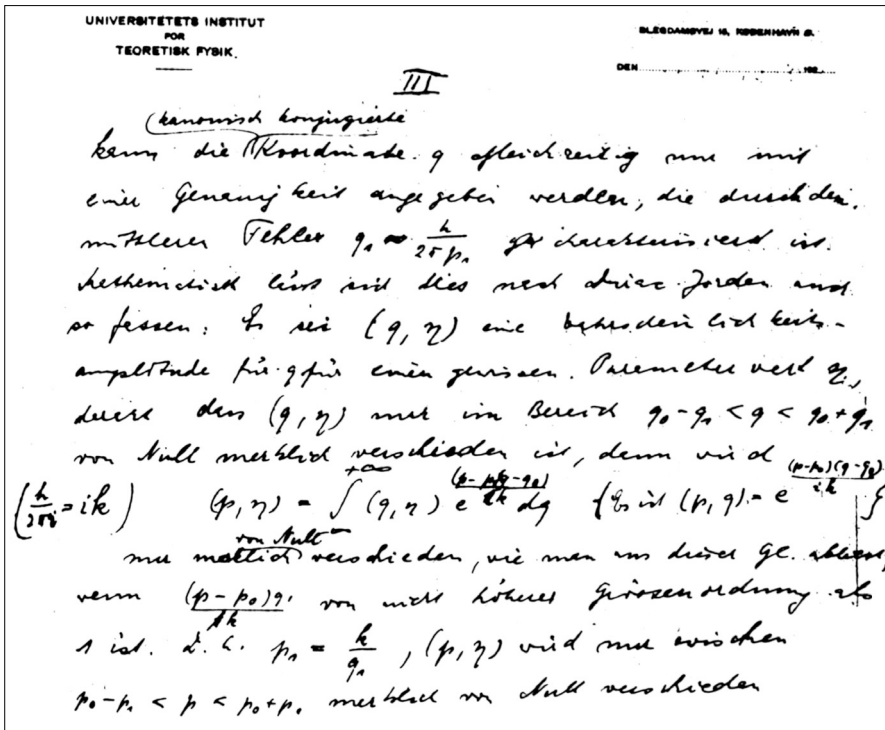
Šią idėją 1927 m. apibendrinio ir pagrindė W. Heisenberg'as. Jis suformulavo vieną svarbiausių kvantinės mechanikos principų – neapibrėžtumo principą, kuris teigia, kad fizikiniai dydžiai, kurių operatoriai nekomutuoja tarpusavyje, negali vienu metu turėti griežtai apibrėžtų verčių (jų neapibrėžtumų sandauga yra ne mažesnė negu $h/2\pi$). Būtent tokie dydžiai yra mikrodalelės koordinatė ir atitinkama judėjimo kiekio dedamoji. Todėl neišmanoma tiksliai numatyti dalelės ateities, o tik jos tikimybę. Taigi neapibrėžtumo principas atskleidė mikrodalelių prigimtį, skirtingą negu klasikinių dalelių, ir paaiškino dalelės ir bangos dvejojimą: mikrodalelė, priklausomai nuo eksperimento sąlygų, gali pasireikšti kaip dalelė (kai lokalizuojama jos padėtis erdvėje) arba kaip banga (kai eksperimente gana tiksliai nustatomas jos greitis (judėjimo kiekis), bet tampa neapibrėžta vieta erdvėje).

Taigi W. Heisenberg'as, būdamas tik 25–27 metų amžiaus, padarė du esminius žingsnius kuriant kvantinę mechaniką – išplėtojo jos matricinę formą ir suformulavo neapibrėžtumo principą (už tai jis, turėdamas 32 metus, pelnė Nobel'io premiją). Pabrėždamas mąstymo drąsą, būtiną naujoms problemoms spręsti, W. Heisenberg'as rašė: „Pradedant kiekvieną, visai naują pažinimo etapą mums pavyzdžiu yra Columbus, kuris išdrįso palikti jam žinomą pasaulį vedamas beveik beprotiškos vilties už jūrų rasti žemę.“

Vėliau W. Heisenberg'as taip pat sėkmingai dirbo atomo branduolio fizikoje, išplėtojo branduolio, sudaryto iš protonų ir neutronų, teoriją. Jis įvedė pagrindinį dydį, aprašantį mikrodalelių smūgius, – sklaidos, arba S, matricą. Antroje gyvenimo pusėje W. Heisenberg'as atkakliai mėgino sukurti bendrą elementariųjų dalelių teoriją, gauti „pasaulio lygtį“, bet jo, kaip ir A. Einstein'o, pastangos išvelgti bendriausius gamtos dėsningumus buvo per ankstyvos, dar neparengtos mokslo raidos.

Neapibrėžtumo principą filosofiškai pagrindė 1927 m. N. Bohr'as, suformulavęs papildomumo principą. Skirtingai nuo klasikinės fizikos, kur dalelės ir bangos priešybių negalima suderinti viename modelyje, mikrofizikoje dėl neapibrėžtumo principo priešybės ne paneigia, bet papildo viena kitą.

Elektronams, judantiems stipriame atomo branduolio elektriniame lauke, turi būti gana svarbi masės priklausomybė nuo greičio ir kiti reliatyvistiniai efektai. Tad, vos užrašius Schrödinger'io lygtį, iškilo jos reliatyvistinio apibendrinimo problema. Keletas mokslininkų nepriklausomai gavo relia-



15.9 pav. W. Heisenberg'o laiškas W. Pauli, kuriame pranešama apie atrastą sąryšį tarp mikrodalelės koordinatės ir judėjimo kiekio neapibrėžtumų.

tyvistinę antros eilės diferencialinę lygtį banginei funkcijai, bet ji pasirodė netinkama elektronui (vėliau paaiškėjo, kad ji aprašo daleles su nuliniu sukiniu). 1928 m. P. Dirac'as įrodė, kad apibendrinimas reikalauja esminių pakeitimų – padvigubinti banginės funkcijos komponentių skaičių ir perrašyti pačią diferencialinę lygtį. Remdamasis ja, Dirac'as nuosekliai teoriškai įvedė elektrono sukinį.

Sukinys pasirodė besanti viena iš esminių dalelės charakteristikų, lemianti daugelio dalelių sistemos statistines savybes ir lygmenų užpildas. Dar 1924–1925 m. S. Bose ir A. Einstein'as aprašė fotonų ansamblio savybes (Bose ir Einstein'o statistika), kaip vėliau paaiškėjo, būdingas ir kitoms dalelėms su sveikuoju sukiniu, tad jos visos vadinamos bozonais. Elektronų (ir kitų pusinį sukinių turinčių dalelių) sistemas aprašančią statistinę teoriją 1926 m. išplėtojo E. Fermi ir P. Dirac'as (Fermi ir Dirac'o statistika). Iš jos išplaukė negalimumas dviem tokioms dalelėms (fermionams) užimti tos pačios būsenos, t. y. apibendrintas Pauli principas. Antra vertus, bozonams tas principas negalioja; anot Bose ir Einstein'o statistikos, bet koks bozonų skaičius gali užimti tą pačią, pavyzdžiui, žemiausią būseną.

Taigi 1923–1927 m. per gana trumpą laikotarpį kolektyvinėmis

pastangomis buvo nustatyti visi svarbiausi kvantinės mechanikos principai. N. Bohr'o institute vykusių diskusijų metu buvo išplėtota kvantinės mechanikos interpretacija (Kopenhagos interpretacija). Jos pagrindą sudaro tikimybinių banginės funkcijos prasmė, griežto priešastingumo atsisakymas, mikroobjekto būsenos priklausomybė nuo stebėtojo (jo parenkamų eksperimento sąlygų). Tikimybine mikropasaulio reiškinių samprata abejojo kai kurie žymūs fizikai, tarp jų ir A. Einstein'as. Jis mėgino įrodyti tokio požiūrio prieštarumą, sugalvoti eksperimentines situacijas, kurios tai paneigtų. N. Bohr'as išradingai gynė Kopenhagos interpretaciją, atremdavo daugelį Einstein'o argumentų (aišku, ne visi jo siūlymai galėjo būti iš karto patikrinami). L. de Broglie, D. Bohm'as ir kiti fizikai stengėsi kurti deterministinę kvantinę fiziką, buvo iškelta „paslėptų parametrų“ idėja: tikimybiniis aprašymas atsiranda dėl to, kad mes nežinome kai kurios svarbios informacijos apie daleles. Vis dėlto šie mėginimai pakeisti kvantinės mechanikos sampratą nebuvo sėkmingi.

Vienas iš A. Einsteino pasiūlytų kvantinės mechanikos paradoksų, kuriuo siekta įrodyti paslėptų parametrų egzistavimą, XX a. pabaigoje buvo realizuotas eksperimentiškai ir tapo ypatingo reiškinio (kvantinės teleportacijos) demonstracija. Tačiau tai pasirodė suderinama su tikimybine kvantinės mechanikos interpretacija. Jei du sąveikaujantys kvantiniai objektai yra aprašomi bendra bangine funkcija, tai jų tarpusavio ryšys išlieka ir objektams nutolus makroskopiniu atstumu. Tuo paremtas neįprastas būdas perduoti informaciją ir buvo pavadintas kvantine teleportacija. Pirmą kartą ji pademonstruota 1997 m., naudojantis dviejų fotonų kvantine sietimi (D. Bouwmeester'is ir kt.), o vėliau įgyvendinta ir eksperimentuose su elektronais, atomais, jonais, nutolusiais netgi šimto kilometrų atstumu. Šį reiškinį numatoma pritaikyti kuriant naujas kvantines technologijas.

Kvantinė mechanika iš esmės praplėtė mokslo dėsnių sampratą ir jų pažinimo galimybes, tad ji turėjo didelės įtakos bendrai pažinimo teorijai ir XX a. filosofinėms idėjoms.

15.3. ATOMŲ IR MOLEKULIŲ FIZIKA

Kvantinė mechanika sudarė atomų ir molekulių teorijos pagrindus, tačiau, kaip ir kuriant klasikinę mechaniką, ant tų pagrindų dar reikėjo išplėtoti pačią teoriją.

Schrödinger'io lygtis yra išsprendžiama algebriskai tik vienelektroniam atomui, o daugiaelektroniams atomams netgi skaitmeninis jos sprendimas yra praktiškai neįmanomas (atomo su N elektronų banginė funkcija priklauso nuo $4N$ kintamųjų). Vis dėlto netrukus atomo teorijoje buvo sukurta paprastų realistiškų modelių ir efektyvių artutinių metodų.

Daugiaelektroniams atomams aprašyti vaisinga buvo N. Bohr'o idėja, kad elektronai atome išsaugo savo individualumą, todėl atomo banginę funkciją galima sudaryti iš vienelektronių banginių funkcijų. N. Bohr'o mokinys D. Hartree 1927 m. pasiūlė, naudodamasis pusiau klasikiniu modeliu, o V. Fokas 1930 m. nuosekliai pagrindė, remdamasis variaciniu principu, metodą vienelektronėms banginėms funkcijoms skaičiuoti (Hartree ir Foko metodas). Pagrindinė jo prielaida, kad kiekvienas elektronas juda sferiškai simetriiniame branduolio ir kitų elektronų sukurtame lauke. J. Slater'is sudarė atomo banginę funkciją, kaip determinantą iš vienelektronių funkcijų (1929 m.).

E. Wigner'is pritaikė atomo būsenoms ir banginėms funkcijoms nagrinėti grupių teoriją, kuri leido atsižvelgti į elektronų sluoksnių simetrijos savybes. G. Racah ir kiti mokslininkai tas idėjas išplėtojo sudėtingiems atomams su atvirais elektronų sluoksniais.

Vis dėlto, naudojantis vienelektroniu modeliu, dažniausiai neįmanoma gauti pakankamai tikslių energijos ir kitų dydžių verčių, reikalingų eksperimentiniams spektrams interpretuoti, tad XX a. antroje pusėje pagrindinė atomo teorijos kryptis buvo daugiaelektroninių modelių ir metodų kūrimas. Dar 1926 m. W. Heisenberg'as, nagrinėdamas helio atomą, pasiūlė taikyti perturbacijų teoriją: padalyti hamiltonianą į pagrindinį paprastesnį narį (juo naudojantis, sudaroma banginių funkcijų bazė) ir antrąjį mažesnį, kurio indėlis skaičiuojamas skleidžiant ieškomus dydžius mažėjančių narių eilute. Kitas daugelio mokslininkų plėtotas daugiaelektronis metodas atsižvelgia į tai, kad elektronų konfigūracija (jų pasiskirstymas sluoksniuose) yra tik apytikris modelis, tad atomo banginė funkcija skleidžiama daugelio konfigūracijų funkcijomis. Dar sunkesnė problema – reliatyvistinės atomo teorijos apibendrinimas daugiaelektroniam atomui, nes nėra žinomas tikslus dviejų elektronų sąveikos reliatyvistinis hamiltonianas.

Atomai, kaip sudėtingos daugelio dalelių sistemos, palaipsniui atskleidavo vis naujas netikėtas savybes. 1925 m. P. Auger aptiko jo vardu dabar vadinamą reiškinį – stipriai sužadinto atomo su vakansija vidiniame elektronų sluoksnyje autojonizaciją (savaiminę jonizaciją). Panašus procesas gali vykti ir sužadinus du išorinius atomo elektronus. Kai autojonizacija galima, ji sėkmingai konkuruoja su radiaciniu sužadintosios būsenos suirimu.

Tiriant Saulės spektrą, buvo aptikti daugiakrūviai jonai, netekę ke-liolikos elektronų. Dar didesnio krūvio jonai buvo gauti laboratorijoje, o fokusuojant galingų lazerių šviesą, netgi nuo urano atomo įmanoma atplėšti visus jo elektronus. Antra vertus, dar ketvirtajame dešimtmetyje buvo atrasti neigiamieji jonai – kai kurie atomai gali prisijungti papildomą elektroną, tiesa, tokia sistema turi tik vieną ar keletą stabilių būsenų. Sužadinus išorinį

atomo elektroną, galima gauti visą seriją sužadintųjų būsenų (Rydberg'o serija). Laboratorijose buvo sukurtos būsenos su pagrindiniu kvantiniu skaičiumi $n \approx 300$ (didesnį sužadinimą sunku pasiekti dėl labai greito tokių būsenų suirimo vykstant atomų smūgiams). Dar stipriau sužadintų atomų aptikta kosmose. Jie jau būna bakterijos dydžio, o viduje gali lakioti kiti atomai.

XX a. pabaigoje buvo sukurti eksperimentiniai metodai, leidžiantys sulėtinti ir izoliuoti specialiose gaudyklėse atskirus atomus. Tai suteikė galimybę atlikti precizinius kvantinės mechanikos eksperimentus, matavimus netgi 10^{-13} proc. tikslumu.

Nors kvantinė mechanika buvo sukurta nagrinėjant atomo elektronų sluoksnius, tai yra bendra teorija, aprašanti bet kokių mikroobjektų savybes ir sąveiką. Apie atomo branduolio, elementariųjų dalelių, kvantinės kietojo kūno fizikos raidą rašoma tolesniuose skyriuose, o čia trumpai paminėsime kvantinę molekulių teoriją, kuri permetė tiltą tarp fizikos ir chemijos.

Kvantinė molekulių teorija pradėta kurti 1927 m., kai F. London'as ir W. Heitler'is pritaikė kvantinės mechanikos metodus paprasčiausiai vandenilio molekulei (H_2) nagrinėti. Jų darbe buvo atskleista kovalentinio ryšio prigimtis – atomus susieja bendra elektronų pora, kurių sukiniai yra nukreipti į priešingas puses. Tais pačiais metais M. Born'as ir R. Oppenheimer'is pagrindė adiabatinių artinį: kadangi branduolių masės yra 3–4 eilėmis didesnės negu elektronų, juos galima nagrinėti nejudančių branduolių lauke, o po to, apskaičiavus elektronų bangines funkcijas, tikslinti atomų išsidėstymą molekulėje ir nagrinėti jų svyravimus bei sukimašį.

1927–1929 m. F. Hund'as ir R. Mulliken'as išplėtojo molekuliinių orbitalių metodą. Jis remiasi prielaida, kad molekulėje egzistuoja vienelektronės būsenos, aprašomos vienelektronėmis banginėmis funkcijomis – molekulinėmis orbitalėmis. Iš jų yra sudaroma visos molekulės banginė funkcija. Molekuliinių orbitalių pavidalas lemia molekulių formą ir cheminių reakcijų ypatybes.

Deja, kvantmechaniniai molekulių skaičiavimai yra daug sunkesni negu atskirų atomų, nes molekulėje nebėra sferinės simetrijos ir pati sistema gerokai sudėtingesnė, ypač daugiaatomė molekulė. Tad jų teorijoje plačiai naudojami empiriniai – iš eksperimentinių duomenų paimti parametrai, netiesiogiai atsižvelgiantys į daugiaelektronius efektus ir tuo būdu padidinantys skaičiavimų tikslumą.

Laisvieji atomai yra fizikos objektas, o molekulės, netgi fizikams sukūrus jų teorijos pagrindus, liko chemijos objektas. Molekuliiniu lygmeniu susijungus dviem mokslams, chemija netapo fizikos dalimi. Molekulių banginių funkcijų bei savybių sudėtingi skaičiavimai, net jeigu jie įmanomi,

ne visada yra būtini ir netgi mažiau efektyvūs negu apytikrės, bet atspindinčios chemijos aprašomo pažinimo lygmens ypatumus, empirinės taisyklės ir sąvokos. Tad molekulių banginių funkcijų charakteristikos nepakeitė tradicinių chemijos sąvokų, tokių kaip cheminis ryšys, valentingumas, joniškumas ir pan.

Fizika nagrinėja fizines molekulių ir jų sistemų savybes, bet kvantinė molekulių teorija, aprašanti chemines jų savybes, yra priskiriama chemijai ir vadinama kvantine chemija.

SANTRAUKA

H. Geiger'io ir E. Marsden'o 1911 m. atlikti eksperimentai tiriant α dalelių perėjimą per ploną metalo foliją parodė, kad kai kurios dalelės gali būti išsklaidytos dideliais kampais. Tuo remdamasis, E. Rutherford'as iškėlė hipotezę, kad atomą sudaro nedidelis masyvus branduolys, apsuptas elektronų debesėlio. Deja, klasikinės elektrodinamikos požiūriu, toks atomas būtų nestabilus – sukdamasis aplink branduolį elektronas turi spinduliuoti elektromagnetines bangas ir, netekęs energijos, nukristi ant branduolio.

N. Bohr'as iškėlė idėją, kad atomo stabilumas yra susijęs su kvantų egzistavimu. Jis postulavo, kad atome egzistuoja stacionariosios elektronų orbitos, kuriomis judėdamas elektronas nekeičia savo energijos. Tik peršokdamas iš vienos orbitos į kitą, jis išspinduliuoja fotoną. Remdamasis šiais postulatais, N. Bohr'as apskaičiavo elektronų orbitas vandenilio atome ir jo spektrą, kuris gerai atitiko matavimų rezultatus. A. Sommerfeld'as patobulino N. Bohr'o teoriją įvedęs elipsines orbitas, aprašomas keliais kvantiniais skaičiais. Papildomos informacijos apie atomą pavyko gauti naudojantis N. Bohr'o suformuluotu atitikties principu, teigiančiu, kad kai kurios labai sužadinto elektrono kvantinės savybės turi atitikti klasikines savybes.

Remdamasis nustatytais kvantiniais dėsningumais ir spektroskopijos duomenimis, N. Bohr'as paaiškino atomo elektronų sluoksnių sandarą ir jos kitimą didėjant elemento eilės numeriui periodinėje lentelėje, nors kai kuriuos jo teiginius vėliau teko patikslinti.

Taigi pradinė kvantinė atomo teorija leido gauti įspūdingų rezultatų, betgi ji buvo ribota (neaprašė sudėtingų atomų spektrų struktūros) ir prieštaringa, nes taikė ir kvantinius, ir klasikinius dėsnius.

Nuoseklią kvantinę mechaniką 1924–1928 m. sukūrė grupė jaunų fizikų – L. de Broglie, W. Heisenberg'as, E. Schrödinger'is, W. Pauli, M. Born'as, P. Dirac'as ir kiti, kuriuos kolektyviniams ieškojimams sutelkė N. Bohr'as. L. de Broglie iškėlė svarbią idėją, kad ne tik šviesai, bet ir medžiagos dalelėms būdingas bangos ir dalelės dvejopumas. S. Goudsmit'as

ir G. Uhlenbeck'as įvedė elektrono savąjį judėjimo kiekio momentą – sukinių. Vėliau paaiškėjo, kad tai yra bendra kvantinė mikrodalelių charakteristika, kuri lemia jų sistemų savybes: vieną būseną, aprašomą kvantinių skaičių rinkiniu, gali užimti bet koks kiekis dalelių su sveikuoju sukiniu, tačiau – tik viena dalelė su pusiniu sukiniu.

Beveik tuo pačiu metu buvo išplėtoti du skirtingi kvantinės mechanikos variantai. 1925 m. W. Heisenberg'as, M. Born'as ir P. Jordan'as atvaizdavo atominius dydžius jų verčių lentelėmis – matricomis – ir įvedė juos atitinkančius operatorius, kurie bendru atveju nekomutuoja tarpusavyje. E. Schrödinger'is, remdamasis L. de Broglie idėja, 1926 m. įvedė elektrono banginę funkciją ir užrašė jai diferencialinę lygtį, kurią apibendrina daugiaelektroniam atomui. E. Schrödinger'is įrodė banginės ir matricinės mechanikų ekvivalentiškumą, o M. Born'as atskleidė banginės funkcijos tikimybinę prasmę. Nereliatyvistinės kvantinės mechanikos pagrindus baigė kurti W. Heisenberg'as, 1927 m. suformulavęs neapibrėžtumo principą, kuris atskleidė mikrodalelių tikimybinio aprašymo bei bangos ir dalelės dvejopumo priežastis. P. Dirac'as išvedė reliatyvistinę lygtį banginei funkcijai; ši lygtis pagrindė elektrono sukinių egzistavimą.

Kvantinė mechanika sudarė atomo teorijos pagrindus, tačiau ją taikant daugiaelektroniams atomams susidurta su dideliais matematiniais sunkumais. Tad atomo teorijos tolesnės raidos pagrindine kryptimi tapo supaprastintų, bet realistiškų modelių ir artutinių metodų kūrimas, kuris tęsiasi ligi šiol. Tuo tikslu buvo panaudotas variacinis principas ir simetrijos savybės, pritaikyta perturbacijų teorija ir kt. Pasirodo, atomai, kaip daugelio dalelių sudėtingos sistemos, gali būti įvairių sužadintųjų ir jonizuotųjų būsenų, kurių susidarymas ir suirimas lemia atominių procesų įvairovę.

Vos sukūrus kvantinę mechaniką, ji buvo pritaikyta ir molekulėms teoriškai aprašyti. Nors molekulinius skaičiavimus apsunkina sferinės simetrijos nebuvimas, kelių ar net daugelio atomų sistemos sudėtingumas, vis dėlto netrukus buvo gauta svarbių rezultatų, aiškinančių atominio ryšio prigimtį, molekulių struktūrą ir spektrus, chemines savybes. Kvantinė mechanika suteikė chemijai teorinį pagrindą, betgi chemija netapo fizikos dalimi, nes sudėtingų sistemų nagrinėjimas, remiantis pirminiais teoriniais principais, dažnai yra sunkiai įmanomas ar netgi mažiau efektyvus negu empirinis nagrinėjimas naudojantis modelinėmis, tačiau atspindinčiomis chemijos objektų ypatumus, sąvokomis ir taisyklėmis. Vis dėlto kvantinė chemija – kvantinė molekulių teorija – tapo esmine chemijos dalimi.

XVI. ATOMO BRANDUOLIO IR ELEMENTARIŲJŲ DALELIŲ FIZIKA

16.1. BRANDUOLIO SANDARA IR BRANDUOLINĖ ENERGIJA

Sukūrus planetinį atomo modelį, tapo aišku, kad radioaktyvieji virsmai vyksta branduolyje (nes jų spartos nekeitė jokie tuo metu įmanomi fiziniai ar cheminiai poveikiai), ir tai yra savaiminis branduolio skilimas. Tokių virsmų metu iš atomų išlekia elektronai ir α dalelės – helio branduoliai, tad manyta, kad ir vienos, ir kitos dalelės įeina į branduolių sudėtį.

1919 m. E. Rutherford'as, bombarduodamas α dalelėmis azoto dujas, nustatė, kad smūgių metu kartais susidaro vandenilio branduoliai. Padaręs išvadą, kad jie įeina į kitų elementų branduolių sudėtį, Rutherford'as pasiūlė laikyti vandenilio branduolį nauja elementariaja dalele, kurią pavadino protonu. Tie metai ir laikomi protono atradimo data; tiesa, Rutherford'o rezultatai nebuvo įtikinami (jis stebėjo protonus scintiliacijų metodu), ir daugelis fizikų neskubėjo pripažinti naujos dalelės. Tik 1925 m. Rutherford'o mokinys P. Blackett'as patvirtino šį atradimą, nufotografavęs protono, atsiradusio α dalelei smogus į azoto branduolį, pėdsaką Wilson'o kameroje. (Tuo tikslu P. Blackett'as peržiūrėjo 23 000 fotografijų, kuriose buvo užregistruota 460 000 dalelių trajektorijų, tarp jų pastebėti tik 8 protono pėdsakai.) E. Rutherford'as interpretavo šį branduolio virsmą kaip dirbtinę branduolinę reakciją – jos metu azotas virsta deguonimi ir išlekia protonas. Taigi pagaliau buvo įgyvendinta sena alchemikų svajonė – vienas cheminis elementas paverstas kitu, tiesa, naudojantis ne filosofiniu akmeniu, o visai kitomis priemonėmis, ir buvo gauti tik pavieniai nauji atomai.

F. Aston'as 1925 m. sukūrė masių spektrografą – prietaisą, kuris leido atskirti, veikiant elektringąsias daleles elektriniu ir magnetiniu laukais, to paties elemento izotopus. Juos tiriant, buvo atskleistas įdomus dėsninumas – lengvojo elemento izotopo masę galima išreikšti sveikuoju skaičiumi (to meto matavimų tikslumu, laikant deguonies atominę masę lygia 16), o sunkesniems elementams tas sveiką skaičiaus dėsninumas nustojo galiojės. Tai Aston'as paaiškino remdamasis sąryšiu tarp energijos ir masės $E = mc^2$, kaip „supakavimo efektą“, kuris vėliau buvo pervadintas *masės defektu*: protonams sudarius atomo branduolį, bendra jų rimties masė sumažėja, nes dalis rimties energijos virsta dalelių ryšio energija. Aston'as spėjo, kad

kada nors bus atrastas būdas išlaisvinti tą vidinę branduolių energiją. Beje, mintį apie tai, kad atomo masė gali skirtis nuo jį sudarančių dalelių rimties masių sumos, dar 1913 m. kėlė P. Langevin'as.

Trečiojo dešimtmečio pabaigoje buvo manoma, kad atomo branduolį sudarančios dalelės (anot to meto modelio – protonai, elektronai, gal ir helio branduoliai) tarsi „sulimpa“ tarpusavyje į kietą branduolį. Amerikiečių fizikas G. Gamow'as pasiūlė įsivaizduoti atomo branduolį kaip iš dalelių sudarytą judrų lašą (nors detaliau šio modelio neišplėtojo). Jis 1928 m. paaiškino radioaktyviųjų branduolių α skilimą kaip kvantinį tuneliavimą. Dalelės branduolyje būna tarsi potencialo duobutėje, iš kurios pabėgti trukdo jų tarpusavio sąveikos sukurtas barjeras. Vis dėlto dalelė gali išlėkti iš branduolio, net jeigu jos energija yra mažesnė už barjero aukštį: ji prasiskverbia per nedidelio pločio barjerą dėl savo banginių savybių.

Sunkų galvosūkį fizikams pateikė branduolių β skilimo tyrimai. Buvo žinoma, kad α dalelės, skleidžiamos radioaktyviųjų branduolių, įgyja tam tikras diskrečiąsias energijos vertes, tačiau β skilimo metu išlekiančių elektronų energijos sudarė tolydųjį spektrą. N. Bohr'as iškėlė hipotezę, kad atskiras įvykis mikropasaulyje gali pažeisti energijos tvermės dėsnį, jis galioja tik statistiškai daugeliui įvykių. W. Pauli numatė kitą galimybę: iš branduolio kartu su elektronu išlekia dar viena lengva, neturinti krūvio dalelė, todėl ji nėra stebima, ir tos dvi dalelės įvairiu būdu pasidalija energiją. Ta idėja netgi pačiam jos autoriui pasirodė nelabai įtikima, tad jis nesiryžo paskelbti straipsnyje, o tik pusiau juokais pranešė laišku konferencijos dalyviams. W. Pauli pavadino tą dalelę neutronu, bet E. Fermi dėl mažos jos masės ir didelio skvarbumo pasiūlė pervadinti neutrinu (ital. *neutrino* – neutroniukas). Tik po dvejų metų W. Pauli patikėjo savo idėjos realumu ir pasiuntė straipsnį su neutrino hipoteze į mokslo žurnalą.

W. Pauli pripažinti neutrino egzistavimą paskatino kitos neutraliosios dalelės – neutrono – atradimas. Apšaudant kai kuriuos lengvuosius elementus α dalelėmis, buvo aptikti kažkokie labai skvarbūs spinduliai, pereinantys per kelių centimetrų storio švino sluoksni. Tarp tuo metu žinomų α , β ir γ spindulių panašiu skvarbumu pasižymėjo tik γ spinduliai. I. Curie ir F. Joliot-Curie įvertino šių γ spindulių energiją pagal jų sklaidą vandenilio atomais ir gavo neįtikėtina didelę vertę, bet neišdrįso atsakyti prieštaringos hipotezės, kad jie stebėjo būtent γ spindulius.

Šiuos tyrimus pratęsė E. Rutherford'o bendradarbis J. Chadwick'as. Jis pasiūlė naują tos branduolinės reakcijos interpretaciją. Chadwick'as rašė: „Dalelių skvarbumas, esant apibrėžtiems jų greičiui ir masei, priklauso tikrai nuo tų dalelių krūvio, todėl aišku, kad berilio skleidžiama dalelė turi labai

mažą krūvį, palyginti su protono krūviu. Labiausiai tikėtina prielaida, kad dalelė iš viso neturi krūvio.“ Veikdamas šiomis dalelėmis vandenilio bei azoto dujas ir išmatavęs, kokius greičius po susidūrimo įgyja jų molekulės, Chadwick’as nustatė, kad neutraliosios dalelės masė yra maždaug lygi protono masei. Jis padarė išvadą, kad neutronas įeina į branduolio sudėtį. Vienu metu net keli mokslininkai iškėlė idėją, kad atomų branduoliai yra sudaryti iš protonų ir neutronų, o W. Heisenberg’as išplėtojo tokių branduolių teoriją, paaiškinančią jų stabilumą ir radioaktyviojo skilimo dėsnį. Jis postulavo stiprią sąveiką, veikiančią mažais atstumais tarp branduolio dalelių ir susiejančią jas tarpusavyje, nepaisant elektrinės stūmos tarp protonų. Tačiau Heisenberg’o teorija negalėjo paaiškinti, koku būdu iš radioaktyviųjų branduolių jų skilimo metu išlekia elektronai. Tad 1933 m. E. Fermi numatė dar vieną – silpnąją sąveiką. Ji lemia neutrono virtimą protonu, o tos reakcijos metu susidaro elektronas ir neutrinas. Tolesnė fundamentinių sąveikų tyrimo istorija aprašyta 16.2 poskyryje.

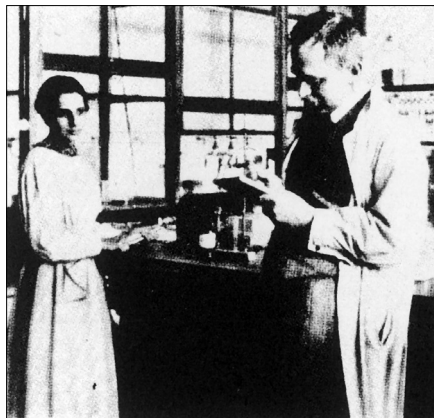
Didžiųjų branduolio fizikos atradimų serijai priklauso ir 1934 m. I. Curie ir F. Joliot-Curie atrastas dirbtinis radioaktyvumas. Bombarduojant kai kuriuos lengvuosius elementus α dalelėmis, jų sukelta spinduliuotė nenuslopavo iš karto nutraukus eksperimentą, bet silpnėdavo pagal eksponentinį dėsnį. Taigi pirmą kartą buvo gauti lengvųjų elementų radioaktyvieji izotopai – ligi tol manyta, kad šie elementai gali turėti tik stabilus izotopus.

Branduoliams su tam tikru nukleonų (protonų ir neutronų) skaičiumi būdingas didesnis stabilumas negu kitiems gretimiems branduoliams, panašiai kaip inertinių dujų atomai yra stabilesni negu gretimų elementų atomai. Tuo remiantis, 1934 m. buvo iškelta hipotezė, kad branduolio dalelės, kaip ir elektronai, sudaro sluoksnius; deja, toks modelis neaprašė visų branduolio savybių, tad netrukus N. Bohr’as (tuo metu aktyviai dirbęs atomo branduolio teorijos srityje) išplėtojo lašo modelį. O vėliau jo sūnus A. Bohr’as kartu su B. Mottelson’u pasiūlė dar vieną – kolektyvinį branduolio modelį, teigiantį, kad branduolyje dėl stiprios nukleonų sąveikos vyksta kolektyvinis dalelių judėjimas. Tie ir kiti branduolio modeliai egzistuoja iki šiol, ne paneigdami, o papildydami vienas kitą, nes jie supaprastintai atspindi sudėtingos nukleonų sistemos vienas ar kitas savybes, geriau galioja tik tam tikriems branduoliams.

Neutrono atradimas suteikė fizikams naują būdą veikti atomų branduolius. Juk ši neturinti elektros krūvio dalelė lengvai įsiskverbia netgi į sunkiųjų branduolių vidų. Paaiškėjo, kad branduolines reakcijas lengviau sukelia lėti neutronai, tad jie buvo specialiai lėtinami perleidžiant per tam tikras medžiagas.

Didelę seriją eksperimentų su neutronais 1934–1935 m. atliko E. Fer-

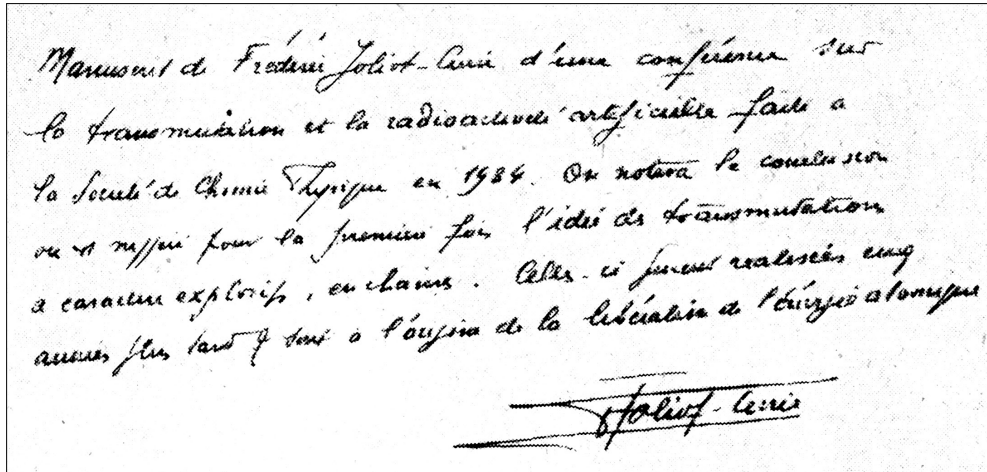
mi grupė. Veikdami neutronais sunkiausią tuo metu žinomą elementą uraną, jie gavo kelias radioaktyvias medžiagas, kurių negalėjo identifikuoti. E. Fermi padarė išvadą, kad pavyko sukurti transuraninius, t. y. esančius periodinėje lentelėje už urano 93-ąją ir 94-ąją elementus (iš tikrųjų jie JAV mokslininkų buvo atrasti tik 1940 m.). Ta žinia sukėlė didelį susidomėjimą, ir panašūs eksperimentai pradėti vykdyti kitose laboratorijose. 1938 m. prancūzų fizikė I. Curie ir serbas P. Savič'ius tarp radioaktyviųjų medžiagų,



16.1 pav. Otto Hahn ir Lise Meitner.

gaunamų veikiant neutronais uraną, aptiko lantaną – elementą iš periodinės lentelės vidurio. Deja, atradėjai nepatikėjo, kad neutronas gali suskaldyti branduolį, jei to neįmanoma padaryti daug didesnės energijos α dalelių smūgiais. Tačiau netrukus Berlyne O. Hahn'as ir F. Strassmann'as, atlikę panašų eksperimentą, patikimai identifikavo lantano kaimyną – barį. O. Hahn'o bendradarbė L. Meitner pirmoji padarė išvadą, kad atrasta naujo tipo branduolinė reakcija – urano branduolio skilimas į dvi dalis (urano dalijimasis) veikiant jį neutronu. Tą hipotezę ji pagrindė kartu su savo sūnėnu O. Frisch'u. Daugelis atomo branduolio specialistų, metę savo darbus, ėmėsi teoriškai ir eksperimentiškai tirti neįprastą reiškinį. Jis buvo paaiškintas naudojantis lašo modeliu: sudėtingas branduolys, prisidėjęs dar vienai dalelei, gali savaime pasidalyti (kaip ir vandens lašas) į dvi dalis. F. Joliot-Curie apskaičiavo, kad šios reakcijos metu turėtų išsiskirti didžiulė energija – 165 MeV, o svarbiausia – turėtų atsirasti keli nauji neutronai. Tai patikrinus eksperimentiškai, paaiškėjo urano dalijimosi grandininės reakcijos galimybė. Tiesa, N. Bohr'as įrodė, kad dalijasi tik urano izotopas ^{235}U , sudarantis vos 0,7 proc. gamtinio urano, o vyraujantis izotopas ^{238}U , sugėręs nedidelės energijos neutroną, skyla įprastiniu būdu. Vėliau paaiškėjo, kad po kelių radioaktyviųjų virsmų jis tampa plutoniu, kuriame taip pat galima dalijimosi reakcija.

Grandininė branduolinė reakcija buvo atrasta pačiu netinkamiausiu laiku – 1939 m., prieš Antrojo pasaulinio karo pradžią. Vienas iš branduolio fizikos specialistų L. Szilard'as, emigravęs iš Europos į JAV, mėgino įkalbėti kolegas susitarti tarpusavyje neskelbti žinių apie branduolių dalijimosi tyrimus, kad tai nebūtų panaudota itin galingai bombai sukurti. Įsitikinęs, kad toks susitarimas neįmanomas, L. Szilard'as parengė JAV prezidentui T. Roosevelt'ui laišką, pranešantį apie atominės bombos sukūrimo galimybę ir ragi-



16.2 pav. F. Joliot-Curie pranešimo tezės, kuriose pirmą kartą minima urano grandininės dalijimosi reakcijos galimybė.

nantį pradėti jos gamybą JAV, siekiant užbėgti nacistinei Vokietijai už akių. Laišką pasirašė A. Einstein'as, ir tas kreipimasis buvo perduotas prezidentui. Šis nurodė sudaryti Urano komitetą, kuris atliko tyrimus, ir 1942 m. rudenį JAV buvo pradėta vykdyti slapta atominės bombos kūrimo programa. Tuo pačiu metu E. Fermi vadovaujama grupė konstravo pirmąjį branduolinį reaktorių – urano katilą. Jis pradėjo veikti 1942 m. pabaigoje Čikagoje, paslėptas po stadiono tribūnomis, ir pademonstravo galimybę įgyvendinti valdomą urano dalijimosi reakciją (pirmojo įrenginio galia tesiekė 200 W). Naudojantis šiuo reaktoriumi, kartu buvo tiriama ir plutonio gavimo iš urano problema.

Žinios apie E. Fermi (1901–1954) atradimus išsklaidytos po įvairius šios knygos skyrius, nes jis dirbo beveik visose šiuolaikinės fizikos srityse, tad čia trumpai apžvelgsime šio genialaus mokslininko gyvenimą ir veiklą.

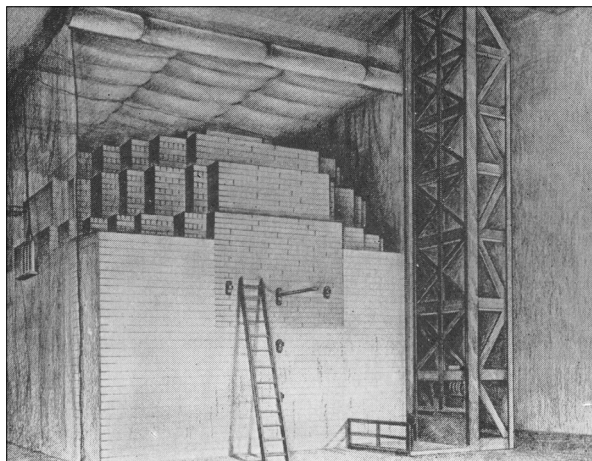
E. Fermi gimė Romoje, tarnautojo šeimoje. Dar vaikystėje jis apsisprendė būti fiziku ir savarankiškai ruošėsi šiai profesijai. Patartas tėvo draugo inžinieriaus, Fermi perskaitė daugelį pagrindinių fizikos knygų, o jam pakakdavo perskaityti vieną kartą, kad įsimintų aprašytus metodus ir galėtų jais naudotis. Tad studijuodamas Pizos universitete, Fermi išmanė fiziką geriau už savo dėstytojus. Baigęs universitetą, jis metus stažavo Vokietijos mokslo centruose. O netrukus specialiai E. Fermi Romos universitete buvo įkurta teorinės fizikos katedra.

Unikalios žinios ir gebėjimas jas labai aiškiai perteikti kitiems, politinis kolektyviai svarstyti ir spręsti problemas traukė prie Fermi jaunos talentus – jis išugdė apie dešimtį Nobel'io premijos laureatų. Pats Fermi neretai perkeldavo savo darbų centrą iš vienos fizikos srities į kitą. Pradėjęs nuo

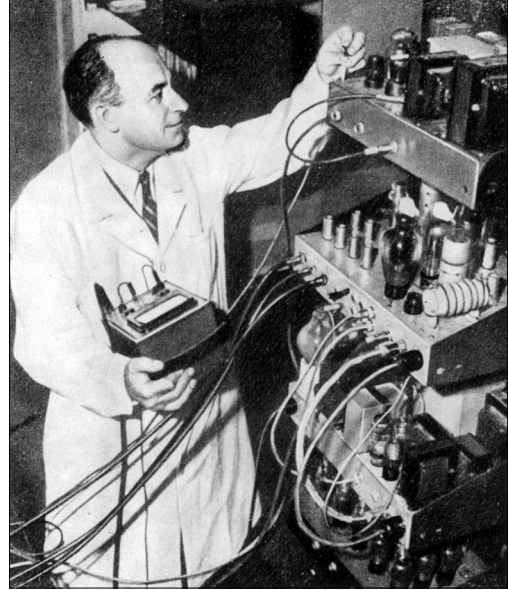
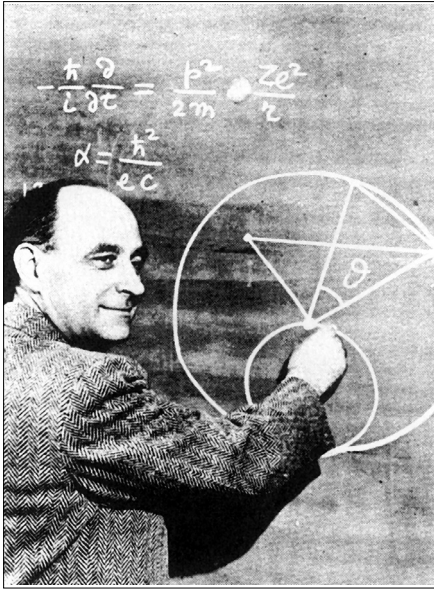
kvantinės mechanikos (Fermi ir Dirac'o statistika), vėliau jis gavo svarbių rezultatų iš atomo teorijos (statistinis atomo modelis, elektrono banginės funkcijos kolapso reiškiny), buvo vienas iš kvantinės elektrodinamikos kūrėjų. Nuo 1934 m. E. Fermi pasuko į atomo branduolio fiziką, užsiėmė tos srities ne tik teoriniais, bet ir eksperimentiniais tyrimais. To meto daugelis įžymių jo pasiekimų – β skilimo teorija, neutronų fizikos pagrindai, pirmojo branduolinio reaktoriaus sukūrimas ir didelis indėlis kuriant atominę bombą. Būdamas beveik penkiasdešimties, E. Fermi dar kartą pakeitė darbų kryptį – atsidėjo elementariųjų dalelių fizikai ir kosmologijai, kartu su bendradarbiais atrado pirmąjį rezonansą (labai trumpai gyvuojančią elementariąją dalelę), plėtojo Visatos raidos po Didžiojo sprogo teoriją, pasiūlė kosminių spindulių kilmės teoriją.

Atominei bombai sukurti prireikė grupės žymių fizikų, tiek emigrantų, tiek amerikiečių, kolektyvinių pastangų, daugelio chemikų, inžinierių ir darbininkų atkaklaus darbo, siekiant atskirti urano izotopus bei pagaminti plutonį, ir didžiulių lėšų. Baigiant gaminti pirmąsias bombas, paaiškėjo, kad Vokietija nekuria šio ginklo. Vis dėlto buvo atliktas ne tik bandomasis sprogdinimas 1945 m. liepos 16 d. Alamogordo poligone, Naujosios Meksikos valstijoje, bet, nepaisant daugelio mokslininkų – bombos kūrėjų – protestų, dvi atominės bombos buvo numestos ant Japonijos miestų – Hirošimos ir Nagasakio. Po ketverių metų atominė bomba buvo sukurta SSRS, ir prasidėjo lėtas branduolinio ginklo plitimas (dabar jį turi devynios šalys).

Dar ketvirtojo dešimtmečio pabaigoje paaiškėjo, kad pagrindinis žvaigždžių energijos šaltinis yra vandenilio jungimosi į helį (sintezės) reakcija (žr. 18 skyrių). 1941 m. E. Fermi kilo idėja, kad labai aukštą, šimto milijonų laipsnių eilės temperatūrą, reikalingą tokiai reakcijai prasidėti, būtų galima gauti atominės bombos sprogo metu. Tą hipotezę jis apsvarstė su amerikiečių fiziku E. Teller'iu, ir juodu priėjo išvadą, kad reakciją būtų lengviausia sukelti naudojantis prieš dešimtmetį atrastu sunkiuoju vandenilio izotopu – deuteriu. Sumanymas užvaldė E. Teller'io mintis, ir jis tapo amerikiečių



16.3 pav. Urano katilas – pirmasis branduolinis reaktorius (neišlikusio įrenginio piešinys).



16.4 pav. Enriko Fermi garsėjo kaip teoretikas ir eksperimentatorius.

vandenilinės bombos „tėvu“. Pirmąjį tokį dar gana grioždišką įrenginį JAV susprogdino 1952 m. Enivetoko atole, o po metų ir SSRS jau turėjo panašią bombą, netgi transportuojamą lėktuvu. Vykstant Šaltajam karui, prasidėjo karštligiškos branduolinio ginklavimosi varžybos.

Siekta įgyvendinti ir valdomą termobranduolinės sintezės reakciją, tačiau pasirodė, kad tai yra nepaprastai sunki mokslinė ir techninė problema. Tarp įvairių jos sprendimo variantų perspektyviausias pasirodė 1950 m. A. Sacharovo pasiūlytas būdas suspausti plazmą į žiedą ir ją įkaitinti toro pavidalo kameroje, apsuptoje įvairių magnetų (*tokamak*s). Deja, aukštatempertūre plazma yra labai nestabili, joje vyksta įvairūs radiaciniai ir smūginiai procesai, kolektyviniai svyravimai, sukeltantys plazmos išsklidimą ir didelius energijos nuostolius. Tik septintajame dešimtmetyje, sukūrus plazmos elektrodinamiką ir ja remiantis pasiūlius efektyvius plazmos suspaudimo, jos įkaitinimo bei radiacinių nuostolių sumažinimo būdus, prasidėjo spartesnė pažanga. 1990–2000 m. buvo sukurti keli dideli tokamakai, kuriuose pasiekta net kelių šimtų milijonų laipsnių temperatūra, bet plazmos tankio ir jos gyvavimo trukmės sandauga dar nebuvo pakankama. Šiuo metu pagrindinės išsivysčiusios šalys kuria Tarptautinį termobranduolinį eksperimentinį reaktorių ITER (Cadarache, Prancūzija), jame apie 2025 m. tikimasi įgyvendinti valdomą ilgalaikę sintezę; aišku, tai būtų tik mokslinis, o ne praktinis problemos sprendimas. Plėtojamas ir kitas alternatyvus būdas – sukelti sintezę kaip mini sprogdimus, suspaudžiant ir įkaitinant deuterio ir tričio lašelius galingo

lazerio spinduliais.

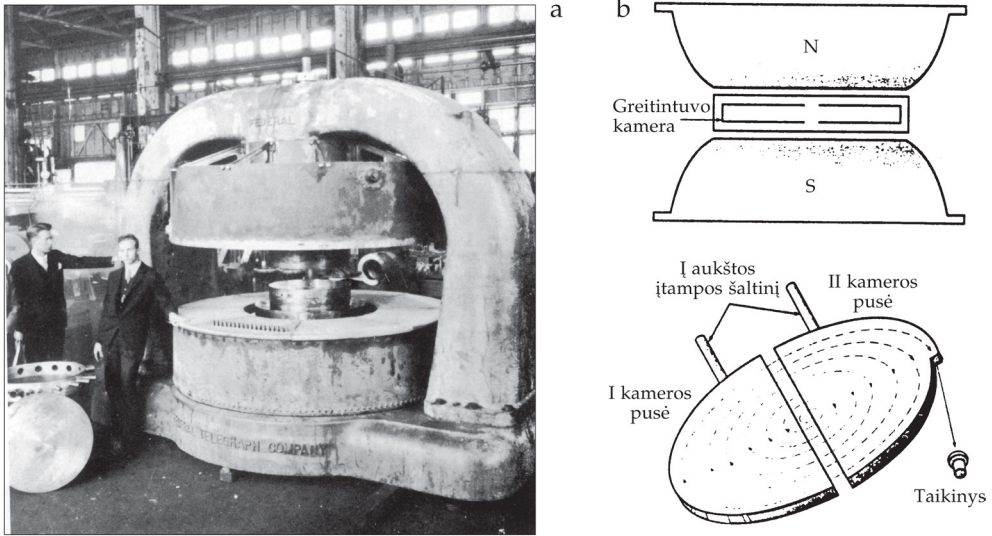
XX a. antroje pusėje buvo atkakliai siekiama gauti naujus transuraninius elementus. Iš pradžių tam buvo naudojami intensyvūs neutronų srautai, susidarantys branduoliniuose reaktoriuose. 99-asis ir 100-asis elementai atrasti 1952 m., analizuojant vandenilinės bombos sprogo produktais. Tolesnė pažanga tapo įmanoma naudojantis jonų greitintuvais: pagreitintais jonais smogiant į prieš tai sukurtą transuraninio elemento branduolius. Norint aptikti labai trumpai gyvuojančius pavienius naujų elementų atomus, teko labai išstbulinti jų registravimo ir identifikavimo metodus. Iki devintojo dešimtmečio pagrindinės lenktyinės vyko tarp Dubnos (SSRS) ir Berklio (JAV) tyrinėtojų grupių. Pastaciūs Darmstadte (Vokietija) sunkiųjų jonų greitintuvą, ten XX a. pabaigoje buvo atrasti 107–112-ieji elementai, o XXI a. pradžioje atradimų estafetę vėl perėmė Dubnos grupė, kuri, bendradarbiaudama su amerikiečiais, aptiko 114-ąjį ir 116–118-uosius elementus. Japonų mokslininkų atrastas 113-asis elementas liudija, kad ši šalis irgi įsijungia į naujų cheminių elementų paieškas.

Kurti naujus supersunkius elementus skatina ne tik siekis suprasti, kokias fizines bei chemines savybes jie įgyja esant labai dideliu branduolio krūviui ir dėl to labai sustiprėjus reliatyvistiniams efektams, bet ir įdomi hipotezė, kad toje nestabilumo „jūroje“ egzistuoja stabilumo „salos“. Juk branduoliai, turintys užpildytus protonų bei neutronų sluoksnius, gali turėti daug ilgesnes pusėjimo trukmes. Gal net tokie ilgaamžiai supersunkūs elementai egzistuoja gamtoje, jų ieškota Žemėje, meteorituose ir Mėnulio uolienose, bet aptikti nepavyko. „Salų“ prognozės nėra tikslios dėl branduolio sluoksnių modelio apytikrumo, be to, sunku gauti izotopus su reikiamu neutronų skaičiumi; tad lieka vilties sukurti ilgaamžius elementus toliau tęsiant paieškas iki 126-ojo elemento.

Branduolio teorijos plėtojimas XX a. antroje pusėje glaudžiai siejosi su elementariųjų dalelių fizika, ypač su kvantine chromodinamika; šis etapas aptariamas kitame šio skyriaus poskyryje.

16.2. ELEMENTARIOSIOS DALELĖS IR FUNDAMENTINĖS SAŲVEIKOS

Trumpai prisiminkime pirmųjų elementariųjų dalelių atradimo istoriją: elektronas atrastas 1897 m., fotonas teoriškai įvestas 1905 m. ir eksperimentiškai aptiktas 1923 m. registruojant Compton'o efektą, protonas ir neutronas atrasti atitinkamai 1919 m. ir 1932 m. Atrodė, kad jau žinomos visos svarbiausios elementariosios dalelės, betgi iš tikrųjų tai buvo tik jų tyrimo pradžia. Tuoj pat teko pripažinti, kad egzistuoja dalelės, neįeinančios į atomo



16.5 pav. Ciklotrono išradėjas E. Lawrence'as (kairėje) su bendradarbiais prie šio įrenginio (greitintuvo kamera išimta) (a) ir ciklotrono veikimo schema (b).

sudėtį (neutrinas, pozitronas), tad elementariųjų dalelių fizika buvo atskirta nuo atomo branduolio fizikos ir tapo savarankiška sritimi.

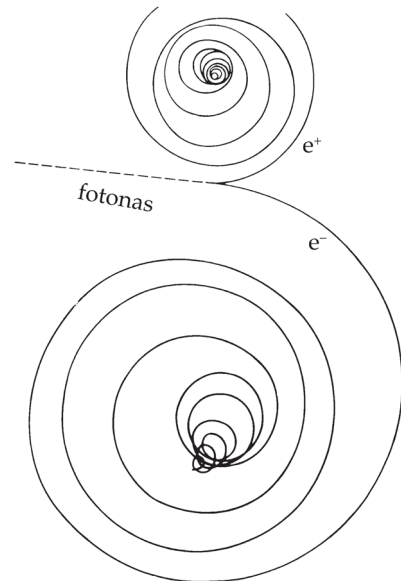
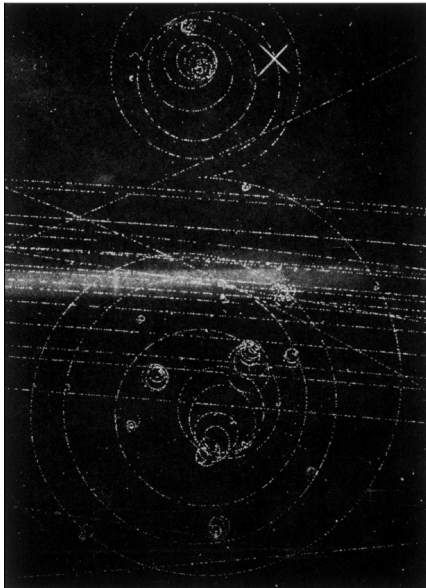
Pagrindinis būdas elementariųjų dalelių savybėms tirti – dalelių smūgiai. Kuo didesniu greičiu jos susiduria, tuo stipresnė būna jų sąveika. Be to, didėjant dalelės greičiui, trumpėja jos bangos ilgis, tad galima žvalgyti vis mažesnius atstumus ir iš sklaidos rezultatų spręsti apie vidinę mikroobjektų sandarą.

Elektringąsias daleles galima pagreitinti elektriniu lauku. Šis būdas buvo panaudotas pirmuose protonų greitintuvuose, kurie pradėti konstruoti 1930–1931 m., – juose buvo sukurti 3–5 milijonų voltų potencialų skirtumai (atrodę fantastiški tais laikais), taigi dalelės įgydavo kelių MeV energiją. Kitą, perspektyvesnį būdą, kuris vėliau buvo įgyvendintas daugelyje elementariųjų dalelių greitintuvų, išrado amerikiečių fizikas E. Lawrence'as (1901–1958). Jis dalelėms greitinti panaudojo kintamąjį elektrinį lauką, o veikdamas magnetiniu lauku priversdavo jas sukintis greitintuvo kameroje, kol įgis tam tikrą energiją. Kameras sudarė dvi tuščiaavidurio metalinio cilindro dalys, atskirtos nedideliu tarpu ir įtaisytos tarp stipraus magneto polių (16.5 pav.). Kameroje elektringosios dalelės buvo greitiamos elektriniu lauku, veikiančiu plyšyje tarp cilindro dalių. Kol dalelės apsisukdavo pusę apskritimo, lauko kryptis būdavo pakeičiama priešinga, tad dalelės plyšyje vėl įgydavo papildomos energijos. Taip cikliška greitiamos (iš čia ir įrenginio pavadinimas – ciklotronas) dalelės judėdavo spirale, kol ties kameros kraštu išlėkdavo iš jos ir

būdavo nukreipiamos į taikinį.

Tokios rūšies greitintuvams tobulinti prireikė nemažai laiko ir techninio išradingumo, tad net iki šeštojo dešimtmečio pradžios pagrindiniai elementariųjų dalelių atradimai buvo padaryti naudojantis gamtos laboratorija – Žemę pasiekiančiais kosminiais spinduliais, atrastais dar 1912 m. (žr. 18.2 poskyrį). Po sistemingų jų tyrimų paaiškėjo, kad pirminiai kosminiai spinduliai – tai į Žemę iš kosmoso atlekiančios didelės energijos dalelės ($E = 10^8\text{--}10^{21}$ eV), daugiausia – atomų branduoliai. Susidurdami su oro molekulėmis, jie sukelia išstisus antrinių dalelių liūtis.

Būtent tyrinėdamas kosminių spindulių trajektorijas Wilson'o kameroje, amerikiečių fizikas C. Anderson'as 1932 m. atrado pozitroną. Jo pėdsakas buvo kaip elektrono, bet magnetiniame lauke užsisukdavo į priešingą pusę. Tada buvo prisiminta keista P. Dirac'o išvada, išplaukianti iš jo reliatyvistinės lygties elektronui, kad egzistuoja elektrono būsenos ne tik su teigiama, bet ir su neigiama pilnutine energija. Dirac'as padarė prielaidą, kad pastarosios paprastai esti užimtos ir nestebimos – sudaro fizikinį vakuumą, tačiau, išmušus iš tokios būsenos elektroną, atsiradusi skylė elgiasi kaip dalelė, turinti elektrono masę, bet teigiamąjį elektros krūvį. Susitikus šiai antidalelei elektroną, jos abi išnyksta, o jų energija išspinduliuojama keliais fotonais (turi galioti energijos ir judėjimo kiekio tvermės dėsniai). Iš tikrųjų, kitais metais buvo eksperimentiškai atrastas γ kvanto – didelės energijos fotono – virtimas elektrono ir pozitrono pora bei priešingas procesas – tokios poros anihiliacija –



16.6 pav. Didelės energijos fotono virtimas elektrono ir pozitrono pora: dalelių pėdsakų Wilson'o kameroje nuotrauka (kairėje) ir abiejų poros dalelių trajektorijos (dešinėje).

virtimas dviem fotonais (F. Joliot-Curie ir jo bendradarbiai).

Sukūrus kvantinę mechaniką, grupė mokslininkų – W. Heisenberg'as, W. Pauli, P. Dirac'as, E. Fermi ir kiti – išplėtojo kvantinę elektrodinamiką, t. y. kvantinę elektromagnetinio lauko teoriją. Šis laukas buvo nagrinėjamas kaip fotonų sistema, o elektringųjų dalelių sąveika – kaip jų keitimasis fotonais. Kvantinė elektrodinamika aprašė įvairius procesus, vykstančius atomui sąveikaujant su elektromagnetiniu lauku.

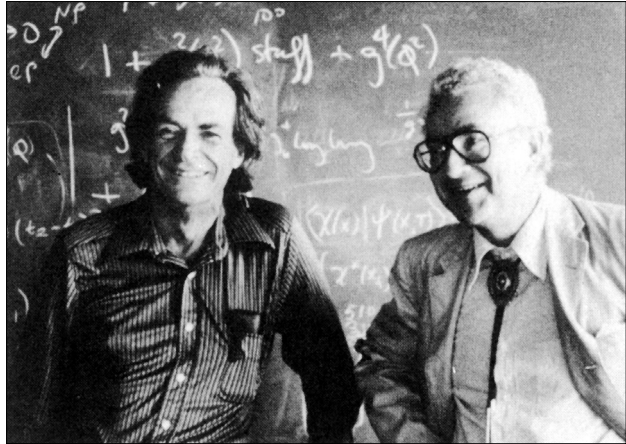
Atradus stipriąją sąveiką, H. Yukawa pamėgino ir jos teorijai suteikti panašią formą. 1935 m. jis iškėlė hipotezę, kad šią sąveiką perduoda hipotetinės dalelės – stipriosios sąveikos kvantai. Remdamasis tuo, kad stipriosios sąveikos siekis tik maždaug 10^{-15} m, H. Yukawa įvertino dalelių masę kaip gana didelę, palyginti su elektrono rimties mase m_e (apie 200–300 m_e). Iš tikrųjų, 1936 m. C. Anderson'as kartu su S. Neddermeyer'iu kosminiuose spinduliuose aptiko maždaug 200 m_e masės, bet elektrono krūvio dalelę (taip pat jos antidalelę, turinčią teigiamąjį krūvį). Ji buvo vadinama mezotronu, mezonu (nurodant, kad dalelės masė yra tarp elektrono ir nukleono masių: gr. *mezo* – tarpinis); vėliau, atradus kitus mezonus, tapo μ mezonu ir galiausiai, paaiškėjus, kad visi mezonai, išskyrus jį, yra veikiami stipriosios sąveikos, buvo išbrauktas iš mezonų tarpo ir pavadintas miuonu. Jis yra nestabilus – gyvuoja tik apie 10^{-6} s. Miuono sąveika su atomų branduoliais, deja, pasirodė esanti gana silpna, tad jis netiko dalelės, kurią numatė Jukawa, vaidmeniui.

Vis dėlto 1947 m. buvo atrasti π^- ir π^+ mezonai, turintys apie 280 m_e masę ir stipriai sąveikaujantys su branduoliais, – jie iki gliuonų atradimo buvo laikomi stipriosios sąveikos kvantais.

1947 m. atrastos dar dvi netikėtos V dalelės, vėliau pervadintos K mezonais, o po dvejų metų aptiktas τ (tau) mezonas, ir prasidėjo naujų dalelių atradimo bumas. Kasmė būdavo pranešama apie naujus mezonus (vėliau kai kurie iš jų pasirodė atitinkantys to paties K mezono tris atmainas, galinčias suirti įvairiais būdais). 1951 m. buvo gauti aiškūs įrodymai, kad egzistuoja hiperonas – dalelė, masyvesnė už protoną, o dar po metų atrastas pirmasis rezonansas – labai trumpai, apie 10^{-23} s gyvuojanti dalelė. (Iš tikrųjų rezonansai yra tie patys nukleonai ar kitos dalelės, kurios dalyvauja stipriojoje sąveikoje, tik stebimos jų sužadintosios būsenos.)

Susigaudyti toje dalelių ir jų procesų įvairovėje pavyko tik postulavus naujas kvantines dalelių savybes ir jų tvermės dėsnius. 1949 m. buvo įvestas barioninis skaičius (pagal analogiją su elektros krūviu dar vadintas barioniniu krūviu) ir suformuluotas jo tvermės dėsnis. Tas skaičius visiems barionams (protonui, neutronui ir hiperonams) lygus 1, o jų antidalelėms –1. Tai leido paaiškinti reakcijas, kuriose dalyvauja šios dalelės. Remiantis tvermės

dėsniu, barioninis skaičius reakcijoje negali keistis, bet gali susidaryti barionų ir antibarionų poros. Tas dėsnis pagrindė ir protono stabilumą: jis negali suirti, nes yra lengviausias barionas (kaip ir elektronas – lengviausia dalelė, turinti elementarųjį elektros krūvį).



Analogiškai 1952 m. buvo įvestas leptoninis skaičius ir jo tvermės dėsnis (J. Zeldovič); tai leido paaiškinti procesus, kuriuose dalyvauja elektronas, miuonas bei neutrinas, ir tas daleles priskirti leptonų klasei (vėliau, atradus daugiau leptonų, teko įvesti net tris skirtingus leptoninius skaičius).

16.7 pav. Richard Feynman (kairėje) ir Murray Gell-Mann.

M. Gell-Mann'as ir K. Nishijima postulavo dar vieną panašią kvantinę savybę, pavadintą keistumu. Tai paaiškino keistą reiškinį, kuris keletą metų nedavė ramybės elementariųjų dalelių specialistams: kodėl K mezonai, kurie dalyvauja stipriojoje sąveikoje, gyvuoja daug ilgiau negu kitos stipriai sąveikaujančios trumpaamžės dalelės. Dėl keistumo tvermės K mezonai gali atsirasti, vykstant dalelių smūgiams, tik poromis, ir tai buvo patvirtinta eksperimentais.

Eksperimentai su K mezonais padėjo ne tik nustatyti naują tvermės dėsnį, bet ir parodė, kad silpnoji sąveika gali pažeisti lyginumo tvermės dėsnį. Elementariuosiuose procesuose, kuriuos sukelia elektromagnetinė ar stiprioji sąveikos, suminis dalelių lyginumas nekinta (tai reiškia, kad veidrodyje atspindėta reakcija vyksta taip pat kaip ir pati reakcija). Nagrinėdami K ir kitų mezonų virsmus, T. Lee ir C. Yang'as, kinų teoretikai dirbę JAV, išklė hipotezę, kad reakcijose, kurias lemia silpnoji sąveika, tas bendras lyginumo tvermės dėsnis gali negalėti. Jie prikalbino tai eksperimentiškai patikrinti savo tėvynainę C. Wu, kuri ir patvirtino hipotezę 1957 m. Tada L. Landau ir kiti suformulavo bendresnį kombinuotojo lyginumo tvermės dėsnį (kairės pakeitimas dešine ir kartu dalelių – antidalelėmis), tačiau 1964 m. buvo įrodyta, kad retu K^0 mezono virsmo atveju silpnoji sąveika gali truputį pažeisti ir šį dėsnį.

Pokariu, tuo pačiu metu, kai buvo kuriama elementariųjų dalelių fizika, plėtota ir kvantinė elektrodinamika bei bendroji lauko teorija, bet

jos dar mažai sietos su dalelių teorija. Kvantinėje elektrodinamikoje pagaliau buvo išspręsta dešimtmetį trukusi krizė, kilusi dėl to, kad, taikant perturbacijų teoriją, kartais buvo gaunamos begalinės ryšio energijos ir masės vertės. H. Bethe pasiūlė metodą, kaip jų išvengti atliekant vadinamąjį pernormavimą: pakeičiant izoliuoto elektrono charakteristikas eksperimentiškai išmatuotomis jų vertėmis realiai dalelei. Tai nebuvo elegantiškas problemos sprendimas, tačiau jis atskleidė begalybių atsiradimo priežastį – negalimumą nagrinėti dalelės atsietai nuo ją supančio vakuumo, kuris yra realus fizikos objektas. O svarbiausia, tas metodas leido gauti visada teisingus rezultatus. 1948–1949 m. S. Tomonaga, R. Feynman'as, J. Schwinger'is ir F. Dayson'as sukūrė šiulaikinę kvantinę elektrodinamiką, patobulino jos metodus. 1954 m. C. Yang'as ir R. Mills'as išplėtojo bendrą kalibruotinių laukų teoriją, kuri susiejo sąveikos simetriją su lauko dinamika. Tuo metu šis rezultatas liko beveik nepastebėtas, bet vėliau jis sudarė pagrindą vystyti fundamentinių sąveikų tarp elementariųjų dalelių teoriją bei suvienyti tas sąveikas.

1956 m. amerikiečių fizikų grupė, vadovaujama F. Reines'o ir C. Cowan'o, eksperimentiškai atrado neutriną – vieną iš svarbių elementariųjų dalelių (nors ligi tol jis jau buvo pripažintas kaip būtina dalelė, padėjusi išspręsti įvairius paradoksus). Kadangi neutrinas nepaprastai silpnai sąveikauja su medžiaga, eksperimento parengimas, jo vykdymas ir tikslinimas užtruko penkerius metus. Kaip neutrinų šaltinis buvo panaudotas branduolinis reaktorius Savana Riveryje (JAV). Šalia jo maždaug 10 m gylyje buvo įtaisyta cisterna su fluorescuojančiąja medžiaga – kadmio druskų tirpalu, ant vidinių cisternos sienelių išdėstyti keli tūkstančiai fotodaugintuvų. Tuo įrenginiu iš tikrųjų siekta aptikti ne neutrinus, o jų antidaleles. Retkarčiais įvykdavo tokia reakcija: atomo branduolio protonas pagaudavo antineutriną ir susidarydavo neutronas bei pozitronas. Pastarasis tuoj pat susidurdavo su elektronu ir jie anihiliuodavo sukurdami du γ kvantus; o neutroną, sulėtintą vandens, po akimirkos pagrobavo kadmio branduolys ir išspinduliuodavo kelis γ kvantus. Kiekviena iš tų dviejų reakcijų sukeldavo žybsnį, kurį užregistruodavo fotodaugintuvai. O du vienas po kito sekantys žybsniai pranešdavo apie užregistruotą antineutriną.

Šeštojo dešimtmečio pradžioje pradėjo veikti pirmieji galingi elementariųjų dalelių greitintuvai – protonų sinchrotronas (1952 m.), bevatronas, pagreitinantis elektronus iki 5 GeV (1954 m.) ir kt. Juose buvo pritaikytas prieš dešimtmetį pasiūlytas autofazavimo metodas, užtikrinantis, kad dalelę greitinantis laukas ir jos sukimosi greitinuvo kameroje kampinis dažnis keistųsi suderintu būdu. Be to, buvo išrastas naujo tipo dalelių detektorius – burbulinė kamera (D. Glaser'is, 1952 m.), kurioje dalelės pėdsakas tam-

pa matomas, jai paliekant burbuliukų pėdsaką perkaitintame skystyje. Eksperimentai su naujos kartos greitintuvais tapo pranašesni už elementariųjų dalelių paieškas kosminiuose spinduliuose – nors iš kosmoso kartais atlekia ir didžiulės energijos dalelių, kokių neįmanoma gauti greitintuvais, tačiau tikimybė, kad jos pataikys į dalelių detektorių, yra nepaprastai maža. Naudojantis greitintuvais, netrukus buvo patvirtintas keistumo tvermės dėsnis, įrodyta, kad ir barionai turi antidaleles: atrasti antiprotonas (1955 m.), anti-neutronas (1956 m.), antihiperonai. Žinomų elementariųjų dalelių skaičius ėmė sparčiai augti – jau ne po keletą, o po keliolika per metus. Tarp jų buvo atrastas tik vienas leptonas – L. Lederman'o vadovaujama grupė amerikiečių fizikų, naudodamiesi Brukheiveno sinchrotronu, 1962 m. įrodė, kad neutrinai, atsirandantis kartu su miuonu elementariųjų dalelių reakcijose, nėra tas pats neutrinai, kuris atsiranda kartu su elektronu. Antra vertus, dalelių, kurios dalyvauja stipriojoje sąveikoje (jos buvo pavadintos bendru hadronų vardu), gausa tiesiog stebino. Hadronus imta jungti į grupes, turinčias vienodą sukinį, lyginumą ir maždaug vienodą masę, – vadinamuosius supermultipletus; ši stipriajai sąveikai būdinga apytikrė simetrija buvo aprašyta matematiškai, naudojantis specialia unitarine grupe (SU_3). Tai leido numatyti ir atrasti naujus hadronus.

Sklaidant greitus elektronus neutronais ir protonais, paaiškėjo, kad šios dalelės yra maždaug 10^{-15} m dydžio ir turi vidinę sandarą. 1964 m. M. Gell-Mann'as ir G. Zweig'as nepriklausomai iškėlė hipotezę, kad hadronai yra sudaryti iš subdalelių, arba fundamentaliųjų dalelių – kvarkų. Buvo teoriškai įvesti trys kvarkai (ir trys jų antidalelės), turintys trupmeninius elektros krūvį ir barioninį skaičių bei sukinį, o keistasis kvarkas – pasižymintis dar ir keistumu. Toks modelis tiko aprašyti visiems žinomiems hadronams: barionas sudarytas iš trijų kvarkų, o mezonas – iš kvarko ir antikvarko. Antra vertus, leptonai dalelių sklaidos eksperimentuose elgėsi kaip taškinės, neturinčios vidinės struktūros dalelės. Taigi iš visų elementariųjų dalelių buvo išskirtos pirminės, arba fundamentaliosios, dalelės. Pirmąją jų kartą sudarė du kvarkai – kylantysis ir krintantysis – bei du leptonai – elektronas ir elektroninis neutrinai. Idant ta simetrija tarp kvarkų ir leptonų galiotų ir antrajai – nestabilių dalelių – kartai, 1964 m. J. Bjorken'as ir S. Glashow'as įteisino dar vieną kvarką – žavųjį, pasižymintį nauja kvantine savybe – žavumu. Tuo pačiu metu keli mokslininkai nepriklausomai išsprendė paradoksą – kaip gali du kvarkai (kurie irgi yra fermionai) su vienodais kvantiniais skaičiais būti viename barione. Tuo tikslu buvo apibrėžta dar viena kvarkų savybė – spalva: kiekvienas kvarkas gali būti trijų spalvų – raudonas, žalias arba mėlynas (aišku, perkeltine prasme). Kvarkų hipotezė leido susisteminti žinias apie hadronus, deja,



16.8 pav. Steven Weinberg (kairėje) ir Abdus Salam (dešinėje).

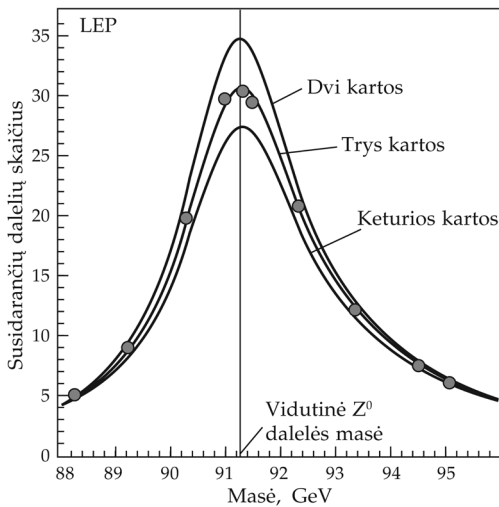
visi mėginimai ap-
tikti laisvus kvarkus,
neįmanančius į hadronų
sudėtį, nebuvo sėk-
mingi.

Tuo metu eg-
zistavusios stipriosios
ir silpnosios sąveikų
teorijos, skirtingai nuo
kvantinės elektrodi-
namikos, buvo labai
apytikrės ir neužbaig-

tos. Iškelta hipotezė, kad silpnąją sąveiką perduoda masyvios dalelės – tarpiniai vektoriniai bozonai W^- ir W^+ , tačiau jų lauką aprašanti teorija pasirodė esanti nepernormuojama – nepavykdavo pašalinti skaičiavimo rezultatuose atsirandančių begalybių. Problemą 1968 m. išsprendė S. Weinberg'as ir A. Salam'as, išplėtoję bendrą silpnosios ir elektromagnetinės sąveikų teoriją. Pagrindinė jos idėja – tos dvi fundamentinės sąveikos nėra nepriklausomos, o didėjant susiduriančių dalelių energijai, virsta viena – elektrosilpnąja sąveika. Ir priešingai, tuoj po Visatos Didžiojo sprogo elektrosilpnoji sąveika išsiskyrė į dvi sąveikas. Ši teorija numatė, kad turi egzistuoti ne tik elektringieji W^- bei W^+ tarpiniai bozonai, bet ir neutralusis Z^0 bozonas, kuriam dalyvaujant galimos naujo tipo reakcijos, vykstančios be pasikeitimo krūviu. Iš tikrųjų, po dešimties metų tokius procesus, o dar po dešimtmečio ir visus tris vektorinius bozonus pavyko stebėti eksperimentiškai.

Aštuntojo dešimtmečio pradžioje M. Gell-Mann'as, H. Fritzsch'as, S. Weinberg'as ir kiti išplėtojo stipriosios sąveikos teoriją, pavadintą kvantine chromodinamika. Ji remiasi spalvotų kvarkų hipoteze bei, kaip ir elektrosilpnosios sąveikos teorija, kalibruotinių laukų matematinio aparatu. Paaikškėjo, kad stipriąją sąveiką perduoda net aštuonios dalelės, vadinamos gliuonais (angl. *glue* – klijai).

1975 m. pagaliau buvo gautas pirmasis netiesioginis kvarkų egzistavimo įrodymas – vykstant priešpriešinių elektronų ir pozitronų pluoštelių susidūrimui, buvo stebėtas kvantinės chromodinamikos numatytas procesas – dviejų hadronų srautų susidarymas, lydintis kvarko ir antikvarko poros atsiradimą dalelių anihiliacijos metu. O negalimumas stebėti laisvus kvarkus buvo paaiškintas neįprasta jų sąveikos ypatybe – didėjant atstumui, ji nesilpnėja. Tai aprašo reliatyvistinis stygos modelis, pasiūlytas 1970 m. Y. Nambu ir L. Susskind'o, – kvarkų pora sudaro tarsi stygą su tomis dalelėmis



16.9 pav. Z^0 dalelės masės matavimo rezultatai, liudijantys, kad egzistuoja tik trys fundamentaliųjų dalelių kartos. Kreivės - teoriniai skaičiavimai, taškai - eksperimentiniai rezultatai.

zistavimo įrodymo, 1974 m. buvo aptiktas J/ψ mezonas, sudarytas iš žaviojo kvarko ir jo antikvarko (B. Richter'io ir S. Ting'o grupės) (tai sukėlė žaviųjų mezonų ir barionų atradimų seriją), 1975 m. dar atrastas sunkusis leptonas – tauonas (M. Perl ir kt.), o 1977 m. ν (ipsilon) mezonas (L. Lederman ir kt.), tad teko numatyti penktąjį – gelminį kvarką ir jo požymį (aromatą) – sunkį (tai davė pradžią naujai sunkiųjų dalelių šeimai). Pagaliau 1979 m. buvo stebėti hadronų srautai, netiesiogiai liudijantys apie gliuonų egzistavimą (C. Berger ir kt.). 1983 m. dvi eksperimentatorių grupės, vadovaujamos C. Rubbia ir P. Darriulat, naudodamosi 1981 m. CERN pradėjusiu veikti protonų ir antiprotonų priešpriešinių srautų greitintuvu, atrado visus tris tarpinius vektorinius bozonus – W^- , W^+ ir Z^0 , perduodančius silpnąją sąveiką.

Tauono atradimas ir krintančiojo kvarko įvedimas atskleidė trečiąją fundamentaliųjų dalelių kartą. Norint išlaikyti simetriją tarp leptonų ir kvarkų, prireikė dar vieno neutrino,

jos galuose; didelė jėga veikiant stygą, ją galima nutraukti, bet susidaro dvi stygos, kurių galuose vėlgii yra kvarkai.

Aštuntajame dešimtmetyje buvo sukurti naujos kartos greitintuvai: 400–500 GeV protonų sinchrotronai Fermi nacionalinėje greitintuvų laboratorijoje (*Fermi-lab*) Batavijoje (JAV) ir tarptautiniame branduolinių tyrimų centre CERN Ženevoje (Šveicarija), bei 8–45 GeV elektronų ir pozitronų priešpriešinių srautų greitintuvai Stanforde (JAV), Hamburge (Vokietija) ir kiti. Jais naudojantis, buvo padaryta svarbių atradimų: be jau minėto netiesioginio kvarkų egzistavimo įrodymo, 1974 m. buvo aptiktas J/ψ mezonas, sudarytas iš žaviojo kvarko ir jo antikvarko (B. Richter'io ir S. Ting'o grupės) (tai sukėlė žaviųjų mezonų ir barionų atradimų seriją), 1975 m. dar atrastas sunkusis leptonas – tauonas (M. Perl ir kt.), o 1977 m. ν (ipsilon) mezonas (L. Lederman ir kt.), tad teko numatyti penktąjį – gelminį kvarką ir jo požymį (aromatą) – sunkį (tai davė pradžią naujai sunkiųjų dalelių šeimai). Pagaliau 1979 m. buvo stebėti hadronų srautai, netiesiogiai liudijantys apie gliuonų egzistavimą (C. Berger ir kt.). 1983 m. dvi eksperimentatorių grupės, vadovaujamos C. Rubbia ir P. Darriulat, naudodamosi 1981 m. CERN pradėjusiu veikti protonų ir antiprotonų priešpriešinių srautų greitintuvu, atrado visus tris tarpinius vektorinius bozonus – W^- , W^+ ir Z^0 , perduodančius silpnąją sąveiką.



16.10 pav. Šeštojo kvarko atradimo autorių sąrašas, užimantis keletą puslapių.



16.11 pav. Protonų ir antiprotonų priešpriešinių srautų greitintuvas Fermi nacionalinėje greitintuvų laboratorijoje (vaizdas iš lėktuvo). Juo naudojantis, buvo atrastas šeštasis kvarkas.

pavadinto τ neutrinu, taip pat šeštojo – viršūninio kvarko. Atrodė, kad fundamentaliųjų dalelių skaičius ima plėstis, kaip anksčiau elementariųjų dalelių, tačiau 1989 m. buvo gautas įrodymas, kad egzistuoja tik trys fundamentaliųjų dalelių kartos. Tai liudijo Stanforde (JAV) 150 mokslininkų grupės atlikti eksperimentai stebint tarpinio bozono Z^0 susidarymą. Jo gyvavimo trukmė priklauso nuo galimų suirimo būdų skaičiaus, o šis savo ruožtu – nuo dalelių kartų skaičiaus. Kuo trumpesnė dalelės gyvavimo trukmė, tuo didesnė jos masės matavimo rezultatų sklaida dėl neapibrėžtumų sąryšio tarp matavimo laiko (neviršijančio gyvavimo trukmės) ir dalelės energijos, arba masės. Z^0 bozono tyrimo rezultatai atitiko trijų kartų variantą (16.9 pav.). Jį patvirtino ir kosmologiniai argumentai – santykinis helio izotopų ir deuterio paplitimas prieštarauja kosmologiniams modeliams, įvedantiems daugiau kaip trijų tipų neutrinus.

Netrukus pavyko atrasti trūkstantus fundamentaliųjų dalelių rinkinio objektus. 1995 m. maždaug tūkstančio fizikų ir inžinierių grupė, naudodamasi *Fermilab* veikiančiu protonų ir antiprotonų priešpriešinių srautų greitintuvu, aptiko šeštąjį, patį masyviausią (beveik aukso atomo masės) kvarką.

Susidariusi viršūninio kvarko ir jo antikvarko pora iš karto suirdavo į visą kaskadą dalelių, kurių registravimas ir leido padaryti išvadą apie to kvarko egzistavimą. O 2000 m. toje pačioje laboratorijoje ir naudojantis tuo pačiu greitintuvu buvo atrastas ir τ neutrinas.

Fizikus ypač domino dar viena labai svarbi fundamentalioji dalelė – vadinamasis Higgs'o bozonas. Jį 1964 m. numatė P. Higgs'as kaip lauko kvantą, kuris sąveikaudamas su silpnosios sąveikos tarpiniais bozonais suteikia jiems masę. Vėliau prieita išvada, kad ir kitų elementariųjų dalelių masės kilmę galima paaiškinti jų sąveika su Higgs'o lauku. Tačiau paties Higgs'o bozono masę turėjo būti gana didelė, tad jo paieškos tapo įmanomos tik rekonstravus CERN veikusių elektronų ir pozitronų priešpriešinių srautų greitintuvą į Didįjį hadronų koliderį, kuriame susiduria du priešpriešiais beveik šviesos greičiu judantys protonų srautai. Čia 2012 m. dviem skirtingais detektoriais buvo aptikta maždaug 133 protono masių dalelė, atitinkanti Higgs'o bozono savybes.

Tas atradimas vainikavo elementariųjų dalelių teorijos, vadinamos Standartiniu modeliu, kūrimą. Jis aprašo visas žinomas elementarias daleles ir tarp jų veikiančias elektromagnetinę, stipriąją ir silpnąją sąveikas. Modelio pagrindą sudaro fundamentaliųjų dalelių lentelė, į kurią įeina trys kvarkų, elektronų bei neutrinų kartos, taip pat bozonai, perduodantys tas tris sąveikas ir Higgs'o bozonas. O kartu su antidalelėmis ir įvairių spalvų kvarkais yra net 61 fundamentalioji dalelė.

Standartinis modelis neaprašo gravitacinės sąveikos, nes kol kas nėra sukurta kvantinės gravitacijos teorijos. Modelis nenumato ir tamsiąją medžiagą sudarančių elementariųjų dalelių egzistavimo. Dar vieną jo trūkumą atskleidė neutrinų tyrimai.

Pietų Dakotoje (JAV), nebeveikiančioje aukso kasykloje, pusantro kilometro gylyje įrengus neutrinų detektorių – didžiulę cisterną storomis švino sienomis, pripildytą specialaus fluorescuojančiojo skysčio, 1970 m. pirmą kartą buvo užregistruoti Saulės skleidžiami elektroniniai neutrinais. Jų aptikta tris kartus mažiau, negu turėtų susidaryti pagal standartinį Saulės modelį. Tą mįslę pavyko išspręsti tik maždaug po trisdešimties metų, naudojantis naujos kartos neutrinų detektoriais *Super-Kamiokande* (Japonija) ir *Sudbury* (Kanada): paaiškėjo, kad vienos rūšies neutrinais gali virsti kitos rūšies neutrinais. Tai reiškė, jog jų rimties masė nėra lygi nuliui, kaip numato Standartinis modelis, nors ir labai maža. Tiesa, tuo būdu buvo nustatyta ne neutrino masė, o tik dviejų rūšių neutrinų masių skirtumas, kuris yra tik tūkstantosios elektronvolto dalys. Antra vertus, duomenys apie Visatos raidą leidžia įvertinti, kad visų trijų rūšių neutrinų masių suma negali būti didesnė negu 0,3 eV.

Taigi šiulaikinė elementariųjų dalelių teorija nėra užbaigta ir galutinė. Yra plėtojamos bendresnės teorijos. Anot vienos iš jų, kiekviena Standartinio modelio fundamentalioji dalelė turi partnerį, kurio sukinyš skiriasi $1/2$ ir yra gerokai didesnės masės. Kita teorija, bandanti suderinti elementariųjų dalelių fiziką su kvantine gravitacija, įveda net vienuolikos matmenų erdvę; papildomų matmenų nestebime, nes jie yra kompaktifikuoti (susivynioję į labai mažo spindulio vamzdelius). Tos teorijos nėra paremtos eksperimentiniais rezultatais, yra siūlomi įvairūs variantai.

SANTRAUKA

1919 m. E. Rutherford'as, apšaudydamas α dalelėmis azoto dujas, atrado pirmąją į atomo branduolių sudėtį įeinančią dalelę – protoną. Kartu tai buvo pirmoji dirbtinė reakcija, vieną cheminį elementą pavertusi kitu. 1931 m. W. Pauli, siekdamas paaiškinti radioaktyviųjų branduolių β skilimą, teoriškai įvedė labai skvarbią neutraliąją dalelę – neutriną. Ypač sėkmingi atomo branduolio fizikai buvo 1932 m. – tada J. Chadwick'as atrado neutroną ir W. Heisenberg'as išplėtojo atomų branduolių, sudarytų iš protonų ir neutronų, teoriją. Branduolių stabilumą jis paaiškino tarp nukleonų veikiančia stipriąja sąveika, o po metų E. Fermi, kurdamas β skilimo teoriją, numatė dar vieną fundamentinę sąveiką – silpnąją.

Atomo branduolys – sudėtinga daugelio stipriai sąveikaujančių dalelių sistema, tad jo įvairioms savybėms bei įvairiems branduoliams aprašyti buvo pasiūlyta keletas artutinių modelių – lašo, sluoksnių, kolektyvinis ir kt., kurie ne paneigia, o papildo vienas kitą.

Neutrono atradimas suteikė fizikams efektyvią priemonę veikti branduolius, netgi sunkiųjų atomų. 1938 m. O. Hahn'as ir F. Strassmann'as, apšaudydami neutronais uraną, gavo elementus iš periodinės lentelės vidurio. L. Meitner ir O. Frisch'as interpretavo tai kaip naujo tipo – branduolių dalijimosi – reakciją. Paaiškėjus, kad šios reakcijos metu išsiskiria daug energijos ir atsiranda naujų laisvųjų neutronų, atsivėrė reali branduolinės energijos panaudojimo galimybė. Ji buvo realizuota Antrojo pasaulinio karo metais JAV bendromis amerikiečių ir emigrantų europiečių mokslininkų pastangomis: 1942 m. pradėjo veikti pirmasis branduolinis reaktorius – urano katilas, o 1945 m. buvo atliktas bandomasis atominės bombos sprogdinimas. Šeštojo dešimtmečio pradžioje JAV ir SSRS buvo sukurta vandenilinė bomba. Antra vertus, valdomos termobranduolinės sintezės reakcijos dar iki šiol nepavyko įgyvendinti, nors dedamos didelės pastangos.

Sunkiųjų elementų atomus apšaudant neutronais, kuriuos skleidžia branduoliniai reaktoriai, o vėliau – jonais, pagreitintais dalelių greitintuvuose,

buvo susintetinta per dvidešimt transuraninių elementų, o XXI a. pradžioje periodinė lentelė pratęsta iki 118-ojo elemento. Kurti naujus supersunkius elementus skatina ne tik siekis suprasti, kokias fizines ir chemines savybes jie įgyja, bet ir įdomi hipotezė, kad toje nestabilumo „jūroje“ egzistuoja stabilumo „salos“, kurias atitinka branduoliai, turintys užpildytus protonų bei neutronų sluoksnius. Tačiau kol kas ilgaamžių supersunkių elementų aptikti nepavyko.

Elementariųjų dalelių fizika ėmė formuotis kaip atskira fizikos sritis po to, kai paaiškėjo, kad egzistuoja dalelės, neįeinančios į atomų sudėtį: 1931 m. buvo numatytas neutrinas, 1932 m. C. Anderson'as kosminiuose spinduliuose užregistravo elektrono antidalelę pozitroną, o 1936 m. jis atrado miuoną. Nors dar 1932 m. E. Lawrence'as sukonstravo elektringųjų dalelių greitintuvą – ciklotroną, tačiau tokie įrenginiai tapo pagrindine naujų dalelių tyrimo priemone tik maždaug nuo 1955 m., ligi tol jų paieškos vyko daugiausia kosminiuose spinduliuose.

Sparti elementariųjų dalelių fizikos raida prasidėjo po Antrojo pasaulinio karo, 1947 m. atradus π mezonus, o netrukus ir netikėtus K mezonus. 1951 m. aptiktas pirmasis hiperonas, o dar po metų – pirmoji labai trumpai gyvuojanti dalelė – rezonansas. Norint paaiškinti elementariųjų dalelių reakcijas, teko išvelgti keletą naujų kvantinių jų savybių – barioninį ir leptoninį skaičius, taip pat keistumą; reikėjo suformuluoti jų tvermės dėsnius. Antra vertus, paaiškėjo, kad silpnoji sąveika gali pažeisti lyginumo ir netgi kombinuotojo lyginumo tvermės dėsnius. 1954 m. C. Yang'as ir R. Mills'as išplėtojo kalibruotinių laukų teoriją, kuri vėliau tapo fundamentinių sąveikų tarp elementariųjų dalelių teorijos pagrindu. Tiesa, pirmąją kalibruotinio lauko teoriją – kvantinę elektrodinamiką – dar 1948–1949 m. sukūrė S. Tomonaga, R. Feynman'as ir kiti.

1956 m. pavyko eksperimentiškai atrasti neutriną (F. Reines, C. Cowan), o 1962 m. – ir antrąją – miuoninį neutriną (L. Lederman ir kt.). Ypač sparčiai augo hadronų – dalelių, kurios dalyvauja stipriojoje sąveikoje – skaičius. 1964 m. M. Gell-Mann'as ir G. Zweig'as iškėlė hipotezę, kad visi hadronai yra sudaryti iš fundamentaliųjų dalelių – kvarkų. Iš pradžių buvo numatyti trys kvarkai, po to palaiptiesniui jų skaičių teko padidinti iki šešių, kartu postuluojuant ir naujas kvarkų bei iš jų sudarytų dalelių savybes. Be to, teko padaryti prielaidą, kad kiekvienas kvarkas gali būti trijų rūšių (spalvų).

1967–1968 m. S. Weinberg'as ir A. Salam'as išplėtojo bendrą elektromagnetinės ir silpnosios sąveikų teoriją. Anot jos, po Visatos Didžiojo sprogi- mo, esant labai aukštai temperatūrai, egzistavo viena elektrosilpnoji sąveika, kuri vėliau išsiskyrė į dvi sąveikas. Ši teorija numatė naujo tipo elementariųjų

dalelių reakcijas, kurios buvo atrastos 1973 m., o dar po dešimtmečio buvo aptiktos ir silpnąją sąveiką perduodančios dalelės – W^- , W^+ ir Z^0 bozonai.

Aštuntojo dešimtmečio pradžioje sukurta stipriosios sąveikos teorija – kvantinė chromodinamika – remiasi prielaida, kad stipriąją sąveiką perduoda net aštuonios dalelės, vadinamos gliuonais 1975 m. buvo gautas pirmasis netiesioginis kvarkų, o po poros metų ir gliuonų egzistavimo įrodymas. 1975 m. buvo atrastas dar vienas leptonas – tauonas. Tad iš viso susidarė trys fundamentaliųjų dalelių – leptonų ir kvarkų – kartos, kiekvienoje iš jų yra po dvi abiejų rūšių daleles (1989 m. eksperimentiškai įrodyta, kad daugiau kartų būti negali). Atskirą fundamentaliųjų dalelių grupę sudaro bozonai, perduodantys fundamentines sąveikas. Tą elementariųjų dalelių teoriją, vadinamą Standartiniu modeliu, patvirtino šeštojo kvarko, τ neutrino, bei Higgs'o bozono (lemiančio kitų dalelių masę) atradimas. Tačiau Standartinis modelis nėra galutinė elementariųjų dalelių teorija, nes jis neaprašo gravitacinės sąveikos, nenumato tamsiąją medžiagą sudarančių elementariųjų dalelių egzistavimo, teigia, jog neutrinų rimties masė turi būti lygi nuliui, o tai paneigta eksperimentais. Tad yra plėtojamos bendresnės teorijos, numatančios naujas elementariąsias daleles, įvedančios papildomus erdvės matmenis.

XVII. KONDENSUOTŲJŲ TERPIŲ IR LAZERIŲ FIZIKA

Tai labai plati šiuolaikinės fizikos sritis, iš tikrųjų – dvi sritys, kurias sieja tiek joms būdingi įvairūs taikymai, tiek ir ta aplinkybė, kad lazeriuose kaip aktyvioji terpė neretai naudojamas kietasis kūnas arba skystis. Makroskopinių kvantinių reiškinių, kurie stebimi įvairiose terpėse, tyrimai aprašyti atskirame poskyryje. Beje, lazerio spinduliuotė, kurią suderintai skleidžia daugelis atomų ir lemia jų kvantinės savybės, taip pat gali būti priskirta prie tokių reiškinių (neatsitiktinai bendresnis lazerio pavadinimas yra kvantinis generatorius); tai papildomai susieja šias dvi sritis. Trumpoje apžvalgoje daugiausia dėmesio skirsime fizikos idėjų ir atradimų, o ne taikymų raidai.

17.1. KIETOJO KŪNO FIZIKA

Iki kvantinės mechanikos sukūrimo kietojo kūno fizika buvo empirinis mokslas: įvairios medžiagų savybės – tamprumas, plastiškumas, šiluminis ir elektrinis laidumas, dielektrinė bei magnetinė skvarba ir kt. – buvo aprašomos apytiksliais dėsningumais su koeficientais, nustatomais eksperimentiškai, nagrinėjamos atskirai viena nuo kitos ir beveik nesiejamos su vidine medžiagos sandara. Atradus elektroną, kaip minėta 13 skyriuje, buvo sukurtos elektrinio laidumo ir magnetizmo teorijos, kurios pagrindė Ohm'o ir kai kuriuos kitus dėsnius. Vis dėlto klasikinė elektroninė laidumo teorija netgi negalėjo paaiškinti, kodėl vienos medžiagos yra laidininkai, o kitos – dielektrikai.

Remiantis taisyklinga monokristalų forma bei jų savybių priklausomybe nuo krypties, buvo spėjama, kad atomai arba molekulės kristale sudaro taisyklingą gardelę, ir numatyti galimi jos tipai. Tačiau tik XX a. išrastas eksperimentinis būdas tam išsidėstymui tirti. Atradus Röntgen'o spindulius, buvo pasiūlytos kelios jų prigimties hipotezės; anot vienos iš jų – tai labai trumpos elektromagnetinės bangos. M. von Laue kilo mintis, kad jų ilgis yra tos pačios eilės kaip ir atstumai tarp atomų ar molekulių kristale, taigi kristalinė gardelė sudaro natūralią difrakcinę gardelę šiems spinduliams. Laue prašymu du jauni eksperimentatoriai W. Friedrich'as ir P. Knipping'as patikrino šią hipotezę. Nukreipę Röntgen'o spindulių pluoštelį į ploną kristalo plokštelę, už jos padėtoje fotografinėje plokštelėje jie gavo Laue numatytą difrakcinį vaizdą.

W.H. Bragg'as sukonstravo Röntgen'o spindulių spektrometrą ir

išplėtojo metodą gardelės parametrams nustatyti. Jis kartu su savo sūnumi W.L. Bragg'u 1913 m. iššifravo pirmojo – valgomosios druskos – kristalo sandarą. Juodu priėjo išvadą, kad gardelės mazguose yra natrio ir chloro atomai, o ne molekulės, kaip buvo manyta anksčiau. Bragg'ų tyrimai davė pradžią Röntgen'o struktūrinės analizės metodui, kuris buvo sėkmingai pritaikytas ne tik neorganinių kristalų, bet ir organinių medžiagų molekulių sandarai tirti.

Naujas kietojo kūno fizikos etapas prasidėjo sukūrus kvantinę mechaniką. Dar ją plėtojant, buvo suprastas magnetinių reiškinių ryšys su atomo sandara (W. Pauli, J. van Vleck, W. Heisenberg ir kt.). Išorinis magnetinis laukas kiekviename kūno atome sukelia papildomą elektronų judėjimą aplink branduolį ir tokiu būdu sukuria magnetinį lauką, kurio kryptis priešinga išoriniam laukui. Tai ir yra diamagnetizmo, būdingo visoms medžiagoms, pagrindinė priežastis. Metalai dar pasižymi ir papildomu diamagnetizmu, atsirandančiu dėl laisvųjų elektronų judėjimo; šį reiškinį 1930 m. paaiškino L. Landau. Kita vertus, paramagnetizmas buvo paaiškintas elektronų orbitiniu ir sukiniu magnetiniais momentais (W. Pauli ir kt.). Dėl elektrono judėjimo aplink branduolį atsiranda jo orbitinis momentas, o su elektrono sukiniu yra susijęs savasis magnetinis momentas. Tiesa, jei elektronų sluoksnis uždaras, tai jo pilnutiniai magnetiniai momentai lygūs nuliui. Tad paramagnetizmas būdingas medžiagoms, kurių atomai turi atvirus elektronų sluoksnius, ypač vidinius d^N ir f^N sluoksnius (išorinis laukas nukreipia atomų magnetinius momentus ta pačia – lauko kryptimi). Be to, nedidelį indėlį gali duoti ir atomo branduolio magnetinis momentas. O feromagnetizmas buvo paaiškintas kaip liekamasis paramagnetizmas, kurį lemia atomų tarpusavio sąveika ir domenų – sričių su viena kryptimi orientuotais atomų magnetiniais momentais – susidarymas. Tokie feromagnetiniai domenai buvo aptikti eksperimentiškai dar 1919 m. Kryptingą atomų išsidėstymą domene W. Heisenberg'as ir J. Frenkelis paaiškino savita, neturinčia klasikinio analogo, pakaitine sąveika tarp atomų su atvirais elektronų sluoksniais. L. Landau įrodė, kad kai kuriose medžiagose ši sąveika nukreipia kaimyninių atomų magnetinius momentus priešingomis kryptimis, tad, nesant lauko, magnetinės jų savybės nėra stabilios. Tokios medžiagos buvo pavadintos antiferomagnetikais. L. Landau išplėtojo matematinę antiferomagnetizmo, o kartu su E. Lifšicu – ir feromagnetizmo teoriją.

Tuo pačiu metu buvo vystoma ir metalų elektrinio bei šiluminio laidumo kvantinė teorija. Elektronų dujoms metale aprašyti vietoj klasikinės Maxwell'o ir Boltzmann'o statistikos buvo pritaikyta Fermi ir Dirac'o statistika.

1928–1930 m. vokiečių fizikas F. Bloch'as ir prancūzų fizikas L. Brillouin'as sukūrė kietojo kūno energijos juostų teorijos pagrindus. Ji re-

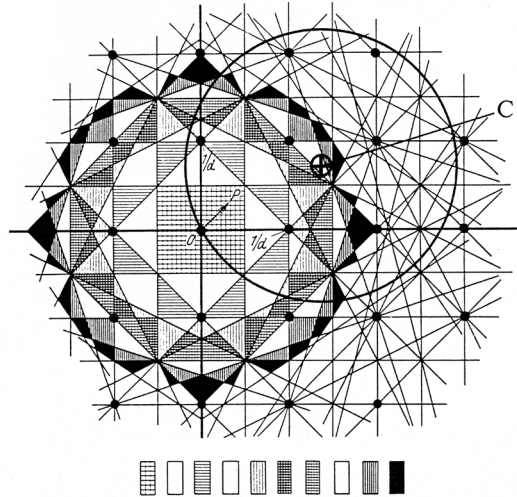
miasi supaprastintu vienelektroniu modeliu, kuris vis dėlto atspindi esmines daugelio atomų sistemos savybes. Pauli principas, teigiantis, kad du elektronai negali užimti tos pačios būsenos, galioja visai sistemai, tad vienelektroniai lygmenys kietajame kūne sudaro energijos juostas. Tos juostos, atitinkančios įvairius elektronų sluoksnius, dažniausiai nesusilieja, tarp jų lieka draudžiamosios energijos tarpai. Uždaruosius elektronų sluoksnius atitinkančiose energijos juostose visi lygmenys yra užimti, ir tokių juostų elektronai pernašos reiškiniuose vaidina tik pasyvų vaidmenį, o įvairias kietojo kūno savybes lemia iš dalies užpildyta valentinė juosta, kurią sudaro atvirų, valentinių sluoksnių elektronų energijos. Jie užima visas žemiausias būsenas su energija $E \leq E_F$, čia E_F yra vadinamoji Fermi energija (jos pavadinimas susijęs su Fermi ir Dirac'o statistika, galiojančia elektronams).

Valentinės juostos elektronai gali judėti kietajame kūne, ir jų kinetinė energija, anot F. Bloch'o, apibūdinama kvaziimpulsu $\vec{p} = \hbar \vec{k}$, čia \vec{k} yra banginis vektorius. F. Bloch'as užrašė elektrono, judančio periodiniame kristalinės gardelės lauke, banginę funkciją (Bloch'o funkcija).

Labai vaisinga pasirodė idėja nagrinėti kietojo kūno ypatumus naudojantis banginio vektoriaus \vec{k} erdve, kurios koordinatės sudaro jo dedamosios k_x , k_y ir k_z . Vieno elektrono būseną šioje erdvėje vaizduoja taškas, o užimtų būsenų visumą aprašo Fermi paviršius $E(\vec{k}) = E_F$. Kadangi elektronų judėjimo įvairiomis kryptimis kristale sąlygos skirtingos, tai Fermi paviršius yra sudėtingo pavidalo, kuris teikia daug informacijos apie medžiagos savybes.

Kaip parodė L. Brillouin'as, tam tikras \vec{k} vertės turintys elektronai atsispindi nuo kristalo plokštumų. Tuos ypatingus taškus sujungus tarpusavyje, gaunami paviršiai, kurie skiria vieną nuo kitos \vec{k} erdvės dalis, vadinamas Brillouin'o zonomis (17.1 pav.). Jos apibūdina ne tik elektronų, bet ir įvairių sužadinių sklaidimą kristale.

Remdamasis energijos juostų sandara, A. Wilson'as 1931 m. suskirstė visas kristalines medžiagas į dielektrikus (valentinė juosta yra visiškai užpildyta, o nuo aukštesnės – tuščios



17.1 pav. Brėžinys iš L. Brillouin'o straipsnio, vaizduojantis jo pasiūlytų zonų skaičiavimą. Skirtingos zonos užstričiuotos įvairiu būdu.

laidumo – ją skiria plati draudžiamoji juosta), metalus (valentinė juosta yra užpildyta tik iš dalies) ir puslaidininkius (valentinė juosta yra užpildyta, kaip ir dielektrikuose, bet draudžiamoji juosta yra siauresnė, tad per ją elektronai gali būti sužadunami į laidumo juostą). Jis iškėlė idėją, kad, įterpus į puslaidininkį priemaišų, kurių užimtieji lygmenys yra arti laidumo juostos, joje dėl šiluminių sužadinių lengvai atsiranda šiek tiek laisvųjų elektronų, o įterpus kitokių priemaišų, kurios lengvai pagrobia elektronus ir turi laisvų lygmenų arti puslaidininkio valentinės juostos, joje atsiranda tuščių vietų – skylių – ir yra galimas skylinis laidumas. Tai paaiškino metais anksčiau nustatytą dviejų rūšių elektroninių (n tipo) ir skylinių (p tipo) puslaidininkių egzistavimą.

Maždaug tuo pačiu metu buvo suprasta, kad nagrinėjant kristalus negalima apsiriboti tobulosios gardelės modeliu, kad net nedidelis jos defektų skaičius gerokai pakeičia kai kurias medžiagų savybes. Dar 1927 m. J. Frenkelis buvo įrodęs, kad tobuloji gardelė beveik netrikdo elektronų judėjimo, o pasipriešinimą jam daugiausia lemia gardelės atomų šiluminis svyravimas, defektai ir priemaišos.

1933 m. J. Taylor'as nustatė pagrindinį defektų tipą – dislokaciją, kristalo viduje nutrūkstančią kristalografinę plokštumą, ir išplėtojo dislokacijų teoriją. Taylor'o ir kitų mokslininkų darbuose buvo aprašytos dislokacijų atsiradimo sąlygos, jų sklidimas, tarpusavio sąveika, įtaka ne tik medžiagos plastiškumui, bet ir įvairioms kitoms savybėms. Be minėtos kraštinės dislokacijos, buvo atrasta sraigtinė dislokacija, o vėliau ir kitos jų rūšys.

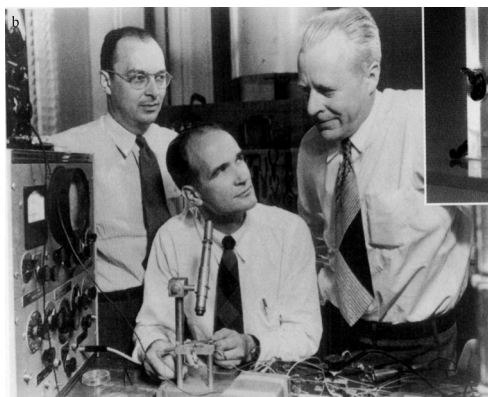
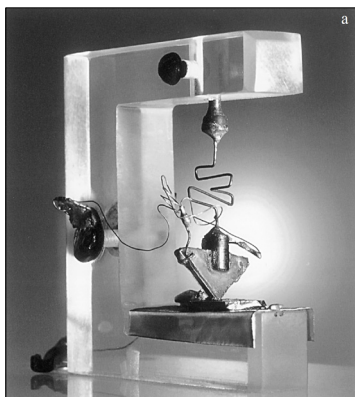
Labai naudinga kietojo kūno teorijoje tapo kvazidalelės sąvoka. Netgi elektronas, judantis kristale, turi kitokias savybes negu laisvasis elektronas; antai jo masė gali būti didesnė ar mažesnė negu tikroji elektrono masė, netgi tapti neigiama. Juk kvazielektronas – tik patogus apytikris vaizdinys, apibūdinantis ne vien elektroną, bet ir gardelę, kurioje jis juda, jų tarpusavio sąveiką. Tuščios elektrono vietos judėjimą kristale patogų aprašyti kaip kvazidalelės – skylės, turinčios teigiamąjį elektros krūvį, judėjimą. 1931 m. J. Frenkelis teoriškai įvedė eksitoną – kristale migruojantį sužadimą, kuris nesusijęs su krūvio ar masės pernaša. Vėliau buvo pasiūlytas vaizdas jo modelis – tai skylės ir elektrono pora, susieta tarpusavio traukos. Skylė ir elektronas gali priklausyti ne tik tam pačiam gardelės mazgui, bet ir skirtingiems mazgams. Kadangi eksitono ryšio energija maža, palyginti su gardelės atomų ryšio energijomis, eksitonus galima nagrinėti kaip savotiškas dujas kristalo viduje. Didėjant eksitonų tankiui ir esant pakankamai žemai temperatūrai, tos „dujos“ gali kondensuotis ir sudaryti eksitonų „skystį“, jo lašai puslaidininkiuose buvo stebėti eksperimentiškai aštuntajame dešimtmetyje.

Veikiant kristalą šviesa, laukais ar mechaninėmis jėgomis, kietajame

kūne susidaro ir sklinda įvairūs sužadainimai ir bangos. Jie buvo aprašyti, naudojantis bangos ir dalelės dvejojumu, kaip įvairios kvazidalelės – fononai, poliaronai, magnonai, plazmonai ir kt. Itin plačiai kietojo kūno teorijoje vartojama fonono (kristalinės gardelės atomų svyravimo kvanto) sąvoka, kurią 1930 m. įvedė I. Tammas. Kvazidalelių teoriją išplėtojo L. Landau ir jo mokiniai.

Kvantinės kietojo kūno teorijos pagrindai buvo sukurti trumpiau nei per dešimtmetį po kvantinės mechanikos sukūrimo. Vėliau vyko ne toks spartus, bet nuoseklus ir vaisingas teorinių bei eksperimentinių metodų tikslinimas, jų taikymas stebimiems dėsningumams paaiškinti ir naujiems reiškiniams numatyti bei atrasti (o jų tokiose sudėtingose sistemose galima didelė įvairovė). Teorija paremtos paieškos atskleidė naujus netikėtus taikymus. Ypač tuo pasižymėjo puslaidininkių fizika. Tiesa, kai kurie jos prietaisai – kristaliniai detektoriai, fotoelementai – buvo išrasti dar XX a. pradžioje. Tačiau tik supratęs puslaidininkių elektrinio laidumo prigimtį ir jautraus jų reagavimo į įvairius poveikius priežastis, taip pat sukūrus labai grynų medžiagų, ypač monokristalų, gavimo technologijas, atsiskleidė unikalios puslaidininkių taikymo elektronikoje galimybės.

1940 m. JAV mokslinių tyrimų korporacijoje „Bell Telephone Laboratories“ buvo išrasta pn sandūra – dviejų skirtingų puslaidininkių sandūra, kuri gerai praleidžia elektros srovę viena kryptimi ir beveik nepraleidžia jos kita kryptimi. Nuo to laiko korporacijoje pradėta vykdyti išlaptinta programa, kurios tikslas buvo sukurti kietakūnį vakuuminės lempos analogą. Tik 1948 m. atkaklios paieškos buvo vainikuotos sėkme: J. Bardeen’as ir W. Brattain’as išrado pagrindinį puslaidinikinį prietaisą – tranzistorių. W. Shockley 1949 m. sukūrė pn sandūros teoriją, o dar po dvejų metų – nuoseklią tranzistoriaus teoriją. Pirmieji tranzistoriai pranoko vakuuminės lempas mažomis nau-



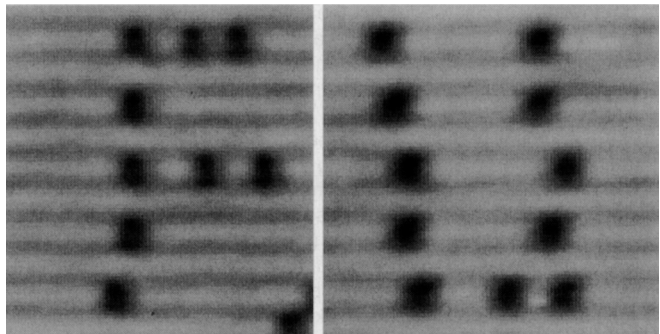
17.2 pav. Pirmasis tranzistorius (a) ir jo išradėjai: J. Bardeen’as (kairėje), W. Brattain’as (dešinėje) bei šio prietaiso teorijos kūrėjas W. Shockley (viduryje) (b).

dojamos elektros energijos ir įtampos vertėmis, tačiau dar buvo nepatikimi ir nestabilūs. Tik atlikus nuodugnius tyrimus, gerokai patobulinius monokristalų auginimo ir legiravimo technologiją, šeštojo dešimtmečio viduryje buvo sukurti miniatiūriniai, patikimi tranzistoriai ir diodai. Deja, dėl mažų šių prietaisų matmenų darėsi sunku sujungti juos į elektrines grandines, tad kilo idėja formuoti visą elektroninį darinį viename puslaidininkio kristale. Pirmuosius integrinius grandynus, sudarytus iš kelių dešimčių elementų, 1958–1959 metais sukūrė amerikiečių inžinierius J. Kilby, o po poros metų jau pradėta serijinė jų gamyba. Sparčiai plėtojant įvairius grandyno formavimo metodus – garinimą, nusodinimą, difuziją, ėsdinimą cheminėmis medžiagomis, apšaudymą jonų pluoštais ir kt., elementų tankis grandynuose nuo jų išradimo augo eksponentiškai, padvigubėdamas kas 1,7 metų. Tai leido sukurti naujų kartų kompiuterius, šiuolaikines ryšių priemones, automatizuoti įvairias žmogaus veiklos sritis, – mikroelektronikos įtaka civilizacijos raidai, matyt, bus svarbesnė negu knygų spausdinimo išradimas.

Šeštajame dešimtmetyje buvo pagaminti ir pirmieji efektyvūs šviesos diodai, kurių svarbiausias elementas – pn sandūra, paverčianti elektros srovę šviesos spinduliais. Šie prietaisai kartu su priešingo veikimo fotodiodais (puslaidininkiniais fotoelementais), paverčiančiais šviesą elektros srove, sudarė optinės elektronikos pagrindą.

1957 m. japonų fizikas L. Esaki eksperimentiškai atrado tunelinį reiškinį puslaidininkiuose ir sukūrė tunelinį diodą. Dar po kelerių metų amerikietis B. Josephson'as numatė tuneliavimą tarp dviejų superlaidžių sluoksnių, atskirtų dielektriko plėvele, – apie šį kvantinį makroskopinį reiškinį rašoma 17.2 poskyryje. Paaiškėjo, kad elektronų tuneliniai šuoliai labai svarbūs dirbtinai sukuriuose supergardenelėse, kurios sudaromos iš pasikartojančių labai plonų puslaidininkio sluoksnių (tokią sistemą galima nagrinėti kaip seką kvantinių duobių, atskirtų siaurais potencialo barjeriais). Supergardenelėse galima efektyviai keisti draudžiamosios juostos plotį ir valdyti krūvininkų judėjimą, tuo būdu sukelti ar sustiprinti įvairius elementarius procesus.

Taigi XX a. paskutiniaisiais dešimtmečiais kietojo kūno specialistai išmoko gaminti labai plonas (net kelių atomų sluoksnių) plėveles, daugiasluok-



17.3 pav. Raidės iš CO molekulių vario monokristalo paviršiuje.

snius ir kitokius mikroskopinius darinius. Tapo įmanoma juos konstruoti netgi iš atskirų atomų, tai iliustruoja monokristalo paviršiuje iš atomų sudarytos raidės (17.3 pav.). Medžiagų inžinerija atvėrė galimybes kurti medžiagas su iš anksto numatytomis reikiamomis savybėmis.

Puslaidininkų elektrinių savybių jautrumas išoriniam poveikiui – šviesai, šilumai, skvarbiajai spinduliuotei, elektriniams ir magnetiniams laukams, cheminėms medžiagoms, slėgimui ir kt. – leido sukurti įvairius detektorius, jutiklius bei matuoklius. Puslaidininkiniai prietaisai pradėti plačiai naudoti automatikoje, informacijos perdavimo ir apdorojimo sistemose.

Septintojo dešimtmečio pabaigoje buvo atkreiptas dėmesys ir į kitas medžiagas, pasižyminčias lengvai keičiamomis savybėmis, – skystuosius kristalus. Jie buvo atrasti dar XIX a. pabaigoje, bet laikyti tik įdomiu gamtos kuriozu. Skystieji kristalai yra takūs, tačiau jų molekulės sudaro sluoksnius, kuriuose išsidėsto viena kryptimi, atitinkamai derinasi ir molekulių kryptys gretimuose sluoksniuose. Ši nestabili pusiausvyra tarp tvarkos ir netvarkos buvo pritaikyta įvairiuose indikatoriuose, švieslentėse ir jutikliuose. Darinių susidarymą sudėtingose anizotropinėse terpėse – skystuosiuose kristaluose ir polimeruose – teoriškai aprašė prancūzų fizikas P. Gennes.

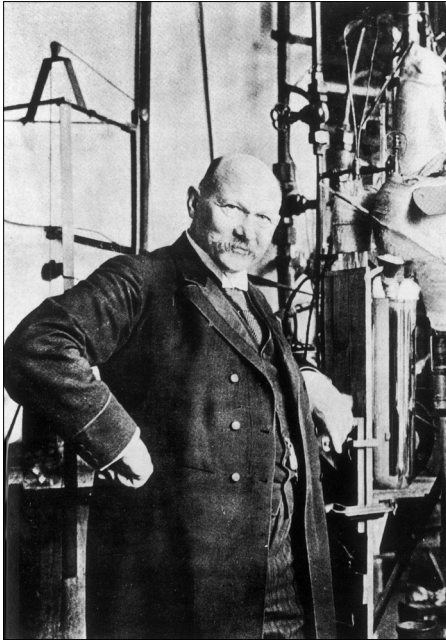
Kondensuotąsias terpes sudarančios daugelio dalelių sistemos, be abejo, dar slepia daugelį galimybių ir savybių, kurių tik dalis yra realizuota gamtoje. Tai, pavyzdžiui, liudija anglies, vieno iš žinomiausių cheminių elementų, naujų formų atradimas: fullerenų – rutulio pavidalo molekulių (1985 m.), nanovamzdelių – mikroskopinių tuščiavidurių vamzdelių (1991 m.) ir grafeno – vieno atomo sluoksnio kristalinės plėvelės (2004 m.). Jos savo išskirtinėmis savybėmis atveria naujas mikroelektronikos plėtros galimybes.

17.2. MAKROSKOPINIAI KVANTINIAI REIŠKINIAI

Mikrodalelėms būdingos kvantinės savybės sudėtingose sistemose susividurkina ir tiesiogiai nepasireiškia. Vis dėlto tam tikromis, ypatingomis sąlygomis kvantavimas ir kiti mikrodalelių ypatumai gali „išlįsti“ į paviršių ir makroskopinėse sistemose, tada yra stebimi paradoksai – mūsų įprastinės patirties požiūriu – reiškiniai.

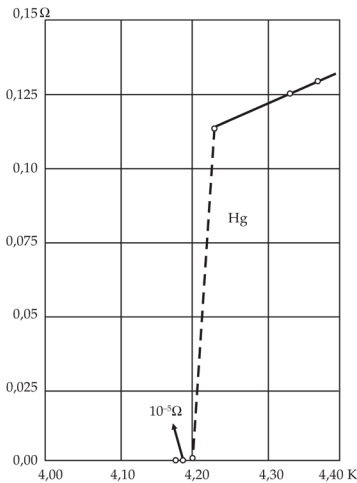
Superlaidumas. XX a. pradžioje pagrindinis žemųjų temperatūrų fizikos centras buvo Leideno universiteto laboratorija, vadovaujama H. Kamerlingh Onnes'o (1853–1926). Būtent čia 1908 m., atšaldžius helį iki 4,22 K, pavyko suskystinti ir šias ligi tol neįveiktas dujas. Naudojantis skystu heliu, tapo įmanoma tirti fizikinius reiškinius labai žemose temperatūrose arti absoliučiojo nulio.

W. Thomson'as buvo iškėlęs hipotezę, kad, temperatūrai artėjant prie



17.4 pav. Heike Kamerlingh Onnes savo laboratorijoje.

pavyko po truputį didinti aukščiausią kritinę (superlaidumo pasireiškimo) temperatūrą, tačiau beveik pusę amžiaus šio reiškinio prigimtis nebuvo suprašta.



17.5 pav. Gyvsidabrio varžos kitimas mažėjant temperatūrai (brėžinys iš H. Kamerlingh Onnes'o straipsnio).

nulio, laisvieji elektronai metaluose turi „prišalti“ prie atomų ir elektrinė varža tapti begalinė. H. Kamerlingh Onnes, priešingai, manė, kad varža turi išnykti, nes šiluminiai atomų svyravimai vis mažiau trukdo elektronams judėti. 1911 m., matuodamas gyvsidabrio varžos kitimą žemėjant temperatūrai, Onnes nustatė, jog 4,21–4,19 K intervale varža ėmė labai sparčiai mažėti ir matavimo paklaidų ($10^{-5} \Omega$) tikslumu visai išnyko (17.5 pav.). Netrukus jis aptiko, kad panašus reiškinys, jo pavadintas superlaidumu, stebimas ir švine, atšaldytame iki 7,2 K, bei niobyje esant 7,9 K temperatūrai. Antra vertus, geriausiai laidininkai – auksas ir sidabras – netapdavo superlaidūs net labai žemoje temperatūroje.

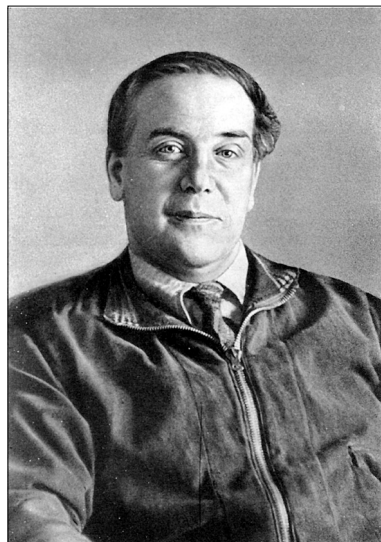
Vėliau, tiriant įvairius junginius,

Superlaidumo reiškinį 1957 m. paaiškino trys amerikiečių teoretikai: J. Bardeen'as (vienas iš tranzistoriaus kūrėjų), L. Cooper'is ir J. Schrieffer'is. L. Cooper'is įrodė, kad tarp elektronų, judančių metalo gardelėje, dėl jų sąveikos su svyruojančiais gardelės atomais atsiranda traukos jėga, kuri esant žemai temperatūrai gali būti pakankama elektronų poroms susidaryti. Tokia Cooper'io pora turi sveiką sūkinį, tad yra bozonas ir bet koks jų skaičius gali turėti tą pačią žemiausią energiją. O norint suardyti porą, jai reikia suteikti energiją, didesnę negu jos ryšio energija. Esant žemai temperatūrai, elektronų susidūrimai su gardelės atomais tampa per silpni tokiam kvantiniam šuoliui atlikti, tad elektronai juda be nuostolių.

Netgi superlaidumo teorijos sukūrimas nepadėjo atrasti medžiagų, kurios turėtų daug aukštesnę kritinę temperatūrą. Tik 1986 m. šveicarų fizikams G. Bednorz'ui ir A. Müller'ui pavyko aptikti aukštatemperatūrį superlaidumą (apie 35 K) metalooksidinėse keramikose – sudėtinguose junginiuose, turinčiuose kelių rūšių metalų ir deguonies. Tai sukėlė tokių junginių tyrimo protrūkį, ir per keletą metų ribinė superlaidumo temperatūra buvo pakelta maždaug šimtu laipsnių, taigi ši reiškinį tapo įmanoma stebėti šaldant medžiagą skystu azotu. Aukštatemperatūrio superlaidumo atsiradimo mechanizmas nėra galutinai išaiškintas iki šiol.

Supertakumas. Šaldant ir slegiant suskystintas dujas, jos sukietėja, tačiau to nepavyko padaryti su skystu heliu. Netgi artėjant prie absoliučiojo nulio, atomų svyravimai visai nenurimsta, išlieka vadinamieji nuliniai virpesiai, nes, anot Heisenberg'o neapibrėžtumo principo, atomai negali vienu metu įgyti tikslų greičio ir padėties verčių. Šie kvantinės prigimties virpesiai ir trukdo silpnai sąveikaujantiems helio atomams sukibti tarpusavyje. Taigi labai atšaldytas helis yra kvantinis skystis.

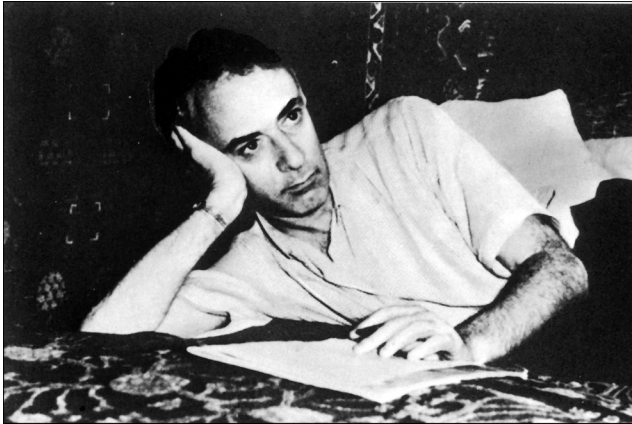
Normalaus skysto helio (He I) virtimą kita jo modifikacija (He II) 2,17 K temperatūroje pirmieji pastebėjo olandai W. Keesom'as ir jo dukra A. Keesom 1935 m. Jie nustatė, kad He II pasižymi ypatingu šiluminiu laidumu. 1938 m. rusų mokslininkas P. Kapica (1894–1984), tirdamas He II, atrado dar keistesnę jo savybę – supertakumą, tekėjimą siaurais kapiliarais be jokios trinties.



17.6 pav. Piotr Kapica.

Neįprastas He II savybes 1941 m. paaiškino rusų teoretikas L. Landau, sukūręs kvantinio skysčio teoriją. Jis įrodė, kad, He I virstant He II, įvyksta helio atomų, kurie yra bozonai, kondensacija žemiausiame energijos lygmenyje (susidaro Bose ir Einstein'o kondensatas). Vis dėlto esant temperatūrai, aukštesnei negu 0 K, skystyje lieka ir sužadintųjų atomų, tad L. Landau aprašė He II kaip dviejų skysčių mišinį.

Levas Landau (1908–1968) – vienas iš žymiausių XX a. fizikų teoretikų. Turėdamas vos aštuoniolika metų, dar studijuodamas Leningrado universitete, bet jau parengęs keletą mokslo darbų, jis buvo priimtas į aspirantūrą. Landau susižavėjo kvantine teorija, ir jam pasitaikė proga išvykti į N. Bohr'o institutą bei kitus Vakarų Europos mokslo centrus. Stažuotės metu ir po jos



17.7 pav. Levas Landau savo mėgstama kūrybine poza – pusiau gulomis mąstantis apie fizikos problemas.

Landau aktyviai įsijungė į svarbiausių fizikos problemų sprendimą, sukūrė anksčiau minėtas magnetizmo teorijas, daug prisidėjo prie fizikinės kinetikos ir plazmos fizikos išvystymo, pasiūlė antrosios rūšies fazinių virsmų teoriją ir kt. Deja, 1938 m. L. Landau buvo suimtas, apkaltintas antivalstybine veikla ir jam grėsė fizinis

sunaikinimas. Tačiau P. Kapica, kuris laišku kreipėsi į J. Staliną, pavyko išgelbėti L. Landau. Nors to meto SSRS mokslas buvo visiškai izoliuotas, Landau atliko labai reikšmingų darbų įvairiose šiuolaikinės fizikos srityse – buvo vienas iš nedaugelio teoretikų universalų. Tai liudija ir jo su M. Lifšicu sukurtas daugiatomis monografijų ciklas „Teorinės fizikos kursas“. 1962 m. L. Landau buvo sunkiai sužeistas autoavarijoje ir jau nebegalėjo grįžti prie mokslinio darbo.

Helį iš tikrųjų sudaro du izotopai – vyraujantis ^4He , kuris ir virsta supertakiu esant 2,17 K, bei labai maža dalis ^3He . Pastarojo atomas yra fermionas, tad Bose ir Einstein'o kondensatas ^3He susidaryti negali. Tačiau 1972 m. buvo nustatyta, kad 0,0025 K temperatūroje ir ^3He tampa supertakus. Pasirodo, labai susilpnėjus šiluminiam judėjimui, ^3He atomai susijungia į poras, kurios jau yra bozonai, tad stebimas jų supertakumas.

O 1995 m. buvo įrodyta, kad Bose ir Einstein'o kondensatą gali sudaryti ne tik kietojo kūno, skysčio, bet ir dujų atomai. Boulderio universiteto (JAV) tyrinėtojų grupė, atšaldžiusi lazerinio šaldymo metodais iki 10^{-7} K temperatūros apie 2000 rubidžio atomų, privertė juos dešimčiai sekundžių prarasti savo individualumą ir sudaryti mažytį kondensatą – tarsi vieną superatomą. Netrukus kita grupė sukūrė beveik milijono natrio atomų kondensatą ir atliko išsamius jo savybių tyrimus.

Josephson'o efektas. Kaip tekėtų elektros srovė, jei tarp dviejų superlaidininkų būtų įterpta plona – kelių atomų sluoksnių – dielektriko plėvelė? Toks klausimas 1962 m. kilo jaunam anglų fizikui B. Josephson'ui, ką tik baigusiam Kembridžo universitetą, ir jis teoriškai numatė naujo tipo tuneliamumą ir net keletą su juo susijusių reiškinių. Paaikšėjo, kad plonas nelaidžios medžiagos tarpas nesulaiko pastoviosios superlaidžios srovės – elektronų po-

ros prašoka jį be nuostolių (stacionarusis Josephson'o efektas). Tačiau srovei sustiprėjus, pora gali netekti tam tikros energijos porcijos, išspinduliuodama ją kaip fotoną, taigi srovė pasidaro kintamoji, o kontaktas virsta elektromagnetinių bangų šaltiniu (nestacionarusis Josephson'o efektas). Jis taip pat stebimas, prijungus prie kontakto nuolatinę įtampą. Srovę neįprastu būdu (dėl magnetinio srauto kvantavimo) keičia ir išorinis magnetinis laukas. Tai leido sukurti labai jautrų prietaisą kintamiesiems magnetiniams laukams matuoti.

1980 m. vokiečių mokslininkas K. von Klitzing'as atrado dar vieną kvantinį makroskopinį efektą. Jau visą šimtmetį buvo žinomas Hall'o efektas. Tekant elektros srovei plonu metalo ar puslaidininkio sluoksniu ir ją statmena kryptimi veikiant magnetiniu lauku, jis indukuoja krūvininkų judėjimą trečiaja statmena (Lorentz'o jėgos) kryptimi. Laidininko varža ta kryptimi kinta tiesiogiai proporcingai magnetinio lauko stipriui. Tačiau, esant labai žemai temperatūrai, labai stipriam laukui ir labai plonam puslaidininkio sluoksniui, toji Hall'o varža, keičiant lauko stiprį, didėja mažomis pakopomis. Jas lemia elektrono energijos kvantavimas ir palaiapsnis lygmenų užpildymas. Klitzing'as įrodė, jog tos varžos pakopos išreiškiamos per fundamentines konstantas – Planck'o konstantą ir elektrono krūvį, o jų santykį, atliekant makroskopinius matavimus, galima nustatyti dideliu tikslumu. Tad šis reiškinys buvo panaudotas naujam varžos etalonui įvesti.

17.3. LAZERIŲ FIZIKA IR NETIESINĖ OPTIKA

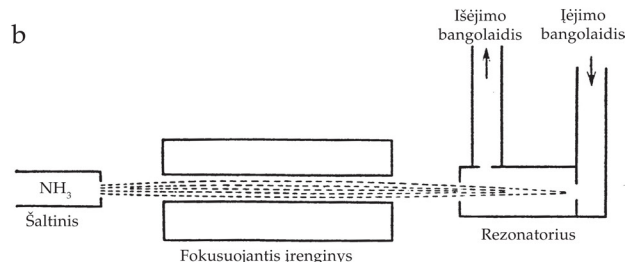
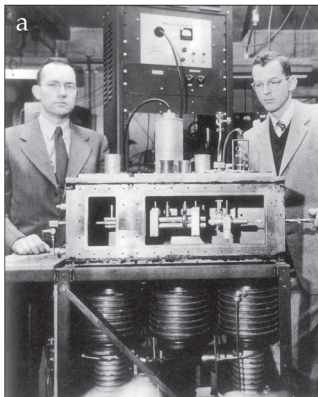
Priverstinio spinduliavimo galimybę pirmą kartą 1917 m. numatė A. Einstein'as. Straipsnyje „Spinduliavimas ir sugertis kvantinės teorijos požiūriu“ jis, nagrinėdamas kūno, esančio termodinaminėje pusiausvyroje su aplinka, spinduliavimą, greta sugerties ir savaiminio atomo spinduliavimo įvedė dar trečiąjį elementarųjį procesą – priverstinį spinduliavimą. Jis gali vykti tada, kai atomo aplinkoje yra fotonas, turintis tokią pat energiją kaip ir atomo spinduliuojamas fotonas.

1927 m. vienas iš kvantinės mechanikos kūrėjų P. Dirac'as išplėtojo kvantinę spinduliavimo teoriją, kuri patvirtino A. Einstein'o hipotezę. P. Dirac'as įrodė, kad priverstiniu būdu sukurtas fotonas yra identiškas jį sužadinusiam fotonui – turi ne tik tokią pat energiją, bet ir kryptį bei polarizaciją (dabartiniu terminu – abu fotonai yra koherentiniai). Priverstinio spinduliavimo, kaip ir sugerties, sparta priklauso ne tik nuo šuolio tikimybės, bet ir nuo pradinio lygmens užpildos. Tad buvo aišku, kad priverstinis spinduliavimas gali nustelbti priešingą procesą – sugertį – tik esant neįprastoms sąlygoms, kai aukštesniame sužadintame lygmenyje yra daugiau atomų negu žemesniame lygmenyje.

Ketvirtajame dešimtmetyje būta svarstymų, kaip gauti tokią lygmenų užpildos apgrąžą ir realizuoti šviesos stiprinimą, tačiau realių praktinių būdų nebuvo pasiūlyta. Tuo metu dar nesuprasta, kad kvantiniam generatoriui sukurti reikia ne tik stiprinančios aplinkos, bet ir rezonatoriaus, kuris išskirtų tam tikro dažnio spindulius ir juos rezonansiškai stiprintų.

Antrojo pasaulinio karo metais ir po jo buvo sparčiai tobulinama radiolokacija ir sukurta gera centimetrinio diapazono radijo bangų (mikrobangų) aparatūra, taip pat ir rezonatoriai. Radiospektroskopijoje buvo išplėtotas būdas sužadintosioms molekulėms išskirti veikiant molekulių pluoštelį nevienalyčiais elektriniu ir magnetiniu laukais. Tad susidarė visos sąlygos radijo bangų kvantiniam generatoriui sukurti. Kaip dažnai tokiu atveju būna, išradimą vienu metu ir nepriklausomai padarė dvi mokslininkų grupės – C. Townes su bendradarbiais Kolumbijos universitete, A. Prochorovas ir N. Basovas SSRS MA Fizikos institute. Vieni ir kiti 1954 m. sukūrė to paties tipo generatorių, kuriame buvo panaudotos amoniako molekulės, generuojančios 1,24 cm ilgio bangas.

Amoniako molekulės turi elektrinį dipolinį momentą, kurio dydis priklauso nuo molekulės būsenos, tad molekulių pluošteliai judant vienalyčiame elektriniame lauke, yra išskiriamos ir fokusuojamos sužadintosios molekulės (17.8b pav.). Jos patenka į rezonatorių – tam tikro dydžio tuščia-vidurę ertmę ir, pralėkdamos ją, skleidžia 1,24 cm ilgio bangas, kurios atitinka rezonatoriaus savąjį dažnį. Tuo būdu buvo sustiprinamos į rezonatorių bangolaidžiu patenkančios bangos, išskiriant vieną jų dažnį, o molekulių pluošteliu intensyvumui viršijus tam tikrą dydį, įrenginys imdavo veikti kaip generatorius. Jam prigijo C. Townes'o pasiūlytas pavadinimas *mazeris* (santrumpa angliško termino *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation* – mikrobangų stiprinimas priverstiniu spinduliavimu).

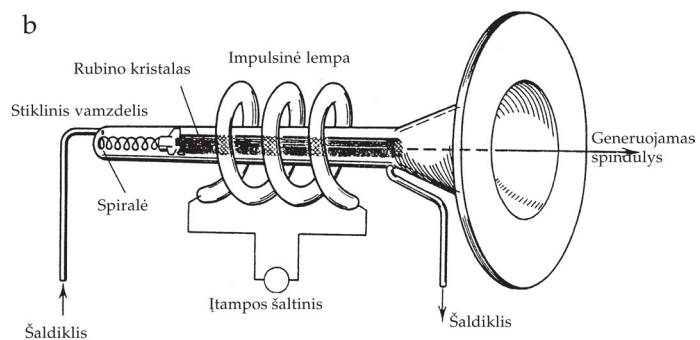
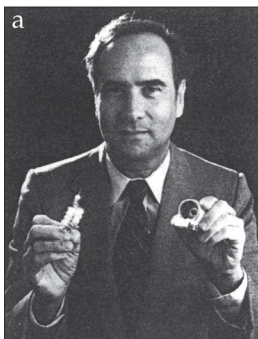


17.8 pav. C. Townes (kairėje) su bendradarbiu prie vieno iš pirmųjų mazerių (a) ir jo veikimo schema (b).

Optiniam kvantiniam generatoriui sukurti prireikė dar šešerių metų – reikėjo išrasti šioms bangoms tinkamus rezonatorius ir užpildos apražos gavimo būdus. A. Schawlow’as bei N. Basovas ir A. Prochorovas pasiūlė sukurti užpildos apražą kaupinimu – sužadinant atomus intensyvia įprastine šviesa į įvairius aukštesnius lygmenis ir pasinaudojant atomų „užsilaikymu“ žemesniame, ilgai gyvuojančiame sužadintajame lygmenyje. Šie, o kartu ir kiti mokslininkai priėjo prie išvados, kad optinių bangų rezonatoriaus vaidmenį gali atlikti Fabry ir Perot interferometras – optiškai vienalytė plokštelė, apribota dviem lygiagrečiais veidrodžiais. Kaip tinkama aktyvioji medžiaga buvo pasiūlytas rubino kristalas. Tas idėjas realizavo amerikietis T. Maiman’as, 1960 m. Hughes’o mokslinių tyrimų laboratorijoje (JAV) sukūręs rubino lazerį (pavadinimas buvo sudarytas, pakeitus žodyje *mazeris* pirmąją raidę *m* į angliško žodžio *light* (šviesa) raidę *l*). Jame rubino kristalas buvo apšviečiamas galingu šviesos blyksniu ir, sukūrus kristale esančių chromo atomų apražinę užpildą, būdavo generuojamas 10^{-3} s trukmės raudonos 690 nm šviesos impulsas. Jis sklisdavo siauru pluošteliu iš kristalo per vieną pusiau skaidrų veidrodį (17.9b pav.). Pirmojo lazerio galia buvo apie 14 W.

Paskatinti šios sėkmės ir atsiveriančių taikymų, daugelis žymių optikų ėmėsi kurti naujus lazerius ir plėtoti jų teoriją, tad 1961–1965 m. – labai spartaus lazerių fizikos kūrimo laikotarpis.

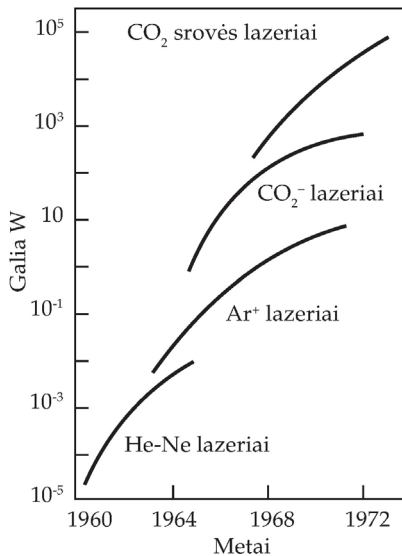
1961 m. buvo sukurtas galingas impulsinis neodimio lazeris, kuriame naudojami neodimio jonai, įterpti į kristalą. Tuo pačiu metu konstruojami naujo tipo lazeriai. 1961 m. pradėjo veikti dujų lazeris, naudojantis rusenantįjį išlydį He ir Ne mišinyje. Tai pirmasis nuolatinės veikos kvantinis generatorius. Jo galia nesiekė 1 mW, tačiau dėl dujų vienalytiškumo tokio lazerio spindulys pasižymėjo didesniu koherentiškumu negu kietojo kūno lazerio. 1962 m. buvo paskelbta apie pirmojo puslaidininkinio lazerio sukūrimą; jis dar buvo netobulas, tačiau pademonstravo principinę tokio įrenginio galimybę, ir po to daugelis mokslininkų ėmėsi jį optimizuoti.



17.9 pav. T. Maiman’as, laikantis rankose pirmojo lazerio dalis, (a) ir jo veikimo schema (b).

Nuoseklia lazerio kvantinę teoriją išplėtojo 1964 m. vokiečių mokslininkas H. Haken'as.

Lazeriai leido koncentruoti spinduliuotę ir kurti panašaus stiprio elektrinį lauką kaip atomų ir molekulių viduje. Tokiomis sąlygomis nustoja galiojusi klasikinės optikos prielaida, kad šviesos spindulys nekeičia terpės savybių. Intensyvi šviesa keičia jas, o tai savo ruožtu keičia sklindantį spindulį. Reikėjo išplėtoti naują optikos šaką – netiesinę optiką, kuri atsižvelgtų į tuos netiesinius efektus. Jai pagrindus 1962–1965 m. padėjo N. Bloembergen'as, P. Pershan'as, N. Kroll'as ir kiti mokslininkai. Teko patikslinti netgi šviesos atspindžio ir lūžio dėsnius. Buvo numatyta nemažai naujų reiškinų ir netrukus jie atrasti eksperimentiškai. Vienas iš jų – savaiminis lazerio spindulio susiaurėjimas. Kadangi laukas intensyviausias spindulio centre, tai čia lūžio rodiklis yra didžiausias, o šviesos greitis mažiausias. Tolstant nuo spindulio centro į kraštus, greitis didėja, tad spindulys susifokusuoja. Kitas svarbus netiesinės optikos efektas – spinduliui sąveikaujant su terpe, gali kisti jo dažnis. Sugeriant fotoną $h\nu$, vietoj jo gali atsirasti du fotonai $h\nu_1$ ir $h(\nu-\nu_1)$; aišku, procesas turi tenkinti ne tik energijos, bet ir judėjimo kiekio tvermės dėsnius. Šis būdas leido 1965 m. sukurti kintamojo dažnio infraraudonųjų bangų lazerius, kuriuose nenaudojama lygmenų užpildos apgrąža, o tik transformuojama kito lazerio spinduliuotė. Buvo aptiktas ir priešingas reiškinys – šviesos dažnio padvigubėjimas ar net patrigubėjimas (antrosios ir trečiosios harmonikos generavimas) jai sąveikaujant su kristalu.



17.10 pav. Nuolatinės veikos lazerių galios augimas nuo jų išradimo iki 1974 m.

Naudojantis lazeriu, buvo atrastas anksčiau numatytas procesas – atomo sužadimas jam sugeriant vienu metu keletą fotonų (tik jų visų suminė energija yra lygi pradinio ir galinio lygmenų energijų skirtumui). Vėliau buvo aptikti ir kiti daugiafotoniai reiškiniai.

Naujo tipo monochromatinė ir koherentinė spinduliuotė iš karto buvo pradėta taikyti įvairiose srityse. 1960–1961 m. A. Schawlow'as ir N. Bloembergen'as sukūrė lazerinės spektroskopijos pagrindus. Lazeriu tapo įmanoma selektyviai sužadinti tam tikras atomų būsenas, tai leido padidinti tradicinių spektroskopijos metodų tikslumą ir išplėtoti naujus metodus, naudojančius netiesinės optikos reiš-

kinius. Lazeriai buvo pritaikyti metrologijoje dažnio ir laiko standartams sukurti, taip pat atstumams matuoti dideliu tikslumu. 1962 m. buvo pradėti eksperimentai informacijai perduoti lazerio spinduliu.

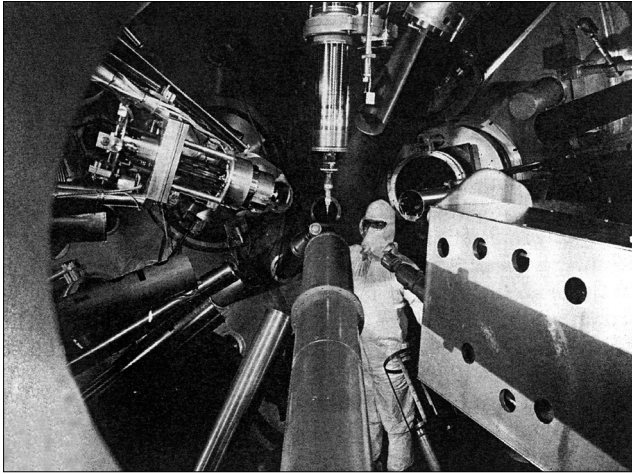
Naujas galimybes, kurias atvėrė koherentinės šviesos šaltiniai, vaizdžiai pademonstravo holografijos metodo įgyvendinimas. 1948 m. vengrų kilmės anglų fizikas D. Gabor'as, siekdamas patobulinti elektroninį mikroskopą, susidūrė su bangos fazės užrašymo problema. Jis padarė išvadą, kad plokščioje fotografinėje plokšteleje galima užfiksuoti ne tik nuo objekto atsispindėjusios šviesos intensyvumą, bet ir fazę, jei objektas yra apšviečiamas koherentine banga ir užrašomas jos interferencijos su pradine, neišsklaidyta banga vaizdas. Tokį metodą jis pavadino holografija (t. y. visos informacijos užrašymas). Jam netgi pavyko gauti pirmąsias netobulas hologramas ir praktiškai įrodyti trimačio vaizdo atkūrimo galimybę. Deja, nesant gero koherentinės šviesos šaltinio, šis metodas neatrodė esąs perspektyvus, ir tyrimai nutrūko. Sukūrus lazerį, 1962 m. amerikiečių tyrinėtojai E. Leith'as ir J. Upatnieks'as gavo geras hologramas ir pagrindė lazerinės holografijos metodą. Tai sukėlė nemažą rezonansą, buvo pasiūlyti keli holografijos būdai, hologramos pradėtos naudoti medicinoje, technikoje ir kitur, nors tikėto labai plataus pritaikymo dėl kai kurių sunkiai sprendžiamų problemų nesulaukė iki šiol.

Lazeriai buvo pradėti naudoti ir chemijoje (selektyviai valdyti reakcijų eigą, atskirti to paties elemento izotopus), technikoje (metalams suvirinti ir grūdinti, įvairioms medžiagoms pjaustyti), medicinoje (ypač akių chirurgijoje).

Aštuntojo dešimtmečio pradžioje prasidėjo optinių šviesolaidžių atgimimas. Jį nulėmė tiek labai skaidrių kvarco skaidulų sukūrimas, tiek reikalingo dažnio koherentinės šviesos generatorių sukūrimas. Tai leido padidinti šviesolaidžių ilgį nuo metrų iki kilometrų, o XX a. paskutiniajame dešimtmetyje – iki dešimčių kilometrų, ir naudojantis tarpiniais sti-



17.11 pav. Vienas galingiausių optinių lazerių „Nova“ sukurtas Lawrence'o nacionalinėje laboratorijoje Livermore (JAV).



17.12 pav. Aukštatemperatūrės plazmos gavimas veikiant medžiagą iš visų pusių intensyviais lazerio spinduliais.

printuvais, sujungti švie-solaidžiai bet kuriuos planetos taškus.

Didelės galios la-zeriai buvo pritaikyti ka-riniams tikslams, taip pat aukštos temperatūros plazmai gauti. Lazerinė termobranduolinė sintezė, greta sintezės tokamake, laikoma antruoju perspektyviu būdu tokiai val-domai reakcijai įgyvendinti.

Sukūrus lazerių fizikos pagrindus, ji buvo plėtojama konstruojant ne tik didesnės galios, bet ir naujų dažnių bei tipų lazerius. Tam buvo panaudotos įvairios medžiagos būsenos – kietasis kūnas, skystis, dujos ir plazma. Kadangi lazerių taikymai dažnai yra susiję su rezonansiniu jų poveikiu, svarbu buvo išrasti kvantinius generatorius, kurių dažnis būtų keičiamas gana plačiame diapazone. Šia kryptimi esminis pasiekimas buvo dažų lazerių sukūrimas 1966 m. (P. Sorokin, J. Lankard). Tai skysčio lazeriai – kaip aktyvioji terpė juose naudojami organinių dažų tirpalai. Dažų molekulės turi daug vibracinių lygmenų, kurie sudaro gana plačias juostas, tad generuojamą dažnį galima rezonatoriumi ar selektyviu optiniu elementu tolydžiai keisti. Be to, egzistuoja įvairių dažų junginių, tad tapo įmanoma sudaryti lazerių rinkinį, kuriuo galima generuoti bet kokio dažnio elektromagnetines bangas nuo 0,42 μm iki 0,94 μm , t. y. ne tik regimąją šviesą, bet ir infraraudonuosius spindulius.

Lazerių kūrėjams įsisavinus optinių ir iš dalies ultravioletinių dažnių diapazonus, pradėta ieškoti būdų, kaip skverbtis toliau į Röntgen'o spindulių sritį. Deja, dėl trumpos stipriai sužadintų būsenų gyvavimo trukmės, didelės sužadavimo energijos, pagaliau nesant veidrodžių, atspindinčių Röntgen'o spindulius, susidurta su nelengvai įveikiamais sunkumais. 1981 m. Lawrence'o nacionalinėje laboratorijoje Livermore (JAV) buvo išbandytas vienkartinio veikimo rentgeno lazeris, kurį sužadino branduolinis sprogdymas. Prieš suirdamas įrenginys spėjo pasiųsti koherentinių spindulių impulsą. 1985 m. toje pačioje laboratorijoje pavyko sukurti pirmą tikrą minkštųjų Röntgen'o spindulių lazerį. Jo aktyvioji terpė – plazma, ji gaunama fokusuojant galingų optinių lazerių spindulius, o generavimas vyksta iš daugkartinių jonų būsenų,

jas sužadinus laisvųjų elektronų smūgiais. Vėliau buvo realizuotas kitas būdas užpildos apgražai plazmoje gauti – staigus jos atšaldymas.

Vienas iš perspektyviausių aštuntajame dešimtmetyje sukurtų lazerių – laisvųjų elektronų lazeris (J. Madey, JAV). Jame aktyvioji terpė ir kartu energijos šaltinis yra monochromatinis laisvųjų elektronų pluoštelis. Jis sklinda beveik šviesos greičiu pro vienodais tarpais išdėstytus magnetus. Veikiami jų periodinio lauko, elektronai svyruoja ir skleidžia elektromagnetines bangas. Joms sąveikaujant su elektronų pluoštelio, tam tikromis sąlygomis sukuriamas koherentinė spinduliuotė. Šio lazerio pranašumai – gana lengvai keičiamas lazerio dažnis (keičiant elektronų energiją ar magnetinio lauko stiprį) bei didelė galia; tačiau jis yra nemažų matmenų. Antra vertus, elektronai, judantys puslaidininkio supergardenėje, buvo panaudoti kvantiniam kaskadiniam lazeriui sukurti. Jis skleidžia infraraudonuosius spindulius, kurių dažnis priklauso nuo aktyviosios terpės sluoksnio storio.

Išplėtojus metodus pavieniams atomams išskirti ir valdyti, 1994 m. Masačusetso technologijos institute (JAV) buvo pagamintas egzotiškas vieno atomo lazeris. Jame sužadintasis bario atomas pralekia per rezonatorių ir čia, veikiamas fotono, kurį išspinduliuavo prieš tai pralėkęs atomas, sukuria kitą tokį patį foną. Aišku, tokio lazerio spinduliuotė nepaprastai silpna, bet ji leidžia tirti ne suvidurkintą daugelio atomų, o vieno atomo sąveiką su elektromagnetiniu lauku.

Tame pačiame institute buvo sukurti ir saviti fotonų dariniai, vadinami fotoninėmis molekulėmis. Fotonai tarpusavyje nesąveikauja, bet trauka tarp jų gali atsirasti tam tikroje terpėje. Ji sukuriama atšaldžius atomus vakuume kameroje iki kelių laipsnių virš absoliučiojo nulio. Tada į tą atomų debesėlį nukreipiami labai silpni lazerio impulsai. Fotonai, sąveikaudami su atomais, tampa kvazidalelėmis ir susijungia į poras. Tas efektas gali būti panaudotas konstruojant kvantinius kompiuterius.

SANTRAUKA

XX amžiuje kondensuotųjų terpių fizika iš empirinio mokslo virto teoriniu mokslu. 1912 m., patvirtinus M. von Laue hipotezę, kad Röntgen'o spindulių bangos ilgis yra maždaug tos pačios eilės kaip ir atstumai tarp atomų kristale, tapo įmanoma eksperimentiškai tirti kristalų ir molekulių struktūrą – atsirado struktūrinė analizė. O vos tik suformulavus pagrindinius kvantinės mechanikos principus, jie buvo pritaikyti kietojo kūno elektrinėms ir magnetinėms savybėms aprašyti. Įvairūs magnetiniai reiškiniai buvo paaiškinti elektronų sukininio ir orbitinio magnetinių momentų bei atvirųjų sluoksnių momentų egzistavimu, taip pat savita kvantinės prigimties pakaitine sąveika

tarp atomų.

Per trumpą laiką, 1928–1934 m., buvo sukurti kvantinės kietojo kūno teorijos pagrindai. F. Bloch'as įvedė elektrono, judančio periodiniame kristalinės gardelės lauke, banginę funkciją; jis kartu su L. Brillouin'u sukūrė energijos juostų teoriją. A. Wilson'as šių juostų ypatybėmis pagrindė medžiagų skirstymą į laidininkus, dielektrikus ir puslaidininkius bei pastarųjų elektroninį ir skylinį laidumą. L. Brillouin'as pasiūlė nagrinėti kietojo kūno ypatumus naudojantis banginių vektorių erdve, įvedė Brillouin'o zonas. Įvairiems sužadanimams ir bangoms daugelio dalelių sistemoje aprašyti labai vaisinga pasirodė kvazidalelių idėja: J. Frenkelis įvedė eksitoną, I. Tammas – fononą, vėliau L. Landau ir kiti teoretikai išplėtojo kvazidalelių teoriją. Paaiškėjus, kad kristalų savybės labai keičia įvairūs nukrypimai nuo tobulosios gardelės, buvo nagrinėjami jos defektai, tarp jų – keletas rūšių dislokacijos ir sukurta dislokacijų teorija (G. Taylor'as ir kt.).

Vėliau kietojo kūno fizikos raida sulėtėjo, įgavo ryškesnę taikomąją pobūdį. Taikymais ypač pasižymėjo puslaidininkių fizika. 1940 m. buvo išrasta pn sandūra, ir po atkaklių, sistemingų paieškų J. Bardeen'as ir W. Brattain'as 1948 m. sukonstravo tranzistorių, o netrukus W. Shockley sukūrė jo teoriją. Per dešimtmetį puslaidininkiniai prietaisai ne tik pranoko vakuuminės lempas, bet ir atsivėrė galimybė viename kristale formuoti ištiesą integrinį grandyną. Taip XX a. antroje pusėje prasidėjo mikroelektronikos era. Puslaidininkiai, taip pat kitos medžiagos, jautriai reaguojančios į įvairius išorinius poveikius – skystieji kristalai, buvo pritaikyti įvairiems jutikliams, matuokliams, indikatoriams sukurti.

XX a. paskutiniaisiais dešimtmečiais tapo įmanoma konstruoti mikroprietaisus iš nedaugelio atomų sluoksnių ir netgi iš atskirų atomų.

Įspūdingiausi nauji reiškiniai, atrasti kietuosiuose kūnuose, skystčiuose ir dujose, yra makroskopiniai kvantiniai reiškiniai. Tam tikromis sąlygomis kvantinės atskirų atomų savybės ne pasislepia perėjus prie didelių jų ansamblių, o pasireiškia makroskopiškai dėl suderinto daugelio atomų elgesio. Pirmąjį iš tokių reiškinų – kai kurių metalų superlaidumą esant labai žemai temperatūrai – aptiko H. Kamerlingh Onnes 1911 m., tačiau teoriškai jis buvo paaiškintas tik 1957 m. kaip elektronų porų Bose ir Einstein'o kondensato susidarymas (Bardeen'o, Cooper'io ir Schrieffer'io teorija). Dar po trijų dešimtmečių pavyko atrasti medžiagas, kurios išlieka superlaidžios iki 100 K temperatūros. B. Josephson'as įrodė, kad elektros srovė gali prasišverbti per ploną dielektriko sluoksnį, skiriantį du superlaidininkus. 1938 m. P. Kapica aptiko skysto helio supertakumą, o šio reiškinio teoriją po kelerių metų sukūrė L. Landau. 1995 m. Bose ir Einstein'o kondensatas buvo gautas

ir dujose.

Lazerio spinduliuotė – daugelio atomų suderintai, viena kryptimi sklaidžiamos koherentinės elektromagnetinės bangos – taip pat priskirtina prie makroskopinių kvantinių reiškinių. Lazerio veikimas remiasi A. Einstein'o 1917 m. numatytu priverstiniu atomų spinduliavimu. Ilgą laiką koherentinių spindulių generavimas atrodė sunkiai įmanomas, nes tam reikalinga neįprasta situacija: lygmenų užpildos apgraža – didesnė atomų koncentracija aukštesniame pradiniame, o ne žemesniame galiniame lygmenyje. Pirmiausia 1954 m. pavyko sukurti mikrobangų kvantinį generatorių – mazerį (C. Townes, N. Basov, A. Prochorov). Kelerius metus truko užpildos apgražos sukūrimo būdo, tinkamo optiniam diapazonui, ir rezonatoriaus atkaklios paieškos, ir 1960 m. buvo pagamintas lazeris (T. Maiman). Po to prasidėjo labai spartus naujos srities įsisavinimas: buvo konstruojami naujų tipų lazeriai (dujų, puslaidininkiniai, organinių dažų ir kt.), kuriami lazerių teorijos ir netiesinės optikos pagrindai, eksperimentiškai atrasti jos numatyti reiškiniai – lazerio spindulio susifokusavimas, daugiafotoniai procesai, fotonų „dalijimasis“ ir aukštesniųjų harmonikų generavimas intensyviai lazerio spinduliui sąveikaujant su terpe. Tuo pačiu metu prasidėjo platus lazerių taikymai įvairiose srityse: spektroskopijoje, metrologijoje, medicinoje, technologijose ir kt. Koherentinės šviesos šaltinio sukūrimas leido realizuoti D. Gabor'o 1948 m. pasiūlytą holografijos metodą. XX a. paskutiniaisiais dešimtmečiais buvo pradėta skverbtis į Röntgen'o spindulių diapazoną, sukurtas perspektyvus laisvųjų elektronų lazeris, netgi vieno atomo lazeris, leidžiantis tirti subtilius kvantinius efektus. Sparčiai augo lazerių galia, tai leido sėkmingai plėtoti lazerinės termobranduolinės sintezės tyrimus.

XVIII. KOSMOLOGIJA IR ASTROFIZIKA

XX a. vyko labai sparti astrofizikos ir astronomijos raida, neretai vadinama antrąja šios srities revoliucija (pirmoji revoliucija – tai astronominiai Galilei atradimai ir Kopernik'o sistemos pripažinimas). Ją iš esmės nulėmė šiuolaikinės fizikos pasiekimai – reliatyvumo teorijos, atomo, branduolio ir elementariųjų dalelių fizikos sukūrimas bei pritaikymas Visatos ir atskirų jos objektų sandarai ir evoliucijai paaiškinti, taip pat įvairių bangų astronomijos ir kosminių observatorių atsiradimas.

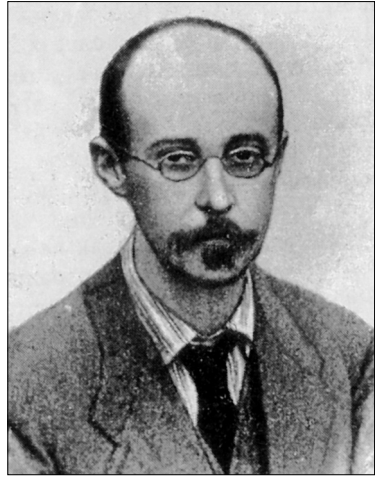
18.1. KOSMOLOGIJA

Net iki XVIII a. pradžios pasaulis buvo suvokiamas kaip Saulės sistema, supama nejudamų žvaigždžių sferos. W. Herschel'is pirmasis įvertino Galaktikos – žvaigždžių sistemos, kuriai priklauso ir Saulė, – matmenis bei formą. Tik XX a. buvo atrastos kitos galaktikos ir sukurta kosmologija – mokslas apie Visatą, jos sandarą bei evoliuciją; ligi tol buvo vien spekuliatyvos kosmologinės hipotezės, filosofiniai arba religiniai modeliai.

Kosmologijos pradžia – 1917 m., kai A. Einstein'as, baigęs kurti bendrąją reliatyvumo teoriją, ją pritaikė Visatai nagrinėti. Jis padarė prielaidą, kad dideliu mastu Visata yra vienalytė bei izotropinė (šios prielaidos kosmologijoje laikomasi iki šiol) ir ėmėsi ieškoti bendro lygčių sprendinio. Tačiau paaiškėjo, kad nuo laiko nepriklausomas sprendinys neegzistuoja – nekintanti, amžina Visata, kokia ji tuo metu buvo įsivaizduojama, pasirodė esanti negalima. A. Einstein'as nesiryžo keisti tos įsigalėjusios nuomonės, pagrįstos tolimų žvaigždžių nejudamumu. Tad jis lygtyse pridėjo vadinamąją kosmologinę konstantą, kuri reiškė tam tikros stūmos jėgos egzistavimą. Tai leido A. Einstein'ui sukurti stacionarios ir baigtinės – sferos pavidalo uždarošios neuklidinės – Visatos modelį.

Visatos stacionarumo išdrįso atsisakyti rusų matematikas Aleksandras Fridmanas (1888–1925). Jis 1910 m. baigė matematikos studijas Sankt Peterburgo universitete, buvo blaškomas karo ir revoliucijos įvykių. Nuo 1920 m. Fridmanas dirbo Vyriausiojoje fizikos observatorijoje, kur sunkiomis suirutės ir nepriteklių sąlygomis plėtojo matematinę atmosferos reiškinių teoriją. Tuo metu pasaulyje kilęs susidomėjimas reliatyvumo teorija pasiekė ir Rusiją. A. Fridmanas, ir anksčiau domėjęsis fizika, susipažino su šia teorija ir kosmologiniu A. Einstein'o straipsniu. 1922 m. jis Vokietijoje leidžiamame tarptautiniame žurnale išspausdino darbą, kuriame įrodė, kad, be A. Einstein'o

gauto stacionariojo bendrosios reliatyvumo teorijos lygčių sprendinio, galimi ir nestacionarieji sprendiniai (A. Fridmanas lygtyse paliko kosmologinį narį, tačiau jis nebuvo būtinas). Fridmanas rado sprendinį, aprašantį pulsuojančią Visatą: jeigu jos tankis yra didesnis už tam tikrą kritinį tankį, Visata traukiasi į sferišką tašką, po to vėl ima plėstis iki tam tikro dydžio ir t. t. Naudodamasis labai apytiksliais Visatos masės įvertinimu, A. Fridmanas apskaičiavo būdingą plėtimosi ir traukimosi periodą – apie 10 milijardų metų.



18.1 pav. Aleksandr Fridman.

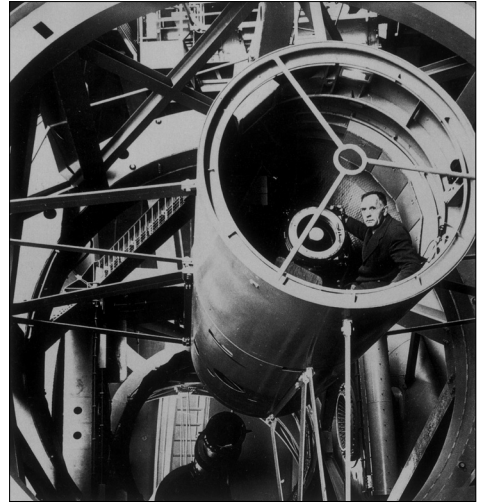
A. Einstein'as iš pradžių palaikė A. Fridmano darbą klaidingu, tačiau netrukus jį pripažino. 1924 m. A. Fridmanas paskelbė dar vieną straipsnį, kuriame įrodė, kad yra galimi dar du kintamos Visatos modeliai – begalinis plėtimasis ir lėtėjantis plėtimasis. Deja, netrukus A. Fridmanas užsikrėtė šiltine ir mirė. O A. Einstein'as kartu su W. de Sitter'u 1932 m. išplėtojo nulinio kreivio besiplečiančios Visatos modelį.

Nei A. Einstein'as, kurdamas pirmąjį Visatos modelį, nei A. Fridmanas nežinojo, kad astronomai jau buvo gavę pirmuosius duomenis, bylojančius besiplečiančios Visatos naudai. Dar 1910–1914 m. amerikiečių astronomas V. Slipher'is užregistravo spektrus keliolikos spiralinių ūkų, kuriuos jis ir nemažai kitų astronomų spėjo esant tolimomis žvaigždžių sistemomis, ir nustatė, kad daugumos iš jų linijos yra pasislinkusios link raudonosios spektro srities, t. y. jie tolsta nuo mūsų gana dideliais greičiais. Vis dėlto tie duomenys buvo netikslūs ir negausūs.

Visatos sampratą iš esmės pakeitė kitas amerikiečių astronomas Edwin'as Hubble'as (1889–1953). Jo biografija liudija, kad net XX a. žymaus mokslininko gyvenimas gali būti apipintas legendomis (prie to prisidėjo pats Hubble'as ir jo žmona). Paplitusi versija, kad Hubble'as dėl astronomijos atsisakė pelningos advokato praktikos, faktais nepagrįsta. Žinoma tik, kad jis studijų metais derino teisės mokslus su sportu, vėliau dirbo krepšinio treneriu. Tačiau potraukis astronomijai nedavė Hubble'ui ramybės, ir jis grįžo į universitetą studijuoti šio mokslo. Susidomėjęs Slipher'io darbu, Hubble'as doktorato tema pasirinko ūkų tyrimą.

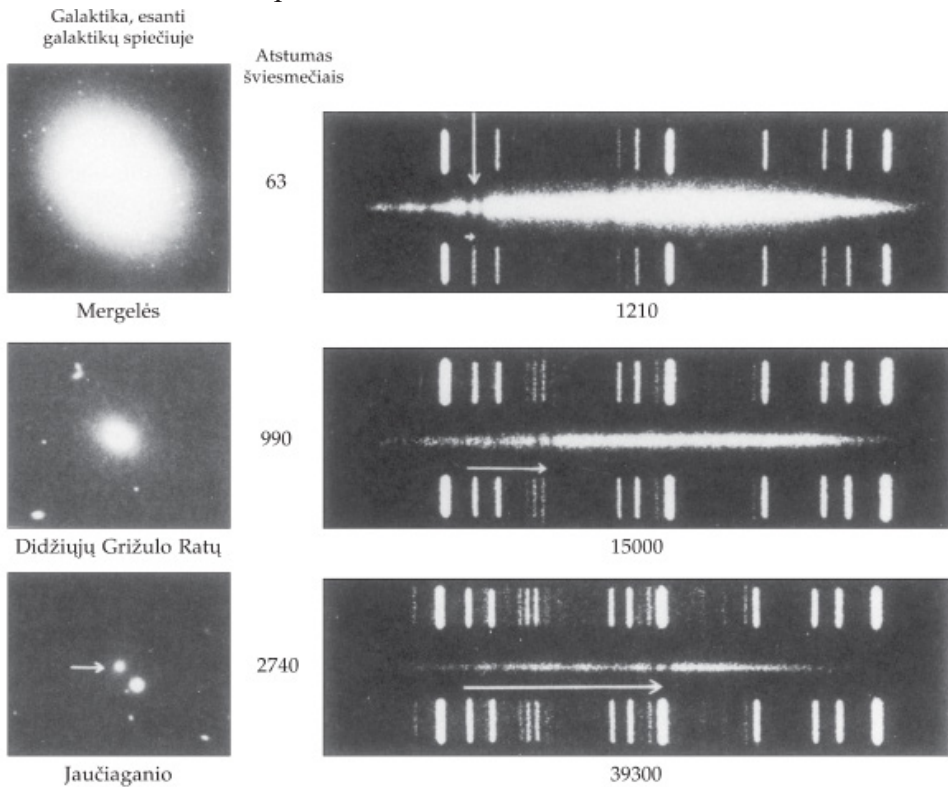
Dar XVIII a. filosofas I. Kant'as buvo iškėlęs hipotezę, kad ūkai yra tolimos žvaigždžių sistemos, panašios į Paukščių Taką. Hubble'as pirmasis tai įrodė kai kuriems ryškiausiems spiraliniams ūkams. 1924–1926 m.,

stebėdamas tuo metu didžiausiu pasaulyje Maunt Palomaro teleskopu Andromedos ir Trikampio ūkus, jis išskyrė juose atskiras kintamąsias žvaigždes, tarp jų ir cefeides. Joms galiojantis sąryšis tarp pulsacijų periodo ir žvaigždės šviesio leido Hubble'ui nustatyti atstumus iki šių ūkų bei jų matmenis ir įrodyti, kad tai yra nutolusios nuo Paukščių Tako kitos galaktikos. Vėliau jis įvertino atstumus dar iki keturiasdešimties galaktikų. Be to, Hubble'as suskirstė galaktikas į spiralines, elipsines ir netaisyklingąsias. Ši jo klasifikacija galioja ligi šiol.



18.2 pav. Edwin'as Hubble'as teleskopo vamzdyje.

E. Hubble'as prikalbino savo



18.3 pav. Galaktikų spektrų raudonasis poslinkis: kairėje – galaktikos vaizdas, dešinėje – spektras (jo raudonojo poslinkio dydis nurodytas balta strėliuke); po spektru nurodytas radialusis objekto greitis (km/s).

kolegą M. Humason'ą matuoti, naudojantis Doppler'io efektu, radialiuosius galaktikų greičius (greičius jų stebėjimo kryptimi). Naudodamasis jo bei kitų astronomų gautomis greičių vertėmis, taip pat savo paties nustatytais atstumais (l) iki galaktikų, Hubble'as 1929 m. atrado paprastą tiesinį sąryšį tarp šių dydžių $v = Hl$. Dabar jis vadinamas Hubble'o dėsniumi, o H – Hubble'o konstanta. Jos vertę atradėjas apskaičiavo esant lygiai $500 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ (1 Mpc – 1 milijonas parsekų). Vėliau ji buvo gerokai sumažinta ištaisius sisteminę atstumų nustatymo klaidą ir ne kartą tikslinta, bet ir dabar tebėra mažiausiai tiksliai astronominė konstanta ($67,4 \pm 0,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$).

Dar porą metų anksčiau belgų kosmologas ir teologas G. Lemaître'as (1894–1966) susiejo tolstančių galaktikų vaizdą su Visatos plėtimusi ir kosmologiniais modeliais. Neatkreipęs dėmesio į A. Fridmano darbus, jis ėmėsi iš naujo nagrinėti kintamos Visatos modelius ir nemaža dalimi pakartotojo savo pirmtako rezultatus. Sužinojęs apie Slipper'io ir Hubble'o tyrimus, Lemaître'as 1927 m. iškėlė hipotezę, kad Visata atsirado įvykus gigantiškam sprogimui. Tačiau kokių nors naujų, stebėjimais patikrinamų išvadų jis, naudodamasis dar labai nekonkrečia Didžiojo sprogimo hipoteze, nepateikė, išskyrus nepasitvirtinusį spėjimą, kad to sprogimo metu susidarė kosminiai spinduliai.

Tik maždaug po dvidešimties metų, suformavus atomo branduolio fizikos pagrindus, tapo įmanoma sukurti fizikinę ankstyvosios Visatos raidos po Didžiojo sprogimo teoriją. Tai atliko žymus teoretikas, dirbęs įvairiose fizikos srityse, – G. Gamovas (vėliau G. Gamow).

Grigorijus Gamovas gimė 1904 m. Ukrainoje, Odesoje. Studijavo Leningrado universitete vienu metu su L. Landau ir D. Ivanenko; ši trijulė, vadinta trimis muškietininkais, garsėjo savo gabumais ir išdaigomis. Praslinkus porai metų po universiteto baigimo, Gamovas buvo komandiruotas į to meto teorinės fizikos centrą – Getingoną. Per trumpą laiką jis atliko svarbų darbą – sukūrė branduolių α skilimo teoriją, tai atvėrė jam galimybę stažuotis ir kituose Vakarų Europos mokslo centruose. Per trejetą metų pripratęs prie akademinės laisvės ir glaudžių mokslinių ryšių, grįžęs į Rusiją G. Gamovas rado stiprėjančią diktatūrą ir vis didėjančią mokslinę izoliaciją. Tad pasitaikius progai, 1934 m. jis emigravo į JAV. Čia Georg'as Gamow'as pritaikė branduolio teoriją žvaigždžių evoliucijai paaiškinti ir sukūrė karštos ankstyvosios Visatos

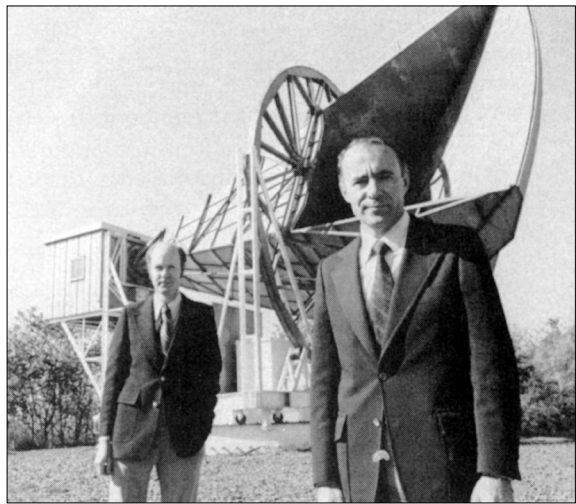


18.4 pav. George Gamow.

modelį, be to, pasižymėjo biologijoje – atliko esminį darbą atskleidžiant genetinio kodo prigimtį. Be mokslo darbų, Gamow’as parašė apie dvidešimt mokslo populiarinimo knygų bei atsiminimus, pavadintus „Mano pasaulinė linija“.

G. Gamow’as iš esmės papildė ir sukonkretino ankstyvosios Visatos raidos po Didžiojo sprogo hipotezę. Jis padarė prielaidą, kad tuomet Visata buvo ne tik labai tanki, bet ir labai karšta. Pradiniam plėtimosi etapui aprašyti Gamow’as pritaikė termodinamiką bei atomo branduolio fiziką. Anot 1946 m. paskelbtos Gamow’o teorijos, pirmosiomis sekundėmis po sprogo egzistavo pirminė medžiaga, sudaryta iš neutronų, protonų ir elektronų. Visatai plečiantis ir vėstant, prasidėjo atomų branduolių sintezė, kuri truko tik kelias minutes. Gamow’as įrodė, kad būtent tuo pradiniu laikotarpiu, o ne vėliau žvaigždžių gelmėse, susidarė helis – jo apskaičiuotas vandenilio ir helio santykis atitiko stebimąją vertę. Tiesa, atsižvelgdamas į tuo metu priimtą trumpesnę Visatos amžių, Gamow’as manė, kad pirmosiomis minutėmis atsirado ir dauguma sunkesniųjų elementų, vėliau šio teiginio teko atsisakyti – paaiškėjo, kad išskyrus pačius lengviausius elementus, kiti, iki geležies, buvo sukurti žvaigždėse, o dar sunkesni – jų sprogo ir susijungimo metu. Karštosios Visatos teorija leido padaryti ir kitą svarbią išvadą, kad pradiniu plėtimosi laikotarpiu turėjo susidaryti intensyvi spinduliuotė, kuri ilgainiui pasiskirstė Visatoje ir atvėso maždaug iki 5 K, bet išliko iki šių laikų.

Gamow’o teorija ne iš karto sulaukė pripažinimo, nes ji buvo susidūrusi su viena rimta problema. Dydis, atvirkštinis Hubble’o konstantai, yra laiko tarpas, apytiksliai lygus Visatos amžiui. Dėl sisteminės paklaidos nustatant atstumus iki galaktikų, ilgą laiką buvo naudojama keletą kartų padidinta šios konstantos vertė, tad Visatos amžius gaunamas tik apie porą milijardų metų. O Žemės amžius, nustatytas pagal ilgaamžių radioaktyviųjų izotopų ir jų skilimo produktų santykinius kiekius Žemės plutoje, yra lygus per keturis milijardus metų, t. y. didesnis negu Visatos amžius. Norint išspręsti šį paradoksą, netgi siūlytas



18.5 pav. R. Wilson’as (kairėje) ir A. Penzias prie radijo antenos, kuria naudodamiesi jie atrado reliktinę spinduliuotę.

nuolat besikuriančios Visatos modelis. Jis buvo suderintas su Hubble'o dėsnio padarius prielaidą, kad Visatoje nuolat „gimsta“ medžiaga; tad, galaktikoms plečiantis, vidutinis jos tankis išlieka pastovus. Iš tikrųjų pakanka labai mažo susidarančios medžiagos kiekio – tik trijų atomų per metus viename kubiniame kilometre, tad tokią hipotezę gana sunku paneigti.

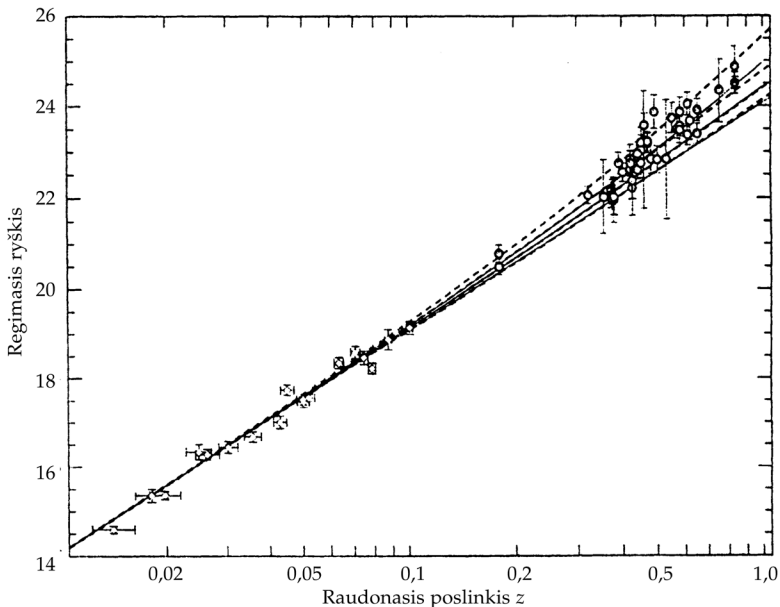
Nuolat besikuriančios Visatos hipotezės buvo atsakyta kaip dirbtinės išmonės po to, kai šeštajame dešimtmetyje buvo „išstaisyta“ Visatos amžius ir 1964 m. atrasta reliktinė spinduliuotė, nesiderinanti su šia hipoteze, bet numatyta karštosios Visatos teorijos. Šį atradimą visai atsitiktinai padarė du amerikiečių inžinieriai A. Penzias ir R. Wilson'as, mėgindami pritaikyti radioastronominiams stebėjimams anteną, kuri buvo naudota ryšiui su palydovais „Echo“. Jiems niekaip nesisekė pašalinti tam tikro radijo dažnių triukšmo, tad teko padaryti išvadą apie kosminę jo kilmę. Atradėjai nieko nežinojo apie Gamow'o teoriją (beje, jie užbėgo už akių specialistams, kurie jau kūrė aparatūrą šiam reiškiniai stebėti). Reliktinė spinduliuotė atitiko apie 3 K temperatūros pusiausvirąją būseną, tai patvirtino vėlesni kruopštūs tyrimai.

Šis esminis argumentas Gamow'o teorijos naudai sužadino domėjimąsi ja ir sparčiau tolesnę plėtrą. Naudojantis elementariųjų dalelių fizikos atradimais, tapo įmanoma nuosekliai aprašyti labai svarbų pradinį Visatos plėtimosi etapą (nulėmusį pagrindines jos savybes). Tuos rezultatus gavo įvairių šalių fizikai, aktyviai dirbę tiek elementariųjų dalelių fizikos, tiek kosmologijos srityse. Visatos raida buvo išskirta į kelis etapus, vadinamus eromis. Maždaug 10^{-6} s po Didžiojo sprogo, kai Visatos temperatūra buvo apie 10^{13} K, o tankis 10^{22} kg/m³, trumpą laiką besiplečiantis kamuolys buvo sudarytas daugiausia iš stipriai sąveikaujančių dalelių neutronų, protonų ir kitų hadronų bei jų antidalelių (hadronų era). Tačiau sparčiai mažėjant dalelių energijoms ir jų koncentracijai, anihiliacija nustelbė priešingą procesą – hadronų ir anti-hadronų porų susidarymą ir liko tik nedidelis skaičius protonų bei neutronų (nes dėl nelabai aiškių priežasčių antidalelių buvo mažiau), iš jų ir yra kilusi dabartinė Visatos medžiaga. Be to, buvo likę daug leptonų ir jų antidalelių, tad maždaug 1 s po Didžiojo sprogo prasidėjo leptonų era. Ji truko 10 s ir taip pat baigėsi daugumos elektronų ir pozitronų anihiliacija, po to ėmė vyrauti fotonai. Būtent fotonų eros pradžioje keliolika minučių aktyviai vyko branduolių sintezės reakcijos, apie 1/4 protonų susijungė į helio branduolius. Praėjus maždaug 400 000 metų, plazma atvėso iki 4000 K ir atsirado atomai – prasidėjo iš jų sudarytos medžiagos era, kuri tęsiasi iki šiol. Atomų branduoliams susijungus su elektronais, fotonai galėjo sklirti erdvėje daug silpniau sąveikaudami su medžiaga, tad jie ir virto reliktine spinduliuote.

Dar labiau įsiskverbti link Didžiojo sprogo momento leido septin-

tojo dešimtmečio pabaigoje sukurta bendra silpnosios ir elektromagnetinės sąveikų teorija bei po to išplėta kvantinė chromodinamika. Ja remiantis, buvo įrodyta, kad prieš hadronų erą egzistavo kvarkų ir gliuonų plazma. Dar anksčiau Visatą, matyt, sudarė labai masyvios, kol kas eksperimentiškai neatrastos elementariosios dalelės. Anot plėtojamų ankstyvosios Visatos teorijų, tuomet egzistavo tik viena fundamentinė sąveika, kuri, Visatai vėstant, išsiskyrė į keturias dabar egzistuojančias sąveikas. Būtent sąveikų atsiskyrimo metu, kaip ir vykstant faziniams virsmams, galėjo atsirasti defektų, kurie vėliau lėmė stambaus masto Visatos struktūros susidarymą. XX a. septintąjį ir aštuntąjį dešimtmečiais, atliekant galaktikų pasiskirstymo statistinę analizę, buvo atrasti galaktikų spiečiai ir superspiečiai. O apie 1985 m. paaiškėjo, kad daugelis superspiečių sudaryti iš ilgų gijų ir primena korį su didelėmis, beveik tuščiomis ertmėmis korių akyse. Jai paaiškinti buvo iškeltos įvairios hipotezės: kosminių stygų – ilgų plonų defektų, kurių viduje išliko neišsiskyrusi pirminė fundamentinė sąveika, hipotezė, pirminės medžiagos „blynų“ susidarymas dėl gravitacinio nestabilumo ir kt.

1980 m. amerikiečių astrofizikas A. Guth'as ankstyvosios Visatos raidos modelį papildė infliaciniu – labai greito plėtimosi – laikotarpiu, kuris truko maždaug 10^{-35} – 10^{-33} s. Tada turėjo egzistuoti tam tikra vakuumo būseną, kuri sukėlė didelę dalelių stūmos jėgą. Dėl to Visata trumpą laiką plėtėsi



18.6 pav. S. Perlmutter'io ir kitų 1998 m. gauti rezultatai, liudijantys, kad Visata plečiasi greitėjančiai. Supernovos regimasis ryškis yra proporcingas atstumui iki jos. z – bedimensis parametras, apibūdinantis spektro linijų poslinkį ($z = \Delta\lambda/\lambda$).

pagal eksponentinį dėsnį. Tuo metu ji galėjo įgyti sudėtingą sandarą iš daugelio sričių, kuriose galioja skirtingi dėsniai ir erdvėlaikio savybės, taigi galbūt mūsų Visata yra tik viena tokia sritis.

Visatos amžiui esant mažesniau už 10^{-43} s (Planck'o laikas), pasidaro svarbūs kvantiniai gravitacijos efektai ir nustoja galioti į juos neatsižvelgianti bendroji reliatyvumo teorija, ši riba lieka kol kas neįveikta kosmologijos.

Kita esminė šio mokslo problema – Visatos ateitis. Kaip minėta, ji priklauso nuo vidutinio medžiagos ir energijos tankio Visatoje. Dar XX a. ketvirtą dešimtmečio pradžioje F. Zwicky, J. Kapteyn'as ir J. Oort'as nustatė, kad galaktikų spiečiaus masė turi gerokai viršyti jų žvaigždžių masę, idant toks darinys išliktų ilgą laiką. O žvaigždžių sukimosi aplink galaktikos centrą greičiai liudija, kad nežinomos prigimties medžiaga vyrauja ir galaktikose, ji buvo pavadinta tamsiąja medžiaga.

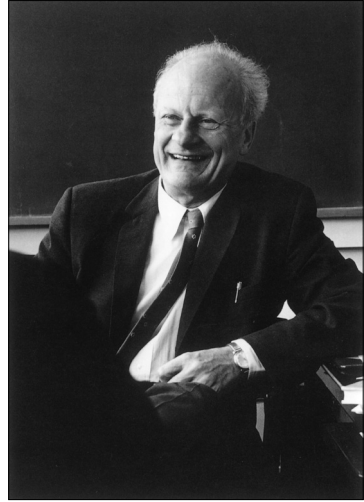
Bendrą vidutinį medžiagos ir energijos tankį Visatoje įmanoma įvertinti nustačius erdvėlaikio kreivį. Reliktinės spinduliuotės anizotropijos tyrimai, atlikti XX a. paskutinįjį dešimtmetį, įrodė, kad erdvėlaikio kreivis yra beveik lygus nuliui, o tai atitinka plokščią Visatą. Tą išvadą patvirtina ir tolimų objektų, kurių standartinis šviesis yra žinomas, stebėjimai. Antra vertus, įprastinės medžiagos, t. y. po Didžiojo sprogo susidariusių barionų, indėlių į tankį leidžia įvertinti dabar Visatoje esančio deuterio santykinis kiekis. Taigi derinant įvairius duomenis, pavyko nustatyti, kad įprastinė barioninė medžiaga sudaro tik 4,9 proc. tamsioji medžiaga – 26,8 proc. Visatos masės ir energijos tankio, o likę 68,3 proc. tenka nežinomos prigimties energijai, kuri buvo pavadinta tamsiąja energija (M. Turner, 1998 m.). Skirtingai nei tamsioji medžiaga, kuri sudaro telkinius galaktikų viduje bei aplink jas, tamsioji energija yra tolygiai pasiskirsčiusi erdvėje.

Visatos plėtimasis, veikiamas visuotinės traukos, turėtų lėtėti. Tą tikėtiną prielaidą 1998 m. paneigė dvi astronomų grupės: Berklio universiteto (JAV), vadovaujama S. Perlmutter'io, ir Maunt Stromlo observatorijos (Australija), vadovaujama B. Schmidt'o. Jų atlikti tolimų supernovų spektro linijų raudonojo poslinkio matavimai liudija, kad Visatos plėtimasis greitėja (18.6 pav.). Taigi galaktikas turi veikti kažkokia stūmos jėga, matyt, susijusi su tamsiąja energija. Tad į bendrosios reliatyvumo teorijos lygtis tenka gražinti Einstein'o kosmologinį narį, kurio įvedimą jis buvo pavadinęs savo didžiausia klaida.

18.2. ASTROFIZIKA

Astrofizikos raida XX a. taip pat glaudžiai susijusi su kitų šiuolaikinės fizikos sričių atradimais.

1912 m. austrų fizikas V. Hess'as atrado kosminius spindulius – didelės energijos daleles, atlekiančias į Žemę iš kosminės erdvės. Išvadą apie jų egzistavimą jis padarė remdamasis tuo, kad oro jonizacija auga kylant aukštnuo Žemės paviršiaus (ji buvo matuojama branduolio fizikoje išrastu jonizaciniu skaitikliu). Kosminių spindulių sudėties ir jų kilmės tyrimai tęsėsi visą šimtmetį. Tik XX a. antroje pusėje, naudojantis kosminėmis observatorijomis, buvo įrodyta, kad pagrindinis didelės energijos spinduliuotės šaltinis yra supernovos bei aktyvūs galaktikų branduoliai, dalį mažesnės energijos kosminių spindulių skleidžia Saulė. Kaip rašyta 16.2 poskyryje, tiriant antrinius kosminius spindulius – pirminių spindulių susidūrimo su oro atomais ir molekulėmis metu susidarantias daleles, juose 1932–1953 m. buvo atrasta daug svarbių elementariųjų dalelių – pozitronas, miuonas, π ir K mezonai ir hiperonai.



18.7 pav. Hans Bethe.

Vos paskelbus bendrąją reliatyvumo teoriją vokiečių astrofizikas C. Schwarzschild'as gavo pirmąjį tikslų jos lygčių sprendinį – užrašė sferinio kūno gravitacijos lauko išraišką ir įvedė gravitacinį (Schwarzschild'o) spindulį, iki kurio susispaudus kūnui, antrasis kosminis greitis pasidaro lygus šviesos greičiui, t. y. iš jo negali ištrūkti jokia dalelė, net fotonas. Vėliau toks kūnas buvo pavadintas juodąja skylė, o jos riba – įvykių horizontu.

Vienas iš pirmųjų bendrąją reliatyvumo teoriją astronomijoje pradėjo taikyti A. Eddington'as (1882–1944). Būtent jis 1919 m. suorganizavo ekspediciją į visiško Saulės užtemimo rajoną Einstein'o išvadai apie žvaigždės spindulio nukrypimą, jam praeinant pro Saulę, patikrinti ir taip prisidėjo prie greito šios teorijos pripažinimo. 1920 m. A. Eddington'as iškėlė idėją, kad pagrindinis žvaigždžių energijos šaltinis yra vandenilio virtimas heliu. Jis rėmėsi tuo, kad helio branduolio masė yra mažesnė už keturių vandenilio branduolių masę, todėl, pagal Einstein'o sąryšį tarp masės ir energijos, sintezės reakcijos metu turėtų išsiskirti didelis energijos kiekis. Tuo metu populiarsnė buvo J. Jeans'o hipotezė, kad žvaigždėse energija išsiskiria susijungiant elektronams su protonais ir išnykstant abiem dalelėms (iš tikrųjų tokia reakcija negalima – tai draudžia net du tvermės dėsniai). 1936 m. A. Eddington'as pasiūlė bendrą žvaigždės modelį, anot kurio, energiją iš žvaigždės vidaus į išorę perduoda spinduliuotė, o jos slėgis kartu su dujų slėgiu ir sunkio jėga palaiko žvaigždės pusiausvyrą. Tai leido teoriškai gauti sąryšį tarp

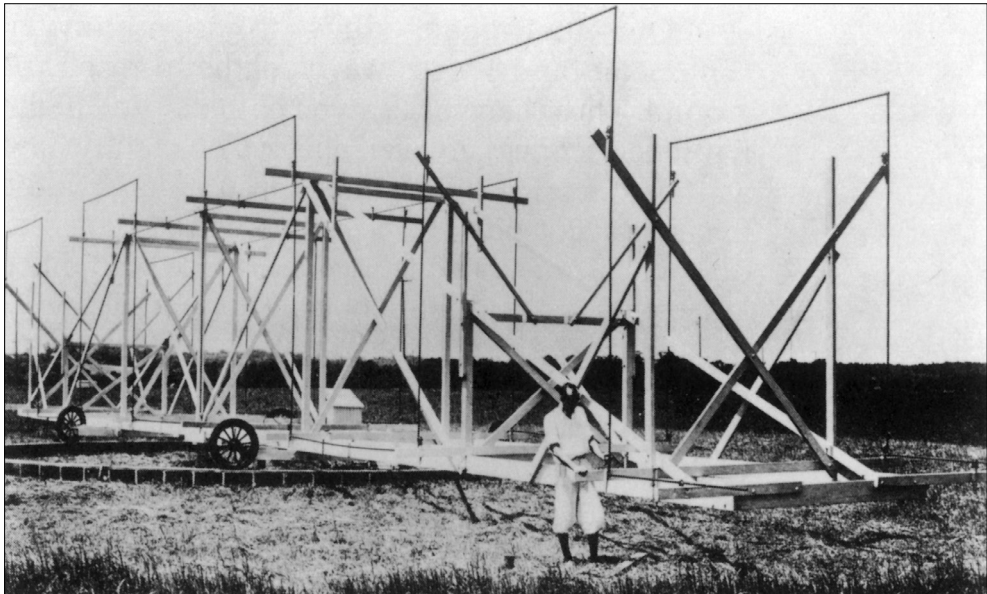
žvaigždės masės ir jos temperatūros bei šviesio.

Nustatyti konkrečius žvaigždėse vykstančių branduolinių reakcijų ciklus tapo įmanoma tik paaiškėjus atomo branduolio sandarai ir išplėtojus termobranduolinių reakcijų teoriją. 1938–1939 m. buvo atrasti du vandenilio virtimo heliu pagrindinės sekos žvaigždėse reakcijų būdai: H. Bethe ir C. Critchfield'as nustatė protonų grandinėlis ciklą, o H. Bethe ir C. Weizsäcker'is – anglies, azoto ir deguonies ciklą. 1937–1940 m. G. Gamow'as, atsižvelgdamas į žvaigždėse vykstančias branduolines reakcijas, sukūrė pradinę žvaigždžių evoliucijos teoriją.

Švedų fizikas H. Alfvén'as yra kosminių magnetinių reiškinių tyrimo pradininkas. Jis ketvirtajame dešimtmetyje teoriškai paaiškino Saulės dėmių, protuberantų susidarymą, Saulės vėją ir jo įtaką Žemės magnetosferai, yra vienas iš plazmos fizikos kūrėjų. Alfvén'as numatė tarpžvaigždinių magnetinių laukų egzistavimą ir aprašė jų poveikį dulkių debesų ir dalelių judėjimui.

Dar ketvirtojo dešimtmečio pradžioje buvo pradėta svarstyti, kuo viršta žvaigždė jai sproguos kaip supernovai. Buvo iškelta hipotezė, kad po sprogiimo susidaro baltoji nykštukė, tačiau indų astrofizikas S. Chandrasekhar'as įrodė, kad jei nykštukės masė didesnė nei pusantros Saulės masės, labai stipri gravitacijos jėga turėtų sukelti katastrofišką jos traukimąsi – kolapsą.

Atradus neutroną, L. Landau iškėlė neutroninės žvaigždės egzistavimo idėją. Buvo svarstoma tokios žvaigždės susidarymo supernovos sprogiimo metu galimybė, o R. Oppenheimer'is, L. Landau ir kiti atliko neutroninės

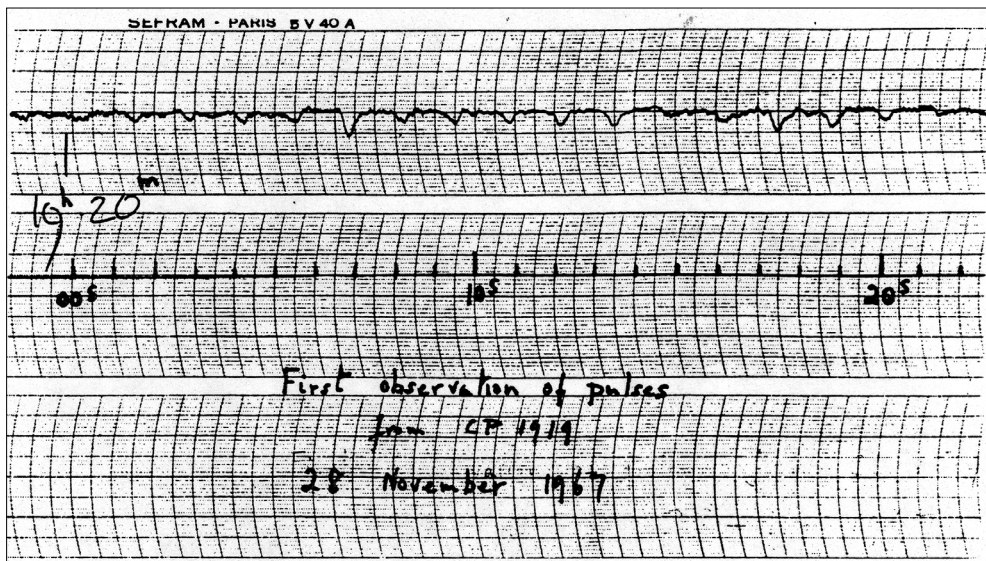


18.8 pav. K. Jansky prie radijo antenos, kuria naudodamasis aptiko kosmines radijo bangas.

žvaigždės modelio skaičiavimus. 1939 m. R. Oppenheimer'is ir H. Snyder'is numatė dar egzotiškesnio objekto – juodosios skylės – susidarymą žvaigždės kolapso metu, jai susitraukus iki gravitacinio spindulio. Vis dėlto daugelis astronomų labai skeptiškai žiūrėjo į neutroninių žvaigždžių ir juodųjų skylių egzistavimo galimybę.

Daug naujos esminės informacijos apie kosminius reiškinius suteikė radioastronomijos atsiradimas. Kosminės radijo bangas 1931 m. atrado amerikiečių radioinžinierius K. Jansky, mėgindamas išsiaiškinti tolimojo radijo ryšio trikdžių priežastį. Jis padarė išvadą, kad tų bangų šaltinis yra Paukščių Takas, tikėtina – centrinė jo dalis. Deja, tuo metu Jansky atradimas liko beveik nepastebėtas, tik 1937 m. kitas amerikietis G. Reber'is pasigamino pirmąjį radioteleskopą ir pradėjo reguliarius stebėjimus. Spartesnė radioastronomijos raida prasidėjo po Antrojo pasaulinio karo: 1946 m. buvo atrastas pirmasis diskretus radijo bangų šaltinis, 1951 m. – vandenilio, pagrindinio Visatos elemento, radijo spektro svarbiausioji 21 cm linija, dar po metų – pirmosios radiogalaktikos, skleidžiančios daugiau energijos radijo bangomis negu regimaisiais spinduliais. Pagaliau 1964 m. būtent radijo dažnių diapazone buvo aptikta reliktinė spinduliuotė.

1960 m. buvo pastebėti galingi radijo bangų šaltiniai, sutampantys su silpnomis regimosiomis žvaigždėmis, kurių spektrai turėjo visai nežinomas linijas. Kadangi įprastinėms žvaigždėms intensyvus radijo spinduliuavimas nėra būdingas, tie objektai buvo pavadinti kvazižvaigždiniais šaltiniais, arba kvazarais. Tikrąją jų atradimo data laikomi 1963 m., kai jaunas



18.9 pav. Pirmieji užregistruoti pulsaro CP 1919 signalai.

Nyderlandų astronomas M. Schmidt'as įminė jų spektro mįslę – pasirodė, kad tai yra žinomų elementų linijos, bet neįprastai toli paslinktos link raudonosios spektro srities. Laikant tą poslinkį kosmologiniu, t. y. nulemtu Visatos plėtimosi, kvazarai turėjo būti tolimiausi jos objektai, esantys už kelių milijardų šviesmečių. Vadinasi, jie skleidžia daugiau energijos negu visa galaktika, tačiau greitas jų spinduliuotės kitimas kelių valandų laikotarpiu bylojo apie objektų santykinai mažus matmenis, neviršijančius Saulės sistemos. Visi mėginimai paaiškinti kvazarų raudonąjį poslinkį kitokia priežastimi nebuvo sėkmingi, tad diskusijos dėl jų prigimties tęsėsi porą dešimtmečių. Raktą kvazarų mįslei išspręsti suteikė kitų egzotiškų objektų – masyvių žvaigždžių liekanų, susidarančių po supernovos sprogo, atradimas.

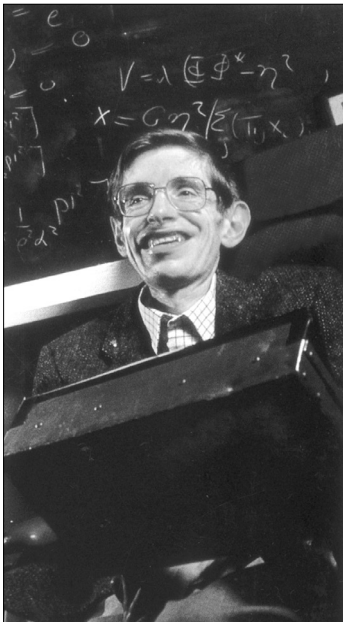
1967 m. Kembridžo universitete pradėjo veikti radioteleskopas, kuriu buvo galima registruoti sparčiai kintančius radijo signalus. Netrukus doktorantė Jocelyn Bell užregistravo labai taisyklingai – kas 1,34 s pasikartojančius signalus, kurie sklido iš šaltinio CP 1919. Ji su vadovu A. Hewish'u pusmetį dėsė paskelbti šį atradimą, įtardami, kad tai gali būti nežemiškos civilizacijos signalai. Tačiau per tą laiką buvo atrasti dar trys panašūs objektai kitose vietose, ir teko ieškoti fizikinio tokių pulsacijų paaiškinimo. Tada ir buvo prisimintos teoretikų numatytos neutroninės žvaigždės. Įrodyti, kad pulsaras iš tikro yra besisukanti neutroninė žvaigždė, kuri susidaro supernovos sprogo metu, kai žvaigždės liekanos masė viršija Chandrasekhar'o ribą, padėjo pulsaras, aptiktas Krabo ūke (jis stebimas toje dangaus vietoje, kur 1054 m. sužibo supernova).

Atrastų pulsarų skaičius sparčiai augo, ir jų tyrimai atskleidė unikalias neutroninės žvaigždės savybes – paaiškėjo, kad tai 20–30 km skersmens objektas, sudarytas daugiausia iš neutronų (kolapso metu atomų elektronai įspraudžiami į branduolius ir, susijungę su protonais, virsta neutronais), o jo paviršių dengia atomų branduolių pluta. Žvaigždei kolapsuojant, dėl tvermės dėsnų labai išauga jos sukimosi greitis, o magnetinis laukas sustiprėja iki 10^8 – 10^{12} Gs. Anot T. Gold'o 1968 m. pasiūlyto modelio, pulsaro signalai atsiranda dėl elektronų, judančių išilgai lauko linijų iš žvaigždės magnetinių polių sričių, kryptingo spinduliavimo bei to spindulių pluošto švytavimo sukantis žvaigždei. Neutroninės žvaigždės suteikė fizikams galimybę tirti medžiagą sąlygomis, kurių neįmanoma sukurti Žemės laboratorijose.

Atrasti juodąsias skyles, iš kurių negali ištrūkti nei šviesa, nei kitojie spinduliai, pasirodė esanti daug sudėtingesnė problema. Jų egzistavimą įrodyti padėjo dar vienos astronomijos šakos – rentgeno astronomijos atsiradimas. Šiuos spindulius sugeria Žemės atmosfera, tad kosminiai Röntgen'o spinduliuotės šaltiniai buvo pradėti tirti tik nuo 1948 m., tam tikslui panaudo-

jus trofėjines vokiečių V-2 raketas. Rentgeno astronomija ėmė sparčiai vystytis sukūrus specialius mokslinių tyrimų palydovus: „Uhuru“ 1970 m., orbitinę observatoriją „Einstein“ 1978 m. ir kt.

Iš pradžių buvo tiriama Saulės Röntgen'o spinduliuotė, kurios intensyvumas daug mažesnis negu jos regimosios šviesos ir išauga tik žybsnių metu. 1962 m. buvo atrastas pirmasis Röntgen'o spindulių šaltinis už Saulės sistemos ribų – ryškiausia rentgeno žvaigždė Sco X-1, esanti Skorpiono žvaigždyne. Dar po metų aptikta Krabo ūko Röntgen'o spinduliuotė; netrukus paaiškėjo, kad ją skleidžia magnetiniame lauke judantys elektronai. rentgeno žvaigždžių Sco X-1, Cyg X-1, Her X-1 ir kitų prigimtį pavyko nustatyti ne iš karto, nes jų šios spinduliuotės energija net 3–5 eilėmis pranoksta įprastinės žvaigždės visomis bangomis skleidžiamą energiją. Buvo siūlomos įvairios egzotiškos hipotezės, kurios, deja, viena po kitos atkrito neišlaikiusios patikrinimo. Liko vienas pagrindinis modelis – juodosios skylės (arba neutroninės žvaigždės), sudarančios dvinarę sistemą su žvaigžde milžine. Juodoji skylė siurbia medžiagą iš savo kaimynės, bet dėl judėjimo kiekio momento tvermės ta medžiaga į juodąją skylę krinta spirale ir sudaro aplink ją akrecinį diską. Dalelės, artėdamos prie juodosios skylės, greitėja beveik iki šviesos greičio, tad diskas skleidžia, ypač savo ašių kryptimis, labai intensyvius didelės energijos spindulius. Tokiu būdu gali išsilaisvinti net apie 30–40 proc. medžiagoje slypinčios rimties energijos.



18.10 pav. Stephen Hawking.

Sutapatinus rentgeno žvaigždę su toje vietoje stebima optine žvaigžde, iš tikrųjų, tai dažniausiai pasirodydavo esanti dvinarė sistema – supermilžinė ar milžinė ir didelės masės kompaktiškas objektas. Tiesa, kartais pastarojo masė, kaip antai Sco X-1, neviršija neutroninės žvaigždės ribinės masės, bet kitose dvinarėse sistemose, visų pirma Cyg X-1, sudaro 8–15 Saulės masių, tad atitinka juodąją skylę. Su tokia interpretacija derinasi greitas spinduliuotės kitimas, liudijantis mažus objekto matmenis, chaotinis jos pobūdis (medžiagos akrecija vyksta chaotiškai) ir kitos stebimos savybės. Tie netiesioginiai įrodymai, kad Cyg X-1 bei kiti kandidatai į juodąsias skylės iš tikrųjų yra šie keisti objektai, kaupėsi palaipsniui, tad negalima nurodyti datos, kada buvo atrasta pirmą juodoji skylė, net ir dabar nedidelė dalis astrofizikų dar mano,

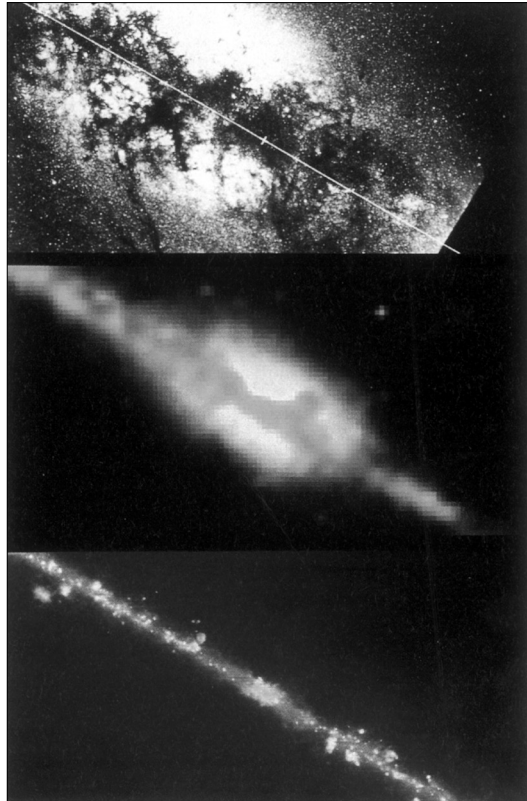
kad atradimas nėra galutinai patvirtintas.

1971–1974 m. anglų fizikas teoretikas S. Hawking'as įrodė keletą bendrų teoremų, aprašančių juodųjų skylių savybes. Stipriame tokio objekto gravitacijos lauke turėtų susidaryti dalelės ir antidalelės poros; viena iš jų gali nutolti nuo juodosios skylės, tad jos masė palaipsniui mažėja (objektas „garuoja“). Tas „garavimas“ vyksta tuo sparčiau, kuo mažesnė skylės masė, ir baigiasi sprogitu.

Milžiniškos masės labai aktyvios juodosios skylės galaktikų centruose pasirodė vienintelis neprieštaringas kvazarų paaiškinimas. Tokią jų prigimtį patvirtino ir pačių galaktikų, supančių kai kuriuos artimesnius kvazarus, atradimas. Kadangi dauguma kvazarų pasižymi dideliu raudonoju poslinkiu, vadinasi, jie atsirado pradiniu Visatos plėtimosi laikotarpiu, kai kurie praėjus vos vienam milijardui metų po Didžiojo sprogitu. Tai privertė peržiūrėti kosmologines teorijas, gerokai paankstinti galaktikų formavimosi pradžią. Apskritai, galaktikų susidarymas ir jų struktūros formavimasis, galutinai nepaaiškinti ligi šiol, matyt, yra labai glaudžiai susiję su kvazarų egzistavimu.

Pasirodo, supermasyvios, bet mažiau aktyvios nei kvazarai, juodosios skylės yra ir dar 1943 m. atrastų Seyfert'o galaktikų intensyvios spinduliuotės šaltiniai. O XXI a. paaiškėjo, jog toks branduolys – supermasyvi juodoji skylė – yra būdingas kiekvienai galaktikai, tik labai skiriasi jo masė (nuo milijonų iki milijardų Saulės masių) ir aktyvumas. „Snaudžiančią“ juodąją skylę išduoda gravitacinis jos veikimas – labai greitas artimų žvaigždžių sukimasis.

Juodoji skylė buvo atrasta ir mūsų Galaktikos centre (esančiame Šaulio žvaigždyno kryptimi). Saulė nuo šio centro yra nutolusi maždaug per 25 000 šviesmečių, tad jį stebėti regimai-



18.11 pav. Paukščių Tako centro vaizdas, matomas, registruojant įvairių bangų spindulius: regimuosius (viršuje); trumpųjų bangų infraraudonuosius (viduryje); ilgųjų bangų infraraudonuosius (apačioje).

siais spinduliais trukdo dujų ir dulkių debesys. Tačiau per juos prasiskverbia infraraudonieji spinduliai bei Röntgen'o spinduliai.

Stebėti kosminius infraraudonosios spinduliuotės šaltinius trukdo jos sugėrimas Žemės atmosferoje bei stiprus Žemės šaltinių, netgi pačių stebėjimo prietaisų šiluminis fonas. Tad infraraudonoji astronomija pradėta plėtoti iškelus šių spindulių registravimo įrenginius į kosmosą, ypač 1983 m. paleidus specialų Žemės palydovą IRAS (*Infrared Astronomical Satellite* – infraraudonasis astronominis palydovas), o 1995 m. – ISO (*Infrared Space Observatory* – infraraudonoji kosminė observatorija).

Galaktikos centro tyrimai parodė, kad ten iš tikrųjų glūdi nedidelių matmenų ypatingas objektas. Jį supa maždaug Saulės sistemos dydžio įkaitusių dujų debesys, kuriame juda greiti plazmos srautai, o toliau yra išsidėstęs tankus žvaigždžių kamuolys. Jų sukimasis aplink objektą dideliais greičiais leido įvertinti jo masę, ji pasirodė esanti mažesnė negu kvazaro masė, bet irgi gana įspūdinga – apie 4 milijonus Saulės masių.

Stebint Visatą infraraudonaisiais spinduliais, pavyko atrasti rudąsias nykštukes – mažos masės neįsižiebusias žvaigždutes, kuriose neprasidėjo branduolinės reakcijos, taip pat tirti prožvaigždes – dar tik susidarančias ir įsižiebiančias žvaigždes. Aplink kai kurias žvaigždes buvo aptikti tamsūs diskai, iš kurių, matyt, formuojasi planetų sistemos. XX a. pabaigoje prasidėjo egzoplanetų (kitų žvaigždžių planetų) atradimai, ypač po to, kai 2009 m. į orbitą aplink Saulę buvo iškeltas specialus kosminis teleskopas „Kepler“. Daugelio egzoplanetų atradimai įrodė, kad žvaigždę supančios planetos yra ne išimtis, o dėsningumas. Tai, kartu su gana sudėtingų organinių molekulių atradimu tarpžvaigždinėje erdvėje ir nemažo kiekio vandens aptikimu įvairiose Visatos srityse, labai padidina nežemiškų civilizacijų egzistavimo tikimybę.

Nuo XX a. septinto dešimtmečio buvo pradėti kosmoso stebėjimai γ spindulių diapazone. Būtent γ fotonai turėtų susidaryti elektronų ir pozitronų anihiliacijos metu, tačiau antimedžiagos egzistavimo kurioje nors Visatos dalyje požymių nėra aptikta. Tiesa, Galaktikos centre 1977 m. buvo atrastas Didysis anihiliatorius, skleidžiantis kaip tik ieškomus 0,5 MeV fotonus, bet, matyt, ten pozitronai susidaro kartu su elektronais krintant medžiagai į juodąją skylę. 1967–1968 m. JAV kariniais palydovais „Vela“ stebint, ar nėra vykdomi branduolinio ginklo bandymai, buvo atrasti paslaptingi γ spindulių žybsniai. Apie juos buvo paskelbta tik 1973 m., kai paaiškėjo kosminė jų kilmė. Žybsniai registruojami maždaug kartą per parą iš įvairių dangaus vietų, jie dažniausiai trunka tik keletą sekundžių. Aptikus po jų atsirandantį Röntgen'o ir optinį švytėjimą, buvo nustatyta, kad dauguma žybsnių sklinda

iš labai tolimų galaktikų, tad jie susiję su nepaprastai galingais procesais Visatoje.

XXI a. pradžioje pradėjus veikti γ spindulių kosminėms observatorijoms, užregistruoti keli tūkstančiai nuolatinių γ spindulių šaltinių, kurių dauguma siejama su aktyviomis juodosiomis skylėmis galaktikų centruose. Kaupiami duomenys ir apie γ spindulių žybsnius, tikrinamos dvi pagrindinės jų kilmės hipotezės – masyvių žvaigždžių kolapsas ir dviejų neutroninių žvaigždžių susilieėjimas į juodąją skylę.

Unikalios informacijos apie Visatą, apie procesus, vykstančius žvaigždžių gelmėse, tikimasi gauti iš dar tik pirmuosius žingsnius žengiančios neutrininės astronomijos.

SANTRAUKA

XX a. iš esmės pasikeitė Visatos samprata, buvo atskleisti joje vykstantys galingi procesai ir fizikinės jų priežastys, atrasta daug naujų, neįprastų objektų. Šią antrąją revoliuciją astronomijoje daugiausia lėmė šiuolaikinės fizikos – reliatyvumo teorijos, atomo branduolio ir elementariųjų dalelių fizikos – atradimai, prietaisų, leidžiančių registruoti įvairių dažnių elektromagnetines bangas, bei dirbtinių Žemės palydovų sukūrimas.

Bendroji reliatyvumo teorija padėjo pagrindus kosmologijai – mokslui apie Visatos sandarą ir jos evoliuciją. A. Einstein'as 1917 m. išplėtojo stacionarios uždarnosios Visatos modelį (nesiryždamas atsisakyti tradicinės Visatos sampratos, jis bendrosios reliatyvumo teorijos lygtyse pridėjo kosmologinę konstantą, atitinkančią hipotetinę stūmos jėgą), A. Fridmanas 1922–1924 m. ėmėsi nagrinėti kintančios laike Visatos modelius.

Tuo metu E. Hubble'as atrado kitas galaktikas ir 1929 m. nustatė dėsnį, kad jos tolsta nuo mūsų tuo greičiau, kuo labiau yra nutolusios. G. Lemaître'as tai susiejo su Visatos plėtimusi ir iškėlė hipotezę, kad Visata susidarė įvykus gigantiškam sproгимui. G. Gamow'as, remdamasis branduolio fizika, 1946 m. išvystė karštosios Visatos teoriją, aprašančią, kaip vyko pradinis labai tankios ir karštos Visatos plėtimasis. Ši teorija paaiškino santykinį vandenilio ir helio paplitimą bei numatė, kad iki šių laikų turi būti išlikę reliktniniai fotonai, susidarę tuoj po Didžiojo sprogimento. Juos 1964 m. atrado A. Penzias ir R. Wilson'as. Remiantis elementariųjų dalelių fizika, buvo modeliuojama vis ankstyvesnė Visatos raida. 1967 m. S. Weinberg'ui ir A. Salam'ui įrodžius, kad elektromagnetinė ir silpnoji sąveikos, esant didelėms dalelių energijoms (labai aukštai temperatūrai), virsta viena fundamentine sąveika, buvo iškelta hipotezė, kad visos fundamentinės sąveikos kilo iš vienos pirminės sąveikos tuoj po Didžiojo sprogimento. Būtent tais virsmis yra aiškinamas pradinių neviena-

lytiškumų atsiradimas, kurie vėliau nulėmė stambaus masto Visatos struktūros susidarymą – galaktikų spiečius bei superspiečius ir milžiniškas beveik tuščias erdves. 1980 m. A. Guth'as iškėlė hipotezę, kad tuoj po Didžiojo sprogo vyko labai greitas – eksponentinis Visatos plėtimasis (kosminė infliacija), kurio metu galėjo susidaryti atskiros jos sritys (visatos), turinčios skirtingas fizikines savybes.

Dar XX a. ketvirtame dešimtmetyje buvo nustatyta, kad Visatoje, be įprastinės medžiagos, iš kurios sudarytos žvaigždės ir kosminės dujos bei dulkės, turi egzistuoti dar mokslui nežinomos prigimties tamsioji medžiaga, aptinkama tik iš gravitacinio jos veikimo (J. Oort, F. Zwicky). Galaktikos masė, apskaičiuojama iš žvaigždžių sukimosi aplink jos centrą greičių, gaunama gerokai didesnė negu visų žvaigždžių ir tarpžvaigždinės medžiagos masė. Daug didesnės galaktikų masės yra būtinos ir norint paaaiškinti galaktikų spiečių stabilumą. Tamsiąją medžiagą galbūt sudaro masyvios, su įprastine medžiaga labai silpnai sąveikaujančios elementariosios dalelės, kurios atsirado tuoj po Didžiojo sprogo.

Tačiau ir tamsiosios medžiagos neužtenka norint gauti masės ir energijos tankį, kuris atitiktų plokščią, nulinio kreivio Visatą. O reliktinės mikrobangų spinduliuotės nedidelė anizotropija bei kiti duomenys liudija, jog mūsų Visata yra būtent tokia. Tad teko postuluoti dar nežinomos prigimties tamsiąją energiją (M. Turner, 1998 m.). Skirtingai nei tamsioji medžiaga, kuri sudaro telkinius galaktikų viduje bei aplink jas, tamsioji energija yra tolygiai pasiskirsčiusi erdvėje. Remiantis stebėjimų duomenimis, Visatoje mums žinomos medžiagos yra tik 4,9 proc., tamsiosios medžiagos – 26,8 proc., o likusioji dalis tenka tamsiajai energijai – 68,3 proc.

Pačioje XX a. pabaigoje pavyko atsakyti į esminį kosmologijos klausimą, kaip vyksta Visatos plėtimasis. 1998 m. paskelbti tolimų objektų raudonojo poslinkio matavimo rezultatai liudija, kad tas plėtimasis greitėja. Tai būtų neįmanoma veikiant tik gravitacijos jėgai. Greitėjančiam plėtimuisi reikalinga stūmos jėga, kurią mėginama sieti su tamsiąja energija.

Visą XX a. tęsėsi naujų Visatos objektų atradimai – tai lėmė vis naujų stebėjimo priemonių sukūrimas. Čia išvardysime tik svarbiausius atradimus. 1912 m. V. Hess'as aptiko kosminius spindulius, kurių sudėtis ir šaltiniai (supernovų sprogoimai, Saulė ir kt.) buvo nustatyti tik po kelių dešimčių metų. 1916 m. A. Einstein'as, remdamasis bendrąja reliatyvumo teorija, numatė gravitacinių bangų egzistavimą, tačiau jos buvo atrastos tik XXI a. pradžioje. Paaiškėjus branduolio sandarai ir išplėtojus branduolinių reakcijų teoriją, buvo nustatyti pagrindiniai žvaigždėse vykstančių reakcijų ciklai – protonų grandinėlės bei anglies, azoto ir deguonies (H. Bethe ir kt., 1938–1939 m.),

išplėtota žvaigždžių evoliucijos teorija (G. Gamow ir kt.). Tuo pačiu metu, remiantis atomo branduolio ir bendrąja reliatyvumo teorijomis, buvo numatyti ir egzotiški objektai – neutroninės žvaigždės ir juodosios skylės, kurios turėtų susidaryti masyvių žvaigždžių evoliucijos pabaigoje.

Neutroninės žvaigždės, kaip pulsarai, kurie siunčia mums trumpus periodinius radijo impulsus, buvo aptikti 1967 m. (J. Bell ir A. Hewish). Paaiškėjo, kad neutroninė žvaigždė pasižymi unikaliomis ypatybėmis – ne tik milžinišku tankiu ir kampiniu greičiu, bet ir labai stipriu magnetiniu lauku, kryptingu spinduliavimu iš magnetinių polių sričių ir kt. Dar sunkiau buvo įrodyti juodųjų skylių, iš kurių negali ištrūkti ne tik dalelės, bet ir šviesa, egzistavimą. Jas identifikuoti padėjo rentgeno astronomijos atsiradimas – kai kurios didelio šviesio rentgeno žvaigždės buvo sutapatintos su dvinarėmis sistemomis, sudarytomis iš žvaigždės milžinės ir kompaktiško didelės masės objekto, kuris ir yra Röntgen'o spinduliuotės šaltinis. Cyg X-1, Sco X-1 ir kitų panašių objektų stebėjimų duomenis gerai aprašo vienintelis modelis, pasiūlytas J. Zeldovičiaus ir E. Salpeter'io: rentgeno žvaigždė yra, priklausomai nuo jos masės, juodoji skylė arba neutroninė žvaigždė, kuri siurbia medžiagą iš savo kaimynės. Krintančios dalelės greitėdamos bei sukdamosi juda spirale ir sudaro akrecinį diską, skleidžiantį sukimosi ašių kryptimis intensyvią Röntgen'o ir kitokią spinduliuotę.

Milžiniškos masės juodosios skylės buvo aptiktos galaktikų centruose. Jos paaiškino 1963 m. atrastų kvazarų mįslę – koku būdu nedideli, Saulės sistemos matmenų objektai gali skleisti tiek energijos, kiek visa galaktika. Kvazarų spektrams būdingas didelis raudonasis poslinkis, taigi jie egzistavo pradiniu Visatos plėtimosi laikotarpiu. Artimose galaktikose buvo atrasti mažiau aktyvūs jų branduoliai, kurių masė irgi siekia šimtus milijonų, netgi milijardus Saulės masių, tai nustatoma pagal juodosios skylės, esančios galaktikos centre, – gravitacinį poveikį artimoms žvaigždėms. Žemei Galaktikos centrą užstoja dujų ir dulkių debesis, tačiau naudojantis infraraudonaisiais bei γ spinduliais, ir čia pavyko išvelgti ypatingą objektą, tiesa, tik apie 4 milijonų Saulės masių. 1974 m. S. Hawking'as įrodė, kad netgi juodoji skylė evolucionuoja – jos masė mažėja dėl dalelių ir antidalelių porų susidarymo stipriame gravitacijos lauke, ir tas procesas baigiasi sprogiu.

Baigiantis XX amžiui, atsirado γ astronomija, leidžianti tirti pačius galingiausius kosminius procesus – supernovos sprogiumą bei žvaigždžių akreciją į supermasyvią juodąją skylę, ir neutrininę astronomija, kuri suteikia galimybę gauti informacijos apie reakcijas, vykstančias žvaigždžių gelmėse ir pirmosiomis žvaigždės kolapso akimirkomis. O gravitacinių bangų atradimas XXI a. pradžioje suteikė dar vieną Visatos tyrimo būdą.

FIZIKOS ISTORIJOS ETAPAI IR DĒSNINGUMAI

Atsižvelgiant į mokslo lygį, naudotus metodus ir tirtus objektus, fizikos raida yra skirstoma į tris etapus: senosios, klasikinės ir šiuolaikinės fizikos.

Senoji fizika (VI a. pr. m. e. – XVI a. pab.). Fizika kaip gamtos filosofija, nagrinėjanti bendriausius gamtos dėsningumus, atsirado senovės Graikijoje, kai mokslo žinios atsiskyrė nuo religijos bei magijos ir tapo įmanoma racionaliai aiškinti pasaulio sandarą. Nesant išvystytų tyrimo metodų, naudojantis tik nedaugeliu netikslių faktų, juos nuosekliai apibendrinti nebuvo galimybės, tad mėginta iš karto išvelgti pirminį pradą ir dedukcijos būdu paaiškinti reiškinį įvairovę. Tarp daugelio tuo metu sukurtų mokymų apie gamtą racionaliausias ir artimiausias šiuolaikinei fizikai buvo Leukippos'o ir Demokritos'o mokymas apie atomus ir tuštumą. Aišku, tai tebuvo filosofinės idėjos, nuoseklus jų pagrindimas tapo įmanomas tik XIX–XX a.

Dviejų amžių graikų gamtos filosofijos raidą vainikavo Aristoteles'o sukurta bendra mokslo sistema. Jis pirmasis ėmėsi apibendrinti sukauptas žinias, tuo tikslu Aristoteles naudojo savo paties išplėtotais logikos metodais. Kartu jis rėmėsi ir bendromis filosofinėmis idėjomis. Iš daugelio Aristoteles'o veikalų keturi, tarp jų ir „Fizika“, skirti fizikos ir gretimų mokslų klausimams. Nekritiškai apibendrinęs stebėtojo Žemėje požiūrį, Aristoteles įtvirtino geocentrinę pasaulio sistemą su besisukančiomis dangaus sferomis ir laikėsi nuostatos apie Žemės ir dangaus pasaulių skirtingumą. Pagrindinis Aristoteles'o pasiekimas fizikos (dabartine prasme) srityje – jo sukurta pirmasis mokymas apie judėjimą. Aristoteles suformulavo realaus judėjimo, esant aplinkos pasipriešinimui, dėsnius, kurie iš tikrųjų galiojo tik apytikriai tam tikromis sąlygomis. Iš kitų fizikos sričių – optikos ir akustikos – Aristoteles pateikė tik atskirus faktus.

IV a. pr. m. e. ypač palankios sąlygos mokslo raidai susidarė Aleksandrijoje. Čia buvo įsteigta unikali Biblioteka, joje per porą amžių sukaupia šimtai tūkstančių rankraščių, ir veikė Muziejus – mokslininkų namai, kur, valstybės išlaikomi, jie galėjo atsidėti moksliniams tyrinėjimams. Aleksandrijos mokslininkai perėmė Aristoteles'o nuostatą remtis patyrimu, sisteminti mokslo žinias, tačiau atsisakė tas žinias grįsti bendromis filosofinėmis idėjomis. Pirmą kartą fizika atsiskyrė nuo filosofijos ir ėmė formuotis kaip atskiras tikslusis mokslas. Žymiausias to laikotarpio fizikas, matematikas ir inžinierius Archimedes pirmasis ėmė naudoti fizikoje matematikos metodus ir

taikyti fizikos atradimus technikoje, nustatė svarbius statikos ir hidrostatikos dėsnius. Aleksandrijoje atsirado antroji po mechanikos fizikos dalis – optika: Eukleides suformavo geometrinės optikos pagrindus. Heronas išrado eolipilą – garo turbinos prototipą, tačiau praktiškai jis nebuvo pritaikytas.

Palankiausias Muziejaus ir Bibliotekos veiklos laikotarpis truko apie pusantro šimtmečio, vėliau šis mokslo centras ne kartą nukentėjo nuo karų ir gaisrų, galiausiai jo likučiai IV a. pradžioje buvo sunaikinti religinių fanatikų. Romėnų mokslininkai Aleksandrijos fizikų darbų nepratęsė.

Vakarų Romos imperiją V a. užplūdus barbarams, Europos kultūra ir mokslas buvo nublokšti tūkstantmečiu atgal. Vis dėlto dalis senųjų rankraščių išliko dėka arabų mokslininkų, kurie vertino graikų atradimus ir netgi tęsė optinių reiškinių tyrinėjimus. Arabai įsteigė pirmuosius universitetus, jų pavyzdžiu panašios įstaigos XII–XIII a. atsirado ir Vakarų Europoje, kur jau buvo susidariusios palankios sąlygos mokslo kilimui. Didžiausią įtaką besiformuojančiam Europos mokslui turėjo Aristoteles'o mokymas, jis tapo viduramžių mokslo pagrindu, o Archimedes'o, Eukleides'o atradimai nebuvo įvertinti ir pratęsti. Tačiau Aristoteles'o sistemą suderinus su katalikų teologija, ši sistema tapo oficialiuoju mokslu, kurio nebuvo galima kritikuoti ir kūrybiškai plėtoti, o tik komentuoti; fizika virto knyginiu, scholastiniu mokslu.

XIV–XV a. Vakarų Europos mene ir kultūroje prasidėjęs atgimimas moksle sunkiai skynėsi kelią. Pavieniai mokslininkai, tokie kaip Leonardo da Vinci, W. Gilbert'as ir S. Stewin'as, pradėjo konkrečius eksperimentinius tyrimus, bet tik Gilbert'o elektros ir magnetizmo bandymai iš naujos fizikos srities susilaukė amžininkų dėmesio.

Klasikinė fizika (XVII a. pr. – XIX a. .pab.). Tikrojo fizikos atgimimo pradininkas buvo G. Galilei, kuris pratęsė Archimedes'o ir Eukleides'o tradiciją ne tik vykdydamas konkrečius, sistemingus tyrimus, bet ir jų rezultatams aprašyti naudodamas matematikos metodus. Galilei daugiausia plėtojo mechaniką, išsprendė keletą svarbių jos problemų, atrado reliatyvumo principą ir inercijos dėsnį, nors visų tų rezultatų dar nesujungė į nuoseklią sistemą. Teleskopo išradimas bei juo padaryti astronomijos atradimai lėmė Kopernik'o sistemos pripažinimą, o kartu suteikė postūmį optikai plėtoti. Nuo G. Galilei darbų prasidėjo sparti fizikos raida.

XVII a. pirmoje pusėje daugiausia buvo vystomi eksperimentinės fizikos metodai, sukurta naujų prietaisų. Oro siurblio, termometro, barometro, elektros mašinos išradimas leido greta mechaninių ir optinių reiškinių tyrimų pradėti ir dujų, skysčių, šilumos, elektros tyrimus. R. Boyle'is šiluminiais ir cheminiams reiškiniams aiškinti ėmė taikyti atomų hipotezę. C. Huygens'as aprašė sukamąjį judėjimą, jis ir R. Hooke'as plėtojo banginę šviesos teoriją.

R. Descartes sukūrē naują bendrą mokslo sistemą, kurioje greta konkrečių fizikos atradimų (šviesos lūžimo dėsnis, judėjimo kiekis ir jo tvermė, vaivorykštės prigimtis) buvo daug spekuliatyvių aiškinimų. Descartes'o sistema tapo labai populiari ir suvaidino svarbų vaidmenį kovojant su scholastiniu mokslu. Kadangi jis tebevyravo universitetuose, naujojo mokslo šalininkai ėmė jungtis į bendrijas – mokslų akademijas. XVII a. viduryje buvo pradėti spausdinti pirmieji mokslo žurnalai.

Naujosios fizikos pasiekimus apibendrino I. Newton'as, sukūręs klasikinės fizikos pagrindus. „Gamtos filosofijos matematiniuose pagrinduose“ (1687 m.) jis griežtai suformulavo tuo metu svarbiausios fizikos dalies – mechanikos – pagrindines sąvokas bei principus, o kartu apibrėžė ir bendrus fizikos metodus bei tikslus. Optikoje I. Newton'as išplėtojo vieną iš dviejų alternatyvių teorijų – korpuskulinę – bei pasižymėjo kaip eksperimentatorius, paaiškinęs šviesos dispersiją.

XVIII a. – mechanikos triumfo amžius. Grupė mokslininkų, kurie buvo ir matematikai, ir fizikai, išplėtojo matematinius mechanikos metodus, sukūrė ne tik materialijų taškų, bet ir kietųjų kūnų bei skysčių mechaniką, svyravimų teoriją, suteikė mechanikai bendrą ir griežtą pavidalą. Optikoje dėl I. Newton'o autoriteto įsivyravo korpuskulinė teorija, bet ji žymesnių laimėjimų nepasiekė. Šilumos fizikos raidą paskatino garo mašinos išradimas ir jos tobulinimo poreikis. Buvo suformuluotos pagrindinės sąvokos ir sukonstruoti tikslūs temperatūros bei šilumos matavimo prietaisai. Daugelis fizikų XVIII a. laikėsi šiluminio skysčio – kaloriko – hipotezės, tik amžiaus pabaigoje paaiškėjo jos ribotumas ir buvo gauti lemiami įrodymai kinetinės šilumos teorijos naudai.

XVIII a. baigėsi ilgai trukęs elementarių faktų apie elektrinius reiškinius kaupimas ir buvo sukurti elektrostatikos pagrindai. Spartūs elektros tyrimai prasidėjo išradus kondensatorių – Leideno stiklinę ir patobulinus elektros mašiną. B. Franklin'as išplėtojo pirmąją elektros teoriją, suformulavo elektros krūvio tvermės dėsnį. C. Coulomb'as nustatė krūvių sąveikos dėsnį.

XVIII a. prasidėjusi pramonės revoliucija skatino visuomenės domėjimąsi tiksliaisiais mokslais, kėlė naujas problemas, bet fizika dar liko fundamentiniu mokslu, jos ryšys su technika buvo silpnas.

XIX a. mechanikos pavyzdžiu buvo sparčiai plėtojamos kitos klasikinės fizikos sritys – optika, šilumos, elektros ir magnetizmo fizika.

Nuo XIX a. slenksčio prasidėjo atradimų laikotarpis banginėje šviesos teorijoje. T. Young'as suformulavo bendrą interferencijos principą ir pritaikė jį šviesos difrakcijai paaiškinti. A. Fresnel'is išplėtojo banginę šviesos teoriją, paaiškino poliarizacijos reiškinį, dvejopą spindulių lūžimą; vėliau ši teorija

buvo sugriežtinta ir papildyta. Daug pastangų padėta siekiant aptikti hipotetinių eterių, deja, šviesos greičio matavimai davė prieštarigus rezultatus apie eterio judėjimą judant Žemei.

XIX a. baigta formuluoti viena iš pagrindinių fizikos sąvokų – energija, buvo nustatytas jos tvermės dėsnis, kuris susiejo įvairius fizinius procesus. Apibendrintas, atsižvelgus į atliktą darbą ir šilumos pokytį, šis dėsnis tapo termodinamikos – bendro mokslo apie šiluminius reiškinius – pirmuoju principu. Pagrindiniai termodinamikos kūrėjai – R. Clausius, W. Thomson’as ir J. Gibbs’as. Remiantis kinetine šilumos teorija, buvo išplėtota statistinė dujų teorija (J. Maxwell, L. Boltzmann), kuri vėliau peraugo į statistinę fiziką.

Vis dėlto pagrindinė XIX a. fizikos kryptis buvo elektros ir magnetizmo tyrimai. Juos paskatino elektros srovės šaltinio – Volta stulpo – išradimas amžiaus pradžioje. Nors atsitiktiniai atradimai suvaidino nemažą vaidmenį, tačiau didžiausią indėlį į šios fizikos srities formavimą įnešė nuoseklūs, sistemingi tyrimai, atlikti A. Ampère’o (dviejų laidininkų su srove sąveikos dėsnis, magneto prigimties hipotezė) ir M. Faraday (elektromagnetinė indukcija, paramagnetizmas ir diamagnetizmas, lauko idėja). J. Maxwell’as, matematiškai apibendrinęs lauko idėją, išvedė bendras elektromagnetinio lauko lygtis, kurios vainikavo elektromagnetizmo teoriją, numatė elektromagnetinių bangų egzistavimą (jas eksperimentiškai atrado H. Hertz’as) ir kartu atskleidė šviesos, kaip elektromagnetinių bangų, prigimtį. Ši fizikos sritis buvo pirmoji plačiai ir labai vaisingai pritaikyta pramonėje bei ryšiams.

Taigi XIX a. baigta kurti klasikinė fizika – griežta, vartojanti matematikos kalbą, suprantama kaip deterministinė ir mechanistinė žinių sistema. Tačiau joje liko neįveiktų problemų ir netgi prieštarigų rezultatų (eterio egzistavimas, spektrai, absoliučiai juodo kūno spinduliuotė), nes mokslas jau priėjo klasikinės fizikos galiojimo ribas. Fiziką plėtojo nedidelės mokslininkų grupės, daugiausia susibūrusios universitetuose, jos naudojo dar nesudėtingus prietaisus. Fizikos atradimų taikymas išaugo tik XIX a. antrojoje pusėje.

Šiuolaikinė fizika (XX–XXI a.). Šiuolaikinė fizika prasidėjo nuo 1895–1897 m. padarytų trijų atradimų (Röntgen’o spindulių, radioaktyvumo ir elektrono), kurie atvėrė kelią į mikropasaulio pažinimą. Nuo klasikinės prie šiuolaikinės fizikos nebuvo galima pereiti nuoseklaus apibendrinimo keliu, nes reikėjo ieškoti visai naujų principų ir idėjų. Pirmuosius esminius žingsnius žengė klasikinės fizikos atstovai M. Planck’as (kvanto sąvoka), H. Lorentz’as (naujos erdvės ir laiko transformacijos), H. Poincaré (bendrasis reliatyvumo principas), atkakliai mėgindami aprašyti naujus faktus net ir priimant prielaidas, prieštaraujančias klasikinei fizikai. Vis dėlto šiuolaikinę fiziką, kaip visai naują fizikos sritį, atrado ir išplėtojo naujosios kartos moks-

lininkai A. Einstein'as, E. Rutherford'as, N. Bohr'as ir kiti. Gana ilgą laiką – maždaug iki 1920 m. – šiuolaikinės fizikos paradoksaliai idėjos dar nebuvo pripažintos daugumos fizikų, tęsėsi mėginimai jas suderinti su klasikine fizika. Tik sukūrus naujosios fizikos pagrindus nuoseklia, neprieštaringa forma bei išvadas patvirtinus akivaizdžiais eksperimentiniais įrodymais, ji buvo galutinai įteisinta moksle.

Pirmoji išsamų pavidalą įgijo reliatyvumo teorija – iš pradžių specialioji, o vėliau ir bendroji. Jos ne tik aprašė judėjimą greičiais, artimais šviesos greičiui, ir kūnų trauką, atsižvelgiant į baigtinį jos perdavimo greitį, bet ir atskleidė naujas esmines laiko, erdvės, masės ir energijos savybes bei tarpusavio ryšius. Vis dėlto, nors reliatyvumo teorijos išvados neįprastos, tai konservatyviausia šiuolaikinės fizikos teorija, vartojanti klasikinės fizikos, kad ir apibendrintas, sąvokas ir tęsianti kai kurias jos nuostatas (griežto determinizmo ir kt.).

Kokybiškai naujos kvantinės mechanikos idėjos brendo porą dešimtmečių, bet po to N. Bohr'o, W. Heisenberg'o, E. Schrödinger'io, W. Pauli ir kitų fizikų kolektyvinėmis pastangomis ši fizikos teorija buvo sukurta per keletą metų. Ji sudarė teorinį pagrindą plėtoti kitoms šiuolaikinės fizikos sritims – atomo, branduolio, molekulių, kietojo kūno fizikai, kvantinei elektrodinamikai. Tad, vos tik sukūrus kvantinę mechaniką, prasidėjo labai spartus ir vaisingas šių sričių įsisavinimas, per kelerius metus buvo pasiūlyti pagrindiniai modeliai ir atskleisti esminiai dėsningumai. Atomų branduolių bei elementariųjų dalelių savybes irgi lemia kvantiniai principai, bet tose fizikos srityse dar nebuvo žinomos veikiančios sąveikos ir pagrindiniai objektai. Sparčią atomo branduolio fizikos raidą paskatino neutrono atradimas 1932 m., o elementariųjų dalelių fizikos – naujų dalelių atradimų srautas, prasidėjęs po Antrojo pasaulinio karo (iš pradžių tyrinėjant kosminius spindulius, o vėliau – naudojantis vis didesnės energijos dalelių greitintuvais). Lazerių fizikos ir netiesinės optikos atsiradimą iš esmės nulėmė eksperimentinių priemonių plėtra.

Didelių nuotolių fizikai, skirtingai nuo mikrofizikos, neprireikė atrasti naujų sąveikų ar principų. Kai kuriuos kosminius reiškinius paaiškino klasikinė fizika, tačiau tik šiuolaikinės fizikos – reliatyvumo teorijos, atomo, branduolio, elementariųjų dalelių, plazmos fizikos – atsiradimas atvėrė galimybę suprasti Visatos ir jos objektų evoliuciją, interpretuoti atrastus keistus kosminius objektus. Įdomu, jog kosmologiniai ir kai kurie kosminiai reiškiniai pasirodė esą glaudžiai susiję su mikrofizikiniais reiškiniais, elementariųjų dalelių savybėmis.

Taigi XX a. vyko spartus fizikos skverbimasis į nutolusias nuo mūsų

tiesioginio patyrimo sritis, daugiausia – į mikropasaulius ir makropasaulius. Tai nepaprastai išplėtė žmogaus pažinimo ribas, atskleidė stulbinamą gamtos įvairovę ir harmoniją. Deja, naujiems objektams aprašyti prireikė sudėtingo matematinio aparato, naujų vaizdinių, neturinčių analogų mus supančiame pasaulyje, todėl šiuolaikinė fizika yra gana abstrakti ir sunkiai suprantama nespecialistui. XX amžiuje fizika priartėjo prie didžiausių gamtos paslapčių – Visatos kilmės, fundamentaliųjų dalelių egzistavimo, vakuumo, laiko ir erdvės problemų, kurios, matyt, yra glaudžiai persipynusios, bet tai išaiškinti tenka XXI a. mokslininkams.

Fizikams vis sunkiau sekėsi skverbtis į tolesnes pažinimo sritis, nes reikėjo vis sudėtingesnių prietaisų, matematinių metodų, didesnių intelektinių pastangų neįprastiems dėsningumams išvelgti. Vis dėlto XX a. tęsėsi sparti fizikos raida, kuriai palankias sąlygas sudarė moksliniam tyrimams skiriamos didelės valstybinės lėšos, ypač po Antrojo pasaulinio karo. Valstybinio ir privataus kapitalo dosnią paramą fizikai lėmė visų pirma platus ir labai vaisingi šiuolaikinės fizikos taikymai. Ji atskleidė naujus energijos šaltinius; remiantis fizikos atradimais, gana greitai įgyvendinamais technikoje ir technologijose, buvo sukurtos šiuolaikinės ryšių, automatizavimo, transporto ir kt. priemonės. Taigi XX a. fizika tapo tiesioginiu ir net pagrindiniu civilizacijos raidos veiksmu. Deja, XX a. pabaigoje, dėl ekonomikos bei ekologinės krizių ir kitų priežasčių, fizikos, ypač fundamentinės, finansavimas sumažėjo; tad unikalūs projektai vykdomi sutelkiant daugelio šalių mokslininkus ir lėšas.

Fizikams ėmus spręsti sudėtingas problemas, valstybei pradėjus tiesiogiai reguliuoti mokslą, pasikeitė ir mokslo pobūdis, organizavimo formos. Jis plėtojamas ne tik universitetuose, bet ir specializuotose mokslo įstaigose – nacionalinėse ir tarptautinėse laboratorijose, mokslo institutuose. Fizika, ypač eksperimentinė, įgavo kolektyvinį pobūdį. Labai išaugo mokslininkų tarpusavio ryšiai, svarbia jų forma tapo tarptautinės mokslinės konferencijos. Atradimai ėmė mažiau priklausyti nuo atsitiktinumų, o daugiau – nuo turimos įrangos, geros organizacijos, glaudžių ryšių su kitais tos srities mokslo centrais. Vis dėlto netikėtų atradimų, atveriančių visai naujas perspektyvas, įtaka mokslo raidai išliko gana didelė. Fizikai, kaip ir kitiems mokslams, būdingas ryškus pasiskirstymas pagal rangus – nedidelis skaičius pagrindinių mokslo centrų, žurnalų, mokslininkų vaidina ypač svarbų vaidmenį, o daugelis kitų atlieka tik parengiamąjį, pagalbinį darbą.

Kol kas jokie ženklai nerodo, kad šiuolaikinės fizikos etapas artėtų į pabaigą.

I PRIEDAS

SVARBIAUSIŲ FIZIKOS ATRADIMŲ CHRONOLOGIJA

- V–IV a. pr. m. e. Leukipos ir Demokritos iškėlė atomų ir tuštumos hipotezę.
- IV a. pr. m. e. II p. Aristoteles parašė veikalus „Fizika“, „Apie dangų“ ir kt., kuriuose išdėstė savo mokymą apie judėjimą ir pasaulio sandarą, nustatė apytikrius dėsnius, aprašančius kūnų judėjimą esant aplinkos pasipriešinimui.
- III a. pr. m. e. I p. Eukleides sukūrė geometrinės optikos pagrindus.
- III a. pr. m. e. II p. Archimedes sukūrė statikos pagrindus, įvedė svorio centro sąvoką, įrodė sverto dėsnį.
- III a. pr. m. e. II p. Archimedes atrado pagrindinį hidrostatikos dėsnį (Archimedes'o dėsnis).
- XIII a. vid. R. Bacon'as parengė „Didįjį veikalą“ (*Opus majus*), kuriame aprašė bandymus su veidrodžiais ir lęšiais, įrodinėjo eksperimentinių tyrimų svarbą (išspausdintas 1733 m.).
- 1269 m. Pierre'as de Maricourt'as (Peregrinus) parašė pirmąjį traktatą apie magnetizmą (išspausdintas 1558 m.).
- XIV a. Oksfordo ir Sorbonos (Paryžiaus) universitetų filosofai loginės analizės būdu įvedė naujas judėjimą apibūdinančias sąvokas: momentinį greitį ir pagreitį (W. Haytesbury), išplėtojo kūno judėjimą charakterizuojančio dydžio – *impetus* (judėjimo galios) sampratą (J. Buridan ir kt.).
- XV a. pab. Leonardo da Vinci nustatė kūnų trinties dėsnį, tyrė keliamąją jėgą, iškėlė idėją apie amžinojo variklio negalimumą.
- 1543 m. Išspausdintas M. Kopernik'o veikalas „Apie dangaus sferų sukimąsi“, kuriame išplėtota heliocentrinė sistema.
- 1554 m. F. Maurolico parašė traktatą „Pranešimas, nušviečiantis šviesą ir šešėlius“, kuriame paaikškino iškilų bei įgaubtų lęšių ir akinių veikimą, toliaregystės ir trumparegystės priežastį (išspausdintas 1611 m.).
- 1586 m. Išspausdintas S. Stevin'o veikalas „Statikos pagrindai“.
- 1592 m. G. Galilei išrado termoskopą (termometrą be skalės).
- 1600 m. Išspausdintas W. Gilbert'o traktatas „Apie magnetą, magnetinius kūnus ir didelį magnetą – Žemę“, kuriame aprašyta daug naujų bandymų su magnetais ir įelektrintaisiais kūnais, įrodyta, kad Žemė yra didelis magnetas.
- 1604 m. J. Kepler'is įvedė lęšio židinio sąvoką ir atrado lęšio formulę.

- 1604–1609 m. G. Galilei aprašė kūno, mesto kampu į horizontą, judėjimą ir įrodė, kad kūno laisvasis kritimas yra tolygiai greitėjantis.
- 1609–1610 m. G. Galilei sukonstravo žiūroną-teleskopą ir juo naudodamasis atrado Mėnulio kalnus, Jupiterio palydovus, išvelgė, kad Paukščių Takas yra sudarytas iš daugelio žvaigždžių.
- 1609 m. J. Kepler'io veikalas „Naujoji astronomija“ paskelbti pirmieji du planetų judėjimo dėsniai (Kepler'io dėsniai). Trečiąjį dėsnį jis paskelbė 1619 m.
- 1620 m. F. Bacon'as iškėlė mintį, kad šiluma yra medžiagos dalelių judėjimas.
- 1621 m. W. Snell'as eksperimentiškai nustatė šviesos lūžimo dėsnį, teoriškai jį įrodė R. Descartes 1637 m.
- 1632 m. Išspausdintas G. Galilei veikalas „Dialogas apie dvi svarbiausias pasaulio sistemas – Ptolemaios'o ir Kopernik'o“, kur pateiktas ir reliatyvumo principas bei inercijos dėsnis.
- 1637 m. R. Descartes paaiškino vaivorykštės susidarymą.
- 1636–1638 m. M. Mersenne'as ir G. Galilei suformulavo fizikinės akustikos pradmenis.
- 1638 m. Išleistas G. Galilei veikalas „Pokalbiai ir matematiniai įrodinėjimai apie dvi naujas mokslo šakas“, kuriame apibendrinti jo mechaninių reiškinų tyrimai, pateiktas kūnų laisvojo kritimo dėsnis ir kt.
- 1643 m. E. Torricelli atrado atmosferos slėgį.
- 1644 m. Išleistas R. Descartes'o veikalas „Filosofijos principai“, kur išdėstyta jo gamtos filosofijos sistema, įvesta judėjimo kiekio sąvoka, suformuluoti inercijos ir judėjimo kiekio tvermės dėsniai.
- 1650 m. O. Guericke išrado oro siurbį.
- 1653 m. B. Pascal'is nustatė slėgio skysčiuose ir dujose dėsnį (Pascal'io dėsnis).
- 1654 m. O. Guericke atliko viešą bandymą su Magdeburgo pusrutuliais.
- 1657 m. C. Huygens'as sukonstravo švytuoklinį laikrodį.
- 1660 m. R. Hooke'as atrado kietojo kūno tamprumo dėsnį; paskelbė 1676 m..
- ~ 1660 m. O. Guericke išrado elektros mašiną.
- 1661 m. R. Boyle'is nustatė dujų būsenos dėsnį (Boyle'io dėsnis).
- 1665 m. Po F. Grimaldi mirties paskelbtas jo veikalas, kuriame aprašytas šviesos difrakcijos reiškinys.
- 1665–1666 m. I. Newton'as atrado visuotinės traukos dėsnį.
- 1666 m. I. Newton'as eksperimentiškai įrodė, kad baltoji šviesa yra įvairių spalvų šviesos mišinys.

- 1673 m. Išleistas C. Huygens'o veikalas „Švytuoklinis laikrodis arba apie švytuoklės judėjimą“, kuriame aprašyta fizinė švytuoklė, gauta išcentrinės (įcentrinės) jėgos išraiška.
- 1676 m. O. Römer'is, stebėdamas Jupiterio palydovo judėjimą, apytiksliai apskaičiavo šviesos greitį.
- 1687 m. Išspausdintas I. Newton'o veikalas „Gamtos filosofijos matematiniai pagrindai“, kuriame sukurti mechanikos pagrindai (griežtai apibrėžtos pagrindinės jos sąvokos, pateikti trys pagrindiniai dėsniai), paskelbtas visuotinės traukos dėsnis, išspręstos svarbios dangaus kūnų judėjimo problemos.
- 1690 m. Pasirodė C. Huygens'o veikalas „Traktatas apie šviesą“. Jame išplėtota banginė šviesos teorija, pasiūlytas bangų gaubtinės metodas.
- 1702 m. G. Amontons'as iškėlė absoliučiojo nulio idėją.
- 1704 m. Išspausdintas I. Newton'o veikalas „Optika“. Jame išdėstyta korpuskulinė šviesos teorija, aprašyti interferenciniai žiedai (Newton'o žiedai), iškelta šviesos poliarizacijos idėja ir kt.
- 1727 m. J. Bradley atrado ir paaiškino šviesos aberacijos reiškinių.
- 1729 m. S. Gray nustatė, kad kai kurios medžiagos yra laidžios elektrai, o kitos – jai nelaidžios.
- 1733 m. C. du Fay įrodė, kad egzistuoja dviejų rūšių elektra.
- 1736 m. Išspausdintas L. Euler'io veikalas „Mechanika“, kuriame išplėtoti mechanikos analiziniai metodai, aprašytas materialiojo taško judėjimas veikiant įvairioms jėgoms.
- 1738 m. Išleistas D. Bernoulli veikalas „Hidrodinamika“, kuriame pateikta idealiojo skysčio stacionaraus tekėjimo lygtis (Bernoulli lygtis) ir kinetinės dujų teorijos pradai.
- 1742 m. A. Celsius įvedė jo vardu dabar vadinamą temperatūros skalę.
- 1745 m. E. Kleist'as ir P. Musschenbroek'as išrado Leideno stiklinę (elektros kondensatorių).
- 1746 m. L. Euler'is nustatė judėjimo kiekio momento tvermės dėsnį.
- 1750 m. B. Franklin'as išrado žaibolaidį, pasiūlė pirmąją elektros teoriją, įvedė teigiamojo ir neigiamojo krūvio sąvokas, numatė elektros krūvio tvermės dėsnį.
- 1755 m. L. Euler'is išplėtojo teorinę hidrodinamiką, kai kurie jos dėsniai anksčiau buvo nustatyti D. Bernoulli.
- 1758 m. R. Bošković'ius iškėlė hipotezę apie universaliosios fundamentinės jėgos egzistavimą.
- 1760 m. J. Lambert'o veikalas „Fotometrija“ nustatytos pagrindinės fotometrijos sąvokos ir dėsniai.

- 1765 m. Išleistas L. Euler'io veikalas „Kietųjų ir standžiųjų kūnų judėjimo teorija“, kuriame sukurti kietųjų kūnų mechanikos pagrindai, išplėtota inercijos momentų teorija, aprašytas sukamasis judėjimas.
- 1761–1762 m. J. Black'as atrado slaptąsias lydymosi ir virimo šilumas.
- 1770 m. J. Watt'as įvedė galios vienetą – arklio jėgą.
- 1772 m. J. Wilcke pradėjo matuoti kietųjų medžiagų savitąją šiluminę talpą.
- 1780 m. A. Lavoisier ir P. Laplace'as sukonstravo ledo kalorimetą.
- 1784 m. J. Watt'as sukonstravo pirmąją praktinę garo mašiną.
- 1785 m. C. Coulomb'as eksperimentiškai nustatė elektros krūvių sąveikos dėsnį.
- 1787 m. J. Charles atrado dėsnį, aprašantį dujų slėgio priklausomybę nuo temperatūros (Charles'o dėsnis).
- 1788 m. Išleistas J. Lagrange'o veikalas „Analizinė mechanika“, kuriame pateiktos bendros lygtys, aprašančios sistemos judėjimą (Lagrange'o lygtys), išplėtoti nauji mechanikos metodai. Darbe į vieningą visumą sujungti mechanikos principai, jų taikymas ir lygčių sprendimai.
- 1795 m. Prancūzijoje įvesta metrinė vienetų sistema.
- 1798 m. B. Rumford'as atliko bandymus, liudijančius kinetinės šilumos teorijos naudai.
- 1799 m. A. Volta sukonstravo nuolatinės elektros srovės šaltinį – Volta stulpą.
- 1800 m. W. Herschel'is atrado infraraudonuosius spindulius.
- 1801 m. T. Young'as suformulavo bangų interferencijos principą.
- 1801 m. J. Ritter'is atrado ultravioletinius spindulius.
- 1802 m. J. Gay-Lussac'as ir J. Dalton'as atskirai vienas nuo kito atrado dujų tūrio priklausomybę nuo temperatūros (Gay-Lussac'o dėsnis).
- 1803 m. T. Young'as išmatavo įvairių spalvų šviesos bangų ilgius.
- 1803 m. J. Dalton'as įvedė atominio svorio (masės) sąvoką ir nustatė kai kurių elementų atominius svorius.
- 1808 m. E. Malus atrado šviesos poliarizaciją.
- 1811 m. A. Avogadro aiškiai atskyrė atomų ir molekulių sąvokas bei nustatė dėsnį, jog vienoduose dujų tūriuose yra vienodas molekulių skaičius (Avogadro dėsnis).
- 1814 m. J. Fraunhofer'is atrado Saulės spektre tamsias linijas.
- 1818 m. A. Fresnel'is sukūrė šviesos difrakcijos teoriją.
- 1820 m. H. Oersted'as atrado elektros srovės magnetinį veikimą.
- 1820 m. A. Ampère'as nustatė dviejų elektros srovių sąveikos dėsnį.
- 1820 m. J. Biot ir F. Savart'as nustatė dėsnį, aprašantį elektros srovės sukuriamo magnetinio lauko stiprį (Biot ir Savart'o dėsnis).

- 1820 m. A. Ampère'as iškėlė hipotezę, kad magneto veikimą lemia jo dalelėse cirkuliuojančios elektros srovės.
- 1821 m. T. Seebeck'as atrado termoelektrą.
- 1822 m. Išspausdintas J. Fourier veikalas „Analizinė šilumos teorija“, kuriame matematiškai aprašytas šilumos sklidimas.
- 1824 m. Išspausdinta S. Carnot knygelė „Samprotavimai apie ugnies judinančiąją jėgą ir apie mašinas, galinčias šią jėgą sukurti“, kur pateikta idealiosios šiluminės mašinos teorija.
- 1826 m. G. Ohm'as eksperimentiškai nustatė sąryšį tarp elektrinės grandinės charakteristikų (Ohm'o dėsnis).
- 1826 m. Išspausdintas A. Ampère'o veikalas „Elektrodinaminių reiškinių teorija, pagrįsta vien tik bandymais“, kuriame pateiktas dviejų srovės elementų sąveikos dėsnis ir juo remiantis išplėta elektrodinamika.
- 1827 m. G. Ohm'as įvedė *elektros srovės stiprio* ir *varžos* sąvokas.
- 1827 m. R. Brown'as atrado dulkelių betvarkį judėjimą skystyje (Brown'o judėjimas).
- 1831 m. M. Faraday atrado elektromagnetinę indukciją.
- 1832 m. C. Gauss'as suformulavo bendrus metrologijos principus ir pasiūlė absoliučiąją vienetų sistemą.
- 1833 m. M. Faraday nustatė pirmąjį ir antrąjį elektrolizės dėsnius.
- 1834 m. M. Faraday įvedė jėgos linijas (lauko idėja).
- 1837 m. M. Faraday atrado dielektrikų poliarizacijos reiškinį.
- 1841 m. J. Joule'is nustatė elektros srovės šiluminio veikimo dėsnį (Joule'io dėsnis).
- 1842 m. J. Mayer'is atrado energijos tvermės dėsnį ir nustatė mechaninį šilumos ekvivalentą. 1843 m. dėsnį tikslesniais matavimais įrodė J. Joule'is, o 1847 m. bendriau suformulavo H. Helmholtz'as.
- 1842 m. C. Doppler'is nustatė garso šaltinio judėjimo atžvilgiu stebėtojo įtaką stebimam garso dažniui (Doppler'io efektas).
- 1845 m. M. Faraday atrado diamagnetizmą ir po dvejų metų – paramagnetizmą.
- 1845 m. G. Kirchoff'as nustatė elektros srovės tekėjimo sudėtingose grandinėse dėsnius.
- 1848 m. W. Thomson'as (Kelvin'as) įvedė absoliučiąją temperatūros skalę.
- 1850 m. R. Clausius suformulavo pirmąjį termodinamikos dėsnį.
- 1850 m. R. Clausius suformulavo antrąjį termodinamikos dėsnį. Kita forma jį 1851 m. pateikė W. Thomson'as.
- 1852 m. M. Faraday įvedė lauką kaip fizikinę realybę.

- 1854 m. W. Thomson'as ir R. Clausius pateikė antrojo termodinamikos dėsnio matematinę formuluotę grįžtamiesiems ir negrįžtamiesiems procesams.
- 1856–1857 m. A. Krönig'as ir R. Clausius sukūrė kinetinės dujų teorijos pagrindus.
- 1859 m. H. Kirchhoff'as ir R. Bunsen'as išplėtojo spektrinės analizės metodą.
- 1859 m. J. Plücker'is atrado katodinius spindulius.
- 1859 m. J. Maxwell'as nustatė dujų molekulių greičių skirstinį (Maxwell'o skirstinys).
- 1860–1865 m. J. Maxwell'as užrašė bendras elektromagnetinio lauko lygtis (Maxwell'o lygtys).
- 1865 m. J. Maxwell'as numatė elektromagnetinių bangų egzistavimą ir iškėlė hipotezę apie elektromagnetinę šviesos prigimtį.
- 1865 m. R. Clausius įvedė entropijos sąvoką ir nustatė jos didėjimo tendenciją.
- 1866 m. L. Boltzmann'as apibendrino Maxwell'o skirstinį dujoms, esančioms išoriniame lauke.
- 1869 m. H. Helmholtz'as sukonstravo elektrinių virpesių kontūrą, sudarytą iš kondensatoriaus ir indukcinės ritės.
- 1869 m. D. Mendelejevas sudarė periodinę elementų sistemą.
- 1872 m. L. Boltzmann'as nustatė ryšį tarp fizinės sistemos entropijos ir jos būsenos tikimybės ir įrodė antrojo termodinamikos dėsnio statistinę prigimtį.
- 1873 m. J. Gibbs'as išplėtojo bendrą termodinaminės pusiausvyros teoriją ir termodinaminių potencialų metodą.
- 1881 m. A. Michelson'as atliko eksperimentą, kuriuo įrodė, kad šviesos greitis Žemės judėjimo ir jai statmena kryptimis yra vienodas. Didėniu tikslumu eksperimentas buvo pakartotas A. Michelson'o ir E. Morley 1887 m.
- 1881 m. Įvyko Pirmasis tarptautinis elektrikų kongresas, kuriame buvo patvirtinta elektrinių ir magnetinių vienetų sistema.
- 1887 m. H. Hertz'as eksperimentiškai atrado elektromagnetines bangas.
- 1895 m. P. Curie nustatė, kad diamagnetikų magnetinis jautris priklauso nuo temperatūros, o paramagnetikų jautris atvirkščiai proporcingas temperatūrai (Curie dėsnis).
- 1895 m. H. Lorentz'as sukūrė klasikinės elektroninės teorijos pagrindus.
- 1895 m. W. Röntgen'as atrado jo vardu dabar vadinamus spindulius.
- 1896 m. H. Becquerel'is atrado urano radioaktyvumą.
- 1897 m. J. Thomson'as atrado elektroną.
- 1899 m. E. Rutherford'as išskyrė urano spinduliuotėje α ir β spindulius.
- 1899 m. P. Lebedevas išmatavo šviesos slėgį.

- 1900 m. M. Planck'as suformulavo kvanto hipotezę ir įvedė naują fundamentinę konstantą (Planck'o konstanta).
- 1900 m. P. Villard'as atrado γ spindulius.
- 1902–1903 m. E. Rutherford'as ir F. Soddy išplėtojo radioaktyviojo skilimo teoriją ir suformulavo radioaktyviųjų skilimų taisykles.
- 1903 m. J. Thomson'as pasiūlė atomo, sudaryto iš teigiamojo krūvio debesėlio ir elektronų, modelį.
- 1904 m. H. Lorentz'as pasiūlė erdvės ir laiko transformacijos, kurių atžvilgiu Maxwell'o lygtys yra invariantiškos (Lorentz'o transformacijos). 1900 m. šias transformacijas jau buvo siūlęs J. Larmor'as, o 1887 m. panašias – W. Voigt'as.
- 1904 m. H. Poincaré paskelbė bendrąjį reliatyvumo principą.
- 1905 m. A. Einstein'as nuosekliai išplėtojo specialiąją reliatyvumo teoriją, įrodė, kad ji atskleidžia naujas erdvės ir laiko savybes, išvedė Lorentz'o transformacijas, atmetė eterio hipotezę.
- 1905 m. A. Einstein'as atrado sąryšį tarp masės ir energijos.
- 1905 m. A. Einstein'as iškėlė hipotezę, kad šviesa yra sudaryta iš šviesos kvantų, kurie vėliau buvo pavadinti fotonais. Tuo remdamasis jis paaiškino fotoefekto dėsnius.
- 1905–1906 m. A. Einstein'as ir M. Smoluchowski paaiškino Brown'o judėjimą molekulinės kinetinės teorijos požiūriu.
- 1906 m. W. Nernst'as suformulavo teiginį, kad vienalyčio kūno entropija artėja prie pastovios vertės (vėliau patikslinta – prie nulio), kai jo temperatūra artėja prie absoliučiojo nulio (trečiasis termodinamikos dėsnis). Remiantis šiuo dėsniu, gauta išvada, kad jokiais būdais neįmanoma pasiekti absoliučiojo nulio.
- 1908 m. H. Kamerlingh Onnes suskystino helį – paskutines ligi tol neįveiktas dujas.
- 1908 m. H. Minkowski suteikė specialiajai reliatyvumo teorijai graikščią keturmatę formą. Galimybę nagrinėti Lorentz'o transformacijas kaip posūkius keturmatėje erdvėje dar 1906 m. buvo išvelgęs H. Poincaré.
- 1908 m. J. Perrin'as atliko eksperimentus tirdamas Brown'o judėjimą. Jų rezultatai atitiko numatytus teorinius dėsningumus ir galutinai patvirtino molekulių egzistavimą bei kinetinę šilumos teoriją.
- 1911 m. E. Rutherford'as, remdamasis α dalelių sklaidos eksperimentiniais rezultatais, gautais jo bendradarbių H. Geiger'io ir E. Marsden'o, bei savo paties atliktu teoriniu nagrinėjimu, atrado atomo branduolį ir pasiūlė planetinį atomo modelį.
- 1911 m. H. Kamerlingh Onnes atrado superlaidumo reiškinių.

- 1912 m. M. Laue, W. Friedrich'as ir P. Knipping'as atrado Röntgen'o spindulių difrakciją nuo kristalo. Tai įrodė šių spindulių banginę prigimtį ir davė pradžią medžiagos struktūrinei analizei.
- 1912 m. V. Hess'as atrado kosminius spindulius.
- 1912 m. C. Wilson'as išrado prietaisą elektringųjų mikrodalelių pėdsakams stebėti (Wilson'o kamera).
- 1913 m. N. Bohr'as suformulavo kvantinius postulatus, apibūdinančius elektrono judėjimą atome, ir teoriškai aprašė vandenilio spektrą.
- 1913 m. F. Soddy suformulavo ir įvedė izotopo sąvoką.
- 1913 m. J. Stark'as atrado spektro linijų suskilimą elektriniame lauke (Stark'o efektas).
- 1913 m. W.H. Bragg'as ir W.L. Bragg'as, naudodamiesi jų išplėtotu Röntgen'o struktūrinės analizės metodu, išaiškino valgomosios druskos kristalinę sandarą.
- 1915–
1916 m. A. Sommerfeld'as įvedė eliptines elektronų orbitas ir papildomus kvantinius skaičius joms aprašyti.
- 1916 m. Išspausdintas A. Einstein'o straipsnis „Bendrosios reliatyvumo teorijos pagrindai“, kuriame buvo nuosekliai išplėtota ši teorija.
- 1916 m. A. Einstein'as, remdamasis bendrąja reliatyvumo teorija, numatė gravitacines bangas.
- 1916 m. C. Schwarzschild'as išsprendė bendrosios reliatyvumo teorijos lygtis sferiniam kūnui ir įvedė gravitacinio spindulio sąvoką.
- 1917 m. A. Einstein'as teoriškai numatė priverstinį spinduliavimą ir įvedė savaiminio bei priverstinio spinduliavimo tikimybes.
- 1917 m. A. Einstein'as sukūrė stacionarios uždarnosios Visatos modelį.
- 1918 m. E. Noether nustatė ryšį tarp simetrijos savybių ir tvėrmės dėsnų.
- 1919 m. E. Rutherford'as atliko pirmąją dirbtinę branduolinę reakciją, paversdamas azotą deguonimi. Tuo pačiu buvo atrastas protonas, susidarantis šios reakcijos metu.
- 1919 m. Atlikus žvaigždžių stebėjimus visiško Saulės užtemimo metu, patvirtinta bendrosios reliatyvumo teorijos išvada apie šviesos spindulio nukrypimą jam sklindant arti masyvaus kūno (A. Eddington).
- 1919 m. H. Barkhausen'as eksperimentiškai aptiko domenų feromagnetike.
- 1920 m. A. Eddington'as išskėlė idėją, kad pagrindinis žvaigždžių energijos šaltinis yra vandenilio virtimo heliu branduolinė reakcija.
- 1922 m. N. Bohr'as paaiškino periodinę elementų sistemą atomų sandaros ypatumais.

- 1922–1924 m. A. Fridmanas, remdamasis bendrąja reliatyvumo teorija, įrodė, kad galimi įvairūs kintamos Visatos modeliai.
- 1923 m. A. Compton'as atrado jo vardu dabar vadinamą efektą, kuris patvirtino fotonų egzistavimą.
- 1923–1924 m. E. Hubble'as įrodė, kad spiraliniai ūkai yra nutolusios galaktikos.
- 1923–1924 m. L. de Broglie išskėlė idėją apie mikrodalelių banginę prigimtį.
- 1925 m. W. Pauli atrado jo vardu dabar vadinamą kvantinės mechanikos principą.
- 1924–1925 m. S. Bose ir A. Einstein'as išplėtojo dalelių su sveikuoju sukiniu kvantinę statistiką (Bose ir Einstein'o statistika).
- 1925 m. S. Goudsmit'as ir G. Uhlenbeck'as įvedė elektrono sukinių ir su juo susijusį magnetinį momentą.
- 1925 m. W. Heisenberg'as pasiūlė kvantinės mechanikos matricinę formą.
- 1926 m. E. Schrödinger'is įvedė dalelės banginę funkciją ir užrašė pagrindinę kvantinės mechanikos lygtį (Schrödinger'io lygtis). Jis įrodė banginės ir matricinės mechanikų ekvivalentiškumą.
- 1926 m. M. Born'as pasiūlė tikimybinę banginės funkcijos interpretaciją.
- 1926 m. E. Fermi ir P. Dirac'as išplėtojo kvantinę statistiką dalelėms su pusiniu sukiniu (Fermi ir Dirac'o statistika).
- 1926 m. A. Eddington'as išplėtojo bendrąjį žvaigždės modelį.
- 1927 m. W. Heisenberg'as suformulavo neapibrėžtumo principą.
- 1927 m. N. Bohr'as suformulavo papildomumo principą.
- 1927 m. C. Davisson'as, L. Germer'is ir J.P. Thomson'as eksperimentiškai atrado elektronų difrakciją.
- 1927 m. F. London'as ir W. Heitler'is, naudodamiesi kvantine mechanika, atliko pirmą vandenilio molekulės teorinį tyrimą.
- 1927 m. P. Dirac'as išplėtojo kvantinę spinduliavimo teoriją.
- 1927 m. G. Lemaître'as, remdamasis galaktikų spektrams būdingu raudonoju poslinkiu, išskėlė hipotezę, kad Visata susidarė įvykus milžiniškos galios sproгимui.
- 1928 m. P. Dirac'as gavo reliatyvistinę lygtį elektronui, kuri pagrindė elektrono sukinio egzistavimą.
- 1928 m. G. Gamow'as aprašė branduolių α skilimą kaip tunelinį reiškinį.
- 1928 m. D. Hartree pasiūlė artutinį elektronų banginių funkcijų skaičiavimo metodą, jį 1930 m. patikslino ir pagrindė V. Fokas (Hartree ir Foko metodas).

- 1928–1930 m. F. Bloch'as ir L. Brillouin'as sukūrė kietojo kūno energijos juostų teorijos pagrindus.
- 1929 m. H. Hubble'as nustatė tiesinį sąryšį tarp atstumo iki galaktikos ir radiolio jos greičio (Hubble'o dėsnis).
- 1929 m. F. Bloch'as užrašė elektrono, judančio periodiniame kristalinės gardelės lauke, banginę funkciją.
- 1929 m. I. Langmuir'as išplėtojo plazmos ir jos svyravimų teoriją.
- 1930 m. I. Tammas įvedė kvazidalelės fonono sąvoką.
- 1930 m. L. Brillouin'as įvedė Brillouin'o zonų sampratą.
- 1931 m. A. Wilson'as išplėtojo kvantinę puslaidininkių teoriją, aprašė elektroninį ir skylinį laidumą.
- 1931 m. S. Chandrasekhar'as įrodė, kad, baltosios nykštukės masei esant didesnei nei pusantrios Saulės masės, turėtų įvykti katastrofiškas jos traukimasis – kolapsas.
- 1931 m. L. Onsager'is įrodė vieną iš pagrindinių teoremų, aprašančių negrižtamuosius termodinaminius procesus.
- 1931 m. J. Frenkelis įvedė kvazidalelę eksitoną.
- 1931 m. K. Jansky atrado kosmines radijo bangas.
- 1931 m. W. Pauli pasiūlė neutrino hipotezę.
- 1932 m. J. Chadwick'as atrado neutroną.
- 1932 m. W. Heisenberg'as numatė stiprią sąveiką, išplėtojo atomo branduolio, sudaryto iš protonų ir neutronų, modelį. Jį nepriklausomai pasiūlė ir D. Ivanenko.
- 1932 m. E. Lawrence'as sukonstravo elementariųjų dalelių greitintuvą – ciklotroną.
- 1932 m. C. Anderson'as atrado pozitroną.
- 1933 m. G. Taylor'as nustatė kristalinės gardelės defektą dislokaciją ir išplėtojo dislokacijų teoriją.
- 1933 m. I. Curie ir F. Joliot-Curie stebėjo γ kvanto virtimą elektrono ir pozitrono pora bei tokios poros anihiliaciją.
- 1933 m. E. Fermi postulavo silpnąją sąveiką ir teoriškai aprašė β skilimą.
- 1933 m. W. Meissner'is nustatė, kad superlaidininkas išstumia išorinį magnetinį lauką (Meissner'io efektas).
- 1934 m. I. Curie ir F. Joliot-Curie atrado dirbtinį radioaktyvumą.
- 1935 m. L. Landau ir E. Lifšicas išplėtojo feromagnetizmo teoriją.
- 1936 m. C. Anderson'as ir S. Neddermeyer'is kosminiuose spinduliuose atrado miuoną.
- 1937 m. L. Landau sukūrė antrosios rūšies fazinių virsmų teoriją.

- 1938 m. P. Kapica atrado skysto helio supertakumą.
- 1938 m. H. Bethe ir C. Critchfield'as nustatė žvaigždėse vykstančių termobranduolinių reakcijų protonų grandinės ciklą.
- 1938 m. O. Hahn'as ir F. Strassmann'as atrado urano dalijimosi reakciją.
- 1938–1939 m. H. Bethe ir C. von Weizsäcker'is nustatė termobranduolinių reakcijų anglies, azoto ir deguonies ciklą.
- 1939 m. L. Meitner ir O. Frish'as paaiškino urano dalijimosi reakciją.
- 1939 m. R. Oppenheimer'is ir H. Snyder'is numatė juodosios skylės susidarymą masyvios žvaigždės kolapso metu.
- 1940 m. E. McMillan'as ir P. Abelson'as susintetino pirmąjį transuraninį elementą – neptūnį.
- 1941 m. L. Landau teoriškai paaiškino helio supertakumą.
- 1942 m. Pradėjo veikti urano katilas – pirmasis branduolinis reaktorius (E. Fermi ir kt.).
- 1945 m. JAV įvykdytas pirmasis bandomasis atominės bombos sprogdinimas (R. Oppenheimer ir kt.).
- 1946–1948 m. G. Gamow'as išplėtojo karštosios Visatos teoriją, aprašančią ankstyvosios Visatos raidą po Didžiojo sprogdinimo.
- 1947 m. S. Powell'as su bendradarbiais kosminiuose spinduliuose atrado elektringuosius π mezonus.
- 1947 m. G. Rochester'is ir C. Butler'is stebėjo K mezonus.
- 1947–1949 m. H. Bethe, V. Weisskopf'as, J. Schwinger'is ir kt. išplėtojo pernормavimo metodą.
- 1948–1949 m. S. Tomonaga, R. Feynman'as, J. Schwinger'is, F. Dyson'as ir kt. išplėtojo šiuolaikinę kvantinę elektrodinamiką.
- 1948 m. J. Bardeen'as ir W. Brattain'as sukūrė tranzistorių.
- 1948 m. D. Gabor'as pasiūlė holografijos metodą.
- 1949 m. E. Wigner'is suformulavo barioninio skaičiaus tvermės dėsnį.
- 1949 m. R. Feynman'as pasiūlė vaizduoti sąveikas tarp mikrodalelių, realiųjų ir virtualiųjų procesus specialiomis diagramomis (Feynman'o diagramos).
- 1949 m. W. Shockley sukūrė pn sandūros teoriją.
- 1950 m. A. Sacharovas pasiūlė tokamako įrenginį valdomai termobranduolinės sintezės reakcijai gauti.
- 1952 m. JAV atliko pirmąjį termobranduolinį sprogdinimą. Transportuojama vandenilinė bomba buvo susprogdinta SSRS 1953 m.
- 1952 m. D. Glaser'is išrado burbulinę kamerą elementariųjų dalelių pėdsakams stebėti.

- 1952 m. E. Fermi ir H. Anderson'as atrado pirmąjį rezonansą – labai trumpai gyvuojančią elementariąją dalelę.
- 1952 m. J. Zeldovičius ir kt. įvedė leptoninį kvantinį skaičių ir pasiūlė jo tvermės dėsnį.
- 1953 m. M. Gell-Mann'as ir K. Nishijima pasiūlė elementariųjų dalelių savybę keistumą ir jo tvermės dėsnį.
- 1954 m. C. Yang'as ir R. Mills'as išplėtojo kalibruotinių laukų teoriją.
- 1954 m. N. Basovas, A. Prochorovas ir nepriklausomai C. Townes sukūrė mikrobangų kvantinį generatorių – mazerį.
- 1955 m. O. Chamberlain'as, E. Segrè ir kt. atrado antiprotoną.
- 1956 m. F. Reines ir C. Cowan'as eksperimentiškai atrado elektroninį antineutrino.
- 1956 m. T. Lee ir C. Yang'as iškėlė hipotezę, kad silpnoji sąveika gali pažeisti lyginumo tvermės dėsnį. Tai eksperimentiškai patvirtino 1957 m. C. Wu.
- 1957 m. J. Bardeen'as, L. Cooper'is ir J. Schrieffer'is sukūrė nuoseklią superlaidumo teoriją.
- 1957 m. L. Esaki išrado tunelinį diodą.
- 1957 m. SSRS paleistas pirmasis dirbtinis Žemės palydovas.
- 1958 m. A. Schawlow'as, N. Basovas, A. Prochorovas, C. Townes ir kt. numatė lazerio veikimo principus.
- 1958 m. J. Kilby sukūrė pirmąjį integrinį grandyną.
- 1958 m. R. Mössbauer'is atrado branduolių γ rezonansą be atotrūkio.
- 1960 m. T. Maiman'as sukūrė rubino lazerį.
- 1960–1961 m. A. Schawlow'as ir N. Blombergen'as sukūrė lazerinės spektroskopijos pagrindus.
- 1961 m. A. Javan'as, W. Bennet'as ir D. Herriott'as sukūrė dujų (He ir Ne) nuolatinės veikos lazerį.
- 1962 m. L. Lederman'as ir kt. eksperimentiškai įrodė, kad egzistuoja dviejų rūšių neutrinai – elektroninis ir miuoninis.
- 1962 m. N. Bloembergen'as, P. Pershan'as, N. Kroll'as ir kt. sukūrė netiesinės optikos pagrindus.
- 1962 m. B. Josephson'as numatė naujo tipo tuneliavimą ir su juo susijusius efektus.
- 1962–1964 m. E. Leith'as ir J. Upatnieks'as, naudodami lazerinę spinduliuotę, išplėtojo optinės holografijos metodą.
- 1963 m. M. Schmidt'as įrodė, kad kvazarai yra labai tolimi, skleidžiantys nepaprastai daug energijos Visatos objektai.
- 1964 m. M. Gell-Mann'as ir G. Zweig'as iškėlė kvarkų hipotezę.

- 1964 m. P. Higgs'as pasiūlė elementariųjų dalelių masės kilmės mechanizmą.
- 1964 m. J. Bjorken'as ir S. Glashow'as apibrėžė elementariųjų dalelių kvantinę savybę – žavumą.
- 1964 m. H. Haken'as išplėtojo kvantinę lazerio teoriją.
- 1964 m. A. Penzias ir R. Wilson'as atrado reliktinę spinduliuotę (kosminę foninę mikrobangų spinduliuotę).
- 1964–1965 m. Y. Nambu ir kt. apibrėžė elementariųjų dalelių kvantinę savybę – spalvą.
- 1965 m. Novosibirske (SSRS) ir Stanforde (JAV) sukurti elektronų ir pozitronų priešpriešinių srautų greitintuvai.
- 1966 m. P. Sorokin'as, J. Lankard'as ir kt. pagamino keičiamo dažnio dažų lazerius.
- 1967 m. A. Hewish'as ir J. Bell atrado pulsarus (neutronines žvaigždes).
- 1967–1968 m. S. Weinberg'as ir A. Salam'as išplėtojo elektrosilpnosios sąveikos teoriją.
- 1967–1968 m. Palydovais „Vela“ aptikti γ spindulių žybsniai (paskelbta 1973 m.).
- 1970 m. Y. Nambu ir L. Susskind'as pasiūlė hadronams aprašyti reliatyvistinės stygos modelį.
- 1971–1973 m. M. Gell-Mann'as, H. Fritzsch'as, S. Weinberg'as ir kt. išplėtojo kvantinę chromodinamiką.
- 1974 m. S. Hawking'as numatė juodųjų skylių „garavimo“ reiškinių.
- 1974 m. S. Ting'o ir B. Richter'io vadovaujamos grupės atrado pirmą žaviąją dalelę J/ψ .
- 1975 m. M. Perl'as ir kt. atrado tauoną ir numatė τ neutriną.
- 1975 m. G. Hanson'as ir kt., tirdami elektronų ir pozitronų smūgius, stebėjo hadronų srautus, netiesiogiai patvirtinančius kvarkų egzistavimą.
- 1975 m. H. Harari įvedė elementariųjų dalelių kvantinę savybę sunkį.
- 1979 m. C. Berger'is ir kt., tirdami elektronų ir pozitronų priešpriešinių srautų susidūrimus, stebėjo hadronų srautus, liudijančius apie gliuonų egzistavimą.
- 1980 m. K. von Klitzing'as atrado kvantinį Hall'o efektą.
- 1980 m. A. Guth'as ankstyvosios Visatos raidos modelį papildė infliaciniu – labai greito plėtimosi – laikotarpiu.
- 1983 m. C. Rubbia, P. Darriulat ir kt. atrado W^- , W^+ ir Z^0 tarpinius vektorinius bozonus, perduodančius silpnąją sąveiką.

- 1984 m. R. Hulse'as ir J. Taylor'as, stebėdami dviejų neutroninių žvaigždžių sistemą, gavo pirmąjį netiesioginį gravitacinių bangų egzistavimo įrodymą.
- 1985 m. D. Matthews'as ir kt. sukūrė minkštųjų Röntgen'o spindulių lazerį.
- 1986 m. J. Bednorz'as ir K. Müller'is aptiko aukštatemperatūrį superlaidumą metalooksidinėse keramikose.
- 1989 m. G. Feldman'as, J. Steinberger'is ir kt. įrodė, kad egzistuoja tik trys fundamentaliųjų dalelių kartos.
- 1991 m. S. Iijima atrado naują anglies struktūrinę formą – nanovamzdelius.
- 1994 m. K. An'as, J. Childs'as ir kt. sukūrė vieno atomo lazerį.
- 1995 m. CDF (*Collider Detector Facility*) tūkstančio mokslininkų ir inžinierių grupė Fermi nacionalinėje greitintuvų laboratorijoje (JAV), naudodamasi protonų ir antiprotonų priešpriešinių srautų greitintuvu, eksperimentiškai įrodė, kad egzistuoja šeštasis kvarkas.
- 1995 m. E. Cornell'is, C. Wieman'as bei nepriklausomai W. Ketterle ir kt. gavo Bose ir Einstein'o kondensatą dujose.
- 1997 m. D. Bouwmeester'is ir kt. stebėjo kvantinę teleportaciją, naudodamiesi dviejų fotonų kvantine sietimi.
- 1998 m. S. Perlmutter'io ir B. Schmidt'o vadovaujamos astronomų grupės nepriklausomai nustatė, kad Visatos plėtimasis greitėja.
- 1998 m. T. Kajita ir A. McDonald'o grupės eksperimentiškai įrodė, kad vienos rūšies neutrinai gali virsti kitos rūšies neutrinais, o tai reiškia, kad šių dalelių masė nelygi nuliui.
- 2000 m. Tarptautinė mokslininkų grupė Fermi nacionalinėje greitintuvų laboratorijoje (JAV) atrado τ neutriną.
- 2003 m. Naudojantis sinchrotronu *SPring-8* (Japonija), atrasta naujo tipo elementarioji dalelė pentakvarkas, sudarytas iš keturių kvarkų ir vieno antikvarko.
- 2004 m. A. Geim'as ir K. Novosiolovas atliko esminius eksperimentus gaunant dvimatę anglies struktūrinę formą – grafeną.
- 2012 m. Dvi mokslininkų grupės, naudodamosi Didžiuoju hadronų kolaidieriu (CERN), atrado Higgs'o bozoną.
- 2012 m. M. Lukino ir V. Vuletic'io grupės sukūrė fotonines molekules.
- 2016 m. LIGO ir *Virgo* mokslininkų grupės (JAV) atrado gravitacines bangas

Chronologija parengta naudojantis žinytais [43, 44], interneto enciklopedijomis [19–23], fizikų biografijomis ir kitais šaltiniais.

PAGRINDINIŲ FIZIKOS SĄVOKŲ RAIDA

1. Judėjimas, greitis ir pagreitis
2. Materija, medžiaga, svoris ir masė
3. *Impetus*, impulsas ir judėjimo kiekis
4. Jėga ir sąveika
5. Atomai ir molekulės
6. Tuštuma, eteris ir vakuumas
7. Energija ir darbas
8. Šiluma, temperatūra ir entropija
9. Laukas
10. Elektros krūvis, elektrinė talpa ir potencialas
11. Elektros srovė, elektrinė varža ir įtampa

„Fizikos istorijos ir metodologijos kurse“, kuri autorius dėstė Vilniaus pedagoginio universiteto Fizikos ir technologijos fakulteto studentams, buvo pateikiama žinių ir apie pagrindinių fizikos sąvokų raidą. Juk bendrojo lavinimo mokykloje aiškinant tas sąvokas, neužtenka jas tiksliai apibrėžti, reikia suformuoti aiškią jų sampratą. Griežtas apibrėžimas mažiau pasirodusiam, nelinkusiam į abstraktų mąstymą moksleiviui dažnai būna sunkiai suvokiamas, todėl kalamas atmintinai, mechaniškai. Sąvoką geriausia paaiškinti įvairiais pavyzdžiais, padedančiais atskleisti jos turinį ir prasmę. Tam gali pasitarnauti ir pavyzdžiai iš istorijos. Įdomu, kad moksleiviai neretai kartoja tas pačias klaidas, kurias fizikai įveikė fizikos raidos kelyje. Aišku, gabesniau mokiniui, kaip ir fizikui, trumpiausia ir tiksliausia sąvokos samprata slypi ją apibrėžiančioje formulėje.

Ši apžvalga gali būti naudinga ir fizikams, besidomintiems savojo mokslo istorija. Tokios pagrindinės sąvokos, kaip *judėjimas*, *jėga*, *sąveika*, *energija*, *šiluma*, *temperatūra*, *laukas*, formavosi net šimtmečiais, tad jų raida atskleidžia įdomius paties mokslo raidos dėsningumus. Kai kurios fizikos sąvokos, kaip antai *greitis*, *jėga*, *šiluma*, *medžiaga*, atėjo iš kasdienės kalbos, bet fizikams teko jas tikslinti, kartais net iš esmės. Aišku, dauguma fizikos sąvokų buvo įvesta atradus ir tiriant įvairius reiškinius; tarp jų sunkiausiai suvokiamos tos, kurios apibūdina labai nutolusius nuo tiesioginės žmogaus patirties reiškinius bei objektus. Teorinė fizika neretai pasinaudoja matematikos sąvokomis. Antra vertus, kai kurios fizikos sąvokos persikelia ne tik į gretimuosius mokslus, bet ir į kasdienę kalbą, čia neretai įgydomos supaprastintą,

netgi kitokią prasmę, kaip antai *rezonansas*, *potencialas*, *kvantas*.

Atsekti sąvokų raidą nėra lengva, nes dabar fizikoje nebėra vartojamos graikų, lotynų ir kai kurios kitos kalbos, o vertimuose to meto terminai neretai būna pataisomi, pakeičiami šiuolaikiniais. Verta paminėti, kad tarp sąvokos ir jos termino ryšys toli gražu nėra paprastas. Kol sąvoka nėra įvardyta terminu, ji lieka neaiški, yra painiojama su kitomis sąvokomis. Antra vertus, terminas geriau ar mažiau atspindi sąvokos prasmę, netgi formuoja ją. Kai kuriose kalbose dvi gretimos ar panašios sąvokos vadinamos tuo pačiu terminu, o kitose kalbose joms įvedami skirtingi terminai. Be to, įvairiose kalbose nauji terminai atsiranda ir prigyja ne vienu metu. Tad terminų raidą reikia nagrinėti konkrečios kalbos požiūriu. Lietuviškų fizikos terminų sistema yra paskelbta „Fizikos terminų žodyne“ [17], deja, nesant aiškinamojo žodyno ne visada lengva suprasti, kokias sąvokas jie atitinka. Kai kurių lietuviškų fizikos terminų raida yra apžvelgta A. Kaulakienės straipsnyje [18]. O šiame priede pagrindinis dėmesys skiriamas bendrai sąvokų raidai.

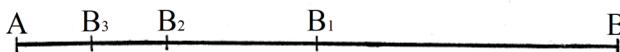
Toliau skyreliuose aptariama apie trisdešimt svarbių fizikos sąvokų, aišku, jų būtų galima priskaičiuoti gerokai daugiau. Be to, trumpoje apžvalgoje apsiribota tik kai kuriais svarbesniais jų raidos duomenimis. Antra vertus, nesistengta visiškai išvengti kai kurių faktų bei teiginių kartojimosi šiame priede ir pagrindiniame fizikos istorijos tekste – juk apžvelgiama to paties mokslo raida, tik kitu rakursu. Fizikos istorijoje daugiausia dėmesio skiriama bendriems dėsningumams, o kalbant apie sąvokų raidą, detaliau aprašomas jų formavimasis.

1. Judėjimas, greitis ir pagreitis

Kūnų mechaninį judėjimą suvokiame įvairiais pojūčiais, ir atrodo, kad jis lengvai suprantamas iš patirties, intuityviai. Iš tikrųjų tą aiškumą suteikia ne tiek kasdienė patirtis, kiek mokykloje įgytos žinios.

Senovės Graikijos filosofams judėjimas atrodė mįslingas reiškiny. Tai vaizdžiai pademonstravo iš Elėjos kilęs filosofas Zenon'as, suformulavęs keturis paradoksus, jo vadintus aporijomis.

Pirmoji aporija pavadinta „Dichotomija“. Tarkime, reikia nueiti kelio atkarpą $AB = a$. Tačiau prieš nueinant visą atkarpą, tenka įveikti jos pusę AB_1 , o prieš tai – jos ketvirtį AB_2 ir t. t.

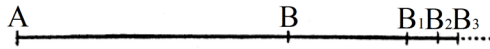


Taigi per baigtinį laiko tarpą reikia nueiti begalinį skaičių atkarpų, o to, pasak Zenon'o, padaryti neįmanoma.

Iš tikrųjų paradoksas lengvai išsprendžiamas pasinaudojus greičio sąvoka ir susumavus begalinę eilutę, kurios suma yra ne begalinė, o baigtinė. Jei kūno greitis v yra pastovus, tai laiko tarpai, per kuriuos nueinamos atkarpos $a/2$, $a/4$, $a/8$, ..., atitinkamai yra lygūs $a/2v$, $a/4v$, $a/8v$, ... Taigi visa atkarpa įveikiama per laiko tarpą:

$$t = \frac{a}{v} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots \right) = \frac{a}{v} \frac{\frac{1}{2}}{1 - \frac{1}{2}} = \frac{a}{v}.$$

Panašiai paaiškinamas ir kitas, gal pats žinomiausias, Zenon'o paradoksas „Achilas ir vėžlys“. Greitakojis Achilas, graikų didvyris, tarsi negali pavyti vėžlio, nes, kol Achilas nubėga atstumą a iš taško A ligi tos vietos (B), kur buvo vėžlys, tas jau nušliaužia į priekį (į tašką B_1), ir taip kiekvieną kartą. Taigi daroma išvada, kad vėžlio pavyti neįmanoma.



Dabar šį paradoksą gali išspręsti ir moksleivis. Tarkime, kad Achilo greitis yra V , o vėžlio greitis – v ; nesunku apskaičiuoti, kaip trumpėja laiko tarpas, per kurį Achilas atbėga į taškus B, B_1 , B_2 , ..., tad jis pavys vėžlį per laiko tarpą:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + \dots = \frac{a}{V} + \frac{av}{V^2} + \frac{av^2}{V^3} + \dots = \frac{a}{V} \frac{1}{1 - \frac{v}{V}} = \frac{a}{V - v}.$$

Trečiasis paradoksas „Strėlė“. Skriejanti strėlė kiekvienu momentu užima tam tikrą vietą (tos strėlės ilgio), vadinasi, anot Zenon'o, strėlė tos vietos atžvilgiu yra parimusi. Kadangi tai galioja bet kuriam laiko momentui, tai strėlė visą laiką tarsi nejuda. Iš tikrųjų, mažėjant laiko tarpui ir per jį nueinamam atstumui, greitis nepasidaro lygus nuliui, bet pereina į momentinį greitį, apie kurį Zenon'as nežinojo.

Ketvirtasis paradoksas – „Stadijos“. Sakykime, yra trys raitelių eilės (raitelis greta raitelio):

$$\begin{array}{ll} \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 & \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \\ \beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 & \beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 \leftarrow \\ \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 \gamma_4 & \rightarrow \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 \gamma_4 \end{array}$$

Tarkime, eilė $\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4$ nejuda, $\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4$ juda į kairę, o $\gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 \gamma_4$ – į dešinę. Tada po tam tikro laiko susidarys dešinėje pusėje parodyta padėtis. Raitelis β_4 nejudančios $\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4$ eilės atžvilgiu nušoliavo pusę tos eilės il-

gio, bet $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ eilės atžvilgiu – per visą jos ilgį, taigi per tą patį laiką raitelis nujojo ir pusę atstumo, ir visą atstumą. Išeitų, kad $l = 1/2$. Matome, kad tuomet dar nebuvo suvokta, jog greitis yra santykinis dydis, t. y. jis nejudančios eilės ir į priešingą pusę judančios eilės atžvilgiu yra skirtingas.

Pirmąjį nuoseklų mokymą apie judėjimą sukūrė Aristoteles. Jis judėjimą suprato labai plačia prasme – juo vadino bet koki kitimą, o judėjimą dabartine, siauresne, prasme Aristoteles vadino lokaliuoju judėjimu. Toliau jį vadinsime tiesiog judėjimu ir aptarsime tik jį.

Remdamasis savo ir pirmtakų stebėjimais, Aristoteles judėjimą skirstė į natūralų ir priverstinį, priklausomai nuo to, ar jis vyksta dėl natūralios, ar dėl atsitiktinės priežasties. Natūralų kūnų judėjimą lemia jų prigimtis. Taigi tokio judėjimo Žemėje priežastis slypi pačiuose kūnuose, nes „jiems gamtos skirta būti „kažkur“; tuo ir skiriasi lengvas kūnas nuo sunkaus, kad vienas veržiasi į viršų, o kitas žemyn“. Jeigu niekas nekliudo, kūnas stengiasi užimti jam skirtą vietą.

Pasak Aristoteles'o, krintančio kūno greitis yra proporcingas jo svoriui. Greitis didėja kūnui artėjant prie Žemės centro. Antra vertus, judėjimas danguje susideda iš paprastų judėjimų ratu; tai tobulas judėjimas, neturintis nei pradžios, nei pabaigos, pirminė jo priežastis – Dievas.

Priverstinis, arba dirbtinis, judėjimas vyksta veikiant jėgai, t. y., Aristoteles'o požiūriu, vienam kūnui veikiant kitą kūną. Tokio judėjimo greitis yra proporcingas veikiančiajai jėgai.

Aristoteles teigė, kad kokybė ir kiekybė yra iš esmės skirtingos kategorijos, todėl kokybės negalima matuoti kiekybe. Matyt, dėl to jis nedarė krintančio kūno stebėjimų. Vis dėlto ir tais laikais buvo įmanoma nustatyti, kad kūno kritimo greitis nėra proporcingas jo svoriui (dabartiniu supratimu – masei).

Apskritai, ne tik Aristoteles, bet ir kiti antikios filosofai manė, kad imant dviejų skirtingų dydžių santykį, jie tarsi dalijami vienas iš kito, o tai atrodė neįmanoma. Todėl nebuvo įvesta greičio sąvoka mums įprastine prasme $v = S/t$. Dviejų kūnų greičiai buvo lyginami pagal atstumus, kuriuos jie nueina per tą patį laiką, arba pagal laiko tarpus, kuriuos jie sugaišta tam pačiam atstumui įveikti:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_1}{S_2} \quad \text{arba} \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{t_1}{t_2} .$$

Šitaip nustatant greitį, imamas tokių pačių dydžių santykis.

Antikos laikais buvo žinoma ir tolygiojo judėjimo (pastoviu greičiu) sąvoka. Aristoteles'o amžininkas Autolikos savo veikale rašė: „Sakoma, jog kūnas juda tolygiai, jei per lygius laiko tarpus jis nueina lygius ir vienodus

dydžius.“ Vienodais dydžiais čia suprantamos tiesios atkarpos, lankai ir pan.

Aristoteles’ui buvo žinoma greičių sudėtis. Jis rašė: „Jeigu judantysis dalyvauja vienu metu dviejuose judėjimuose taip, kad atstumai, nueinami per tą patį laiką, atitinka pastovų santykį, tai judantysis juda įstrižaine lygiagre-tainio, kurio kraštinių ilgiai atitinka tą patį santykį.“

Viduramžiais, XIII a. ir ypač XIV a., Oksfordo ir Sorbonos univer-sitetuose vyko filosofiniai ginčai dėl Aristoteles’o fizikos interpretacijos ir buvo patikslinta judėjimo samprata.

Albertus Saks’as, dėstęs Sorbonos universitete XIV a. viduryje, mėgi-no skirstyti judėjimą į slenkamąjį, sukamąjį, tolygųjį ir kintamąjį, vėliau jis ir kiti šio universiteto dėstytojai jau vartojo ir tolygiai kintamo judėjimo sąvoką. Sukamajam judėjimui Saks’as įvedė kampinio greičio sąvoką.

Oksfordo universiteto profesorius William’as Heytesbury (XIV a.) traktate „Sofizmų sprendimo taisyklės“ įvedė momentinio greičio sąvoką, tiesa, išreiškė šį dydį per kelią, kurią nueitų kūnas, jeigu jis tolygiai judėtų greičiu, kokį turėjo tam tikru laiko momentu. Šiame traktate taip pat buvo nu-sakytas pagreitis, kaip pastovus greičio prieaugis esant tolygiai greitėjančiam judėjimui. Jo kolega William’as Collinghem’as suformulavo teisingą tolygiai kintamo judėjimo dėsnį kaip nueitojo kelio nelyginių skaičių seką (tuo metu matematiniai išvedžiojimai ir rezultatai paprastai būdavo pateikiami aritme-tine forma).

XVI a. Oksfordo profesoriaus Domingo Soto rankraštyje be jokio įro-dymo, komentuojant Aristoteles’o veikalą, buvo teigiama, kad kūno kritimas yra tolygiai greitėjantis judėjimas.

XIV a. prancūzų filosofas ir matematikas Nikolas Oresm’as pasiūlė judėjimą nagrinėti naudojantis stačiakampe koordinačių sistema: vienoje ašy-je atidėti atkarpas, proporcingas greičiui, o kitoje ašyje – laiką.

Visos tos įžvalgos rėmėsi vien loginiais samprotavimais (aišku, at-sižvelgiant į gyvenimo patirtį), o ne bandymais, kurie viduramžiais nebuvo vykdomi. Vėliau, scholastikai virtus nekritišku Aristoteles’o veikalų komen-tavimu, minėtos originalios mintys buvo pamirštos. Jos išliko tik rankraš-čiuose ir nepadarė didesnės įtakos fizikos raidai. G. Galilei ir kiti Renesan-so mokslininkai iš naujo gavo tuos rezultatus ir padarė tai daug įtikinamiau, pagrįsdami įrodymus bandymais. Todėl dažnai viduramžių mechanikų idėjos net neminimos, ir momentinio greičio, pagreičio, tolygiai kintamo judėjimo sąvokų formulavimas priskiriamas Galilei.

Galileo Galilei mechanikos problemas daugiausia nagrinėjo savo pas-kutiniame veikle „Pokalbiai ir matematiniai įrodinėjimai apie dvi naujas mokslo šakas, susijusias su mechanika ir vietiniu judėjimu“, nors kūnų judė-

jimas buvo jo aptartas ir kituose veikaluose, tarp jų ir „Dialogue apie dvi pasaulio sistemas“. „Pokalbiuose“ Galilei rašė: „Mes kuriame visai naują mokslą apie labai seną dalyką. Gamtoje nėra nieko senesnio už judėjimą, ir filosofai prirašė apie jį daug ir storų tomų. Tačiau aš dėstau daugelį jam būdingų ir vertų tyrimo savybių, kurios ligi šiol nebuvo pastebėtos arba nebuvo įrodytos.“ Tai esminis Galilei metodo bruožas – jo išvados rėmėsi, visų pirma, bandymais bei matematiniu jų apibendrinimu. Antai Galilei atrado būdą, kaip nustatyti krintančio kūno padėtis trumpais laiko tarpais. Galilei pasinaudojo nuožulniaja plokštuma: ja žemyn besileidžiančio kūno kritimas sulėtėja, nes vyksta veikiamas ne visos sunkio jėgos, o tik jos dedamosios. Tai leido jam atrasti laisvojo kritimo dėsnį.

Įvairiais pavyzdžiais G. Galilei įrodė, kad Aristoteles'o pasiūlytas judėjimo skirstymas į natūralų ir priverstinį yra nepagrįstas. Pavyzdžiui, švytuoklė turėtų pusę kelio kristi žemyn natūraliu būdu, o po to kilti aukštyn dirbtiniu būdu (priversdama judėti pati save), nors abi judėjimo dalys visai panašios.

G. Galilei skirstė judėjimą pagal judėjimo greitį ir jo prieaugį – pagreitį. Greitį jis apibrėžė nebe per dviejų tokių pačių dydžių santykį, lygų nueitųjų nuotolių ar laiko tarpų santykiui, bet kaip nueitojo kelio santykį su judėjimo trukme. Galilei pateikė kaip naują ir svarbią išvadą, kad laisvai krintantis kūnas, prieš įgydamas greitį v , įgyja visas greičio vertes nuo 0 iki v . Taigi Galilei greitį suprato kaip tolydžiąją laiko funkciją.

G. Galilei momentinį greitį apibrėžė kaip greitį kūno, tolygiai judančio greičiu, kurį įgijo nagrinėjamu laiko momentu. Jis įvedė ir pagreičio sąvoką, tiesa, jį vadino greičio prieaugiu: „Panašiai kaip judėjimo tolygumas buvo mūsų suvokiamas ir apibrėžiamas naudojantis laiko tarpų ir atstumų lygybe $\langle \dots \rangle$, ir greičio prieaugį mums lengviausia įsivaizduoti, susiejus jį su tokiais pat lygiais laiko tarpais. Mūsų protas pripažįsta tokį judėjimą tolygiai greitėjančiu, nes per bet kuriuos lygius laiko tarpus įvyksta lygūs greičio prieaugiai.“

Taigi G. Galilei skirstė judėjimą į tolygųjį ir tolygiai kintamą, o tai atitinka dabartinę klasifikaciją. Remdamasis mintiniais ir, matyt, realiais bandymais, jis padarė išvadą, kad tolygiajam judėjimui nereikalinga pašalinė jėga – kūnas juda savaime. Tiesa, Galilei nesuformulavo inercijos dėsnio bendra forma, bet jį visada taikė teisingai.

Tolygiai kintamas judėjimas turi turėti greitinančią ar lėtinančią priežastį. Galilei tokiam judėjimui nustatė nueitojo kelio ir greičio priklausomybę nuo laiko.

Taip pat Galilei aprašė kampų ir horizontą mesto kūno judėjimą, įrody-

damas, kad, nesant pasipriešinimo, jis vyksta parabole. Tai jam pavyko padaryti išskaidžius judėjimą į dvi dedamąsias: judėjimą horizontaliai pastoviu greičiu ir tolygiai greitėjantį kritimą žemyn. Anot Galilei, „tokie judėjimai ir greičiai susideda, bet nesimaišo ir netrukdo vienas kitam“.

G. Galilei labai vaizdžiai ir aiškiai suformulavo ir reliatyvumo principą: laivui plaukiant pastoviu greičiu, jokiais bandymais, atliekamais laivo triume, neįmanoma nustatyti, ar laivas juda, ar stovi vietoje. Tuo būdu buvo įrodytas judėjimo pastoviu greičiu reliatyvumas – judėjimo greitis priklauso nuo atskaitos kūno pasirinkimo. Tad greičio transformacija pereinant nuo vienos atskaitos sistemos prie kitos sistemos yra vadinama *Galilei transformacija*.

Tiesa, atskaitos sistema, kaip koordinačių sistema, buvo įvesta R. Descartes'o ir jo sekėjų (dabartinės Descartes'o koordinatės buvo pradėtos naudoti dar anksčiau).

Taigi šiuolaikinė judėjimo samprata daugiausia remiasi Galilei darbais.

Newton'as griežtai suformulavo inercijos dėsnį, kaip pirmąjį pagrindinį mechanikos dėsnį. Jis apibrėžė kūno masę ir padarė išvadą, kad būtent ji, o ne svoris yra kūno inertiškumo matas. Newton'as nustatė griežtą sąryšį tarp kūną veikiančios jėgos ir jo pagreičio. Tas dėsnis tapo pagrindine lygtimi kūno judėjimui aprašyti.

Postulavęs absoliutųjį laiką ir absoliučiąją erdvę, Newton'as įvedė ir absoliučiąją vietą, kurią kūnas užima toje erdvėje, taip pat absoliutųjį judėjimą tos absoliučiosios erdvės atžvilgiu. Absoliučiosios erdvės neįmanoma suvokti mūsų pojūčiais, betgi Newton'as, remdamasis teologiniais argumentais, teigė, kad ta erdvė egzistuoja ir ji yra suvokiama Dievo. Newton'as manė, kad egzistuoja ir fizikiniai būdai kūno judėjimui absoliučiosios erdvės atžvilgiu nustatyti. O judėjimą atžvilgiu konkrečios atskaitos sistemos, susietos su tam tikru kūnu, Newton'as vadino santykiniu judėjimu.

Absoliutusias judėjimas, kaip ir absoliučioji erdvė ar laikas, ilgą laiką buvo fizikų ir filosofų ginčų objektas. XIX a. tų sąvokų kritikai daug dėmesio skyrė E. Mach'as ir H. Poincaré, o galutinai jų atsisakė specialioji reliatyvumo teorija. Ji aprašė kūnų judėjimą greičiais, artimais šviesos greičiui, ir nustatė bendresnes greičių ir koordinačių transformacijos taisykles negu Galilei transformacijos.

Dar XIX a. viduryje, remiantis G. Galilei ir I. Newton'o darbais, buvo suformuluota inercinės atskaitos sistemos (trumpai vadinamos inercine sistema) sąvoka. Inercinės yra visos sistemos, kuriose galioja inercijos dėsnis, jos visos juda pastoviu greičiu viena kitos atžvilgiu. Visi mechaniniai reiškiniai

jose vyksta vienodai.

Bendroji reliatyvumo teorija įrodė, kad erdvėje esantys kūnai keičia erdvės bei laiko savybes. Vis dėlto srityje, kur erdvėlaikio kreivis yra santykinai mažas, inercinės sistemos sąvoka lieka galioti.

Greičiu ir pagreičiu pagrįstą judėjimo sampratą teko keisti kvantinėje mechanikoje, nes, anot neapibrėžtumo principo, vienu metu negalima tiksliai nustatyti mikroobjekto padėties ir jo greičio. Tad mikrodalelės laisvasis judėjimas yra aprašomas tik apytiksliai, o jos būsenos kitimui apibūdinti kvantinėje sistemoje, pavyzdžiui, elektrono atome, visai atsisakoma judėjimo sampratos.

2. Materija, medžiaga, svoris ir masė

Medžiagos pavadinimas buvo paimtas iš kasdienės kalbos, o *materijos* pavadinimas įvestas kaip filosofinis terminas. Jam buvo suteikiama bendresnė prasmė – tai yra viskas, iš ko sudarytas pasaulis, o medžiaga vadinta tai, iš ko sudaryti mus supantys daiktai. Tačiau Renesanso mokslininkams atsisakius Aristoteles'o teiginio, kad dangaus kūnai yra sudaryti iš ypatingos dangiškos medžiagos, tie du terminai vartoti panašia, netgi ta pačia prasme, nes materija buvo žinoma tik vienintele medžiagos forma. Mokslininkai, labiau linkę į apibendrinimus, vartojo materijos terminą, o atliekantys konkrečius tyrinėjimus – medžiagos terminą.

XIX a. atradus fizikinį lauką, o XX a. – vakuumą, kaip materijos formas, medžiagos ir materijos sąvokos išsiskyrė. Tačiau net ir dabar joms neretai teikiama ta pati prasmė. Filosofai iki šiol ir medžiagą linkę vadinti materija, o dauguma fizikų vengia *materijos* kaip filosofinio termino.

Nuo seniausių laikų žmogus susidūrė su poreikiu lyginti įvairius kūnus pagal medžiagos kiekį juose. Svarstyklės, matyt, buvo pirmasis išrastas prietaisas, naudotas jau III tūkstantmetyje pr. m. e. Tačiau pasverti galima tik kūnus, kurie slegia atramą; tai negalioja dūmams ir ugniai, nors jie irgi yra sudaryti iš medžiagos. Tad Aristoteles teigė, kad kūnams yra būdingas ne tik svoriu pasireiškiantis *sunkis*, bet ir kita savybė – *lengvis*. Žemė yra absoliučiai sunki, ugnis – absoliučiai lengva, o ore ir vandenyje sunkio ir lengvio yra nevienodu santykiu. Kūnas, kuriame vyrauja sunkis, krinta Žemės centro link, o lengvi kūnai kyla aukštin link dangaus sferos.

Pasak Aristoteles'o, materija yra tik galimybė, ji virsta realybe – daiktu, kai yra veikiama kito, aktyvaus prado – formos ir trečiojo prado – judėjimo.

Archimedes įvedė santykinio svorio sąvoką. Būtent naudodamasis tuo, kad aukso ir sidabro santykiniai svoriai yra skirtingi, jis išsprendė garsų-

jį uždavinį, ar auksinėje karūnoje yra primaišyta sidabro. Archimedes netgi sukonstravo specialias svarstyklės įvairių kūnų santykiniams svoriams nustatyti; jas arabų mokslininkai vadino išminties svarstyklėmis.

Nagrinėdamas svorto dėsnį ir kūnų pusiausvyros sąlygas, Archimedes suformulavo svorio centro (dabar vadinamas masės centru) sąvoką. Tiesa, išlikusiuose jo veikaluose tos sąvokos apibrėžimas nėra pateiktas. Archimedes geometriniais metodais nustatė įvairių taisyklingos formos kūnų svorio centrus.

Išlikusiame to laikotarpio veikale „Svorių knyga“, kuris buvo priskiriamas Eukleides'ui, nors dabar abejojama jo autoryste, rašoma: „Svoris – tai yra kūno sunkio arba lengvio matas, lyginant kūną su kitu kūnu naudojantis svarstyklėmis.“

Viduramžių scholastai, nagrinėdami kūnų judėjimą ir kitus mechanikos klausimus, vartojo sąvoką kūne *esantis materijos kiekis*, bet aiškaus apibrėžimo nepateikė.

Masės, kaip materijos ar medžiagos kiekio, samprata formavosi dar prieš Newton'o laikus. Kai kurie mokslininkai suvokė, kad, nors svoris yra susijęs su kūne esančiu medžiagos kiekiu, svoriui apibūdinti reikėtų kitos charakteristikos. Antai XVII a. italų fizikas D. Baljani viename savo veikalė rašė: „Svoris pasireiškia kaip aktyvus pradas, o medžiaga kaip pasyvus pradas, todėl sunkių kūnų judėjimą lemia jų svorio ir medžiagos santykis; vadinasi, jeigu jie krinta be kliūčių žemyn, tai turėtų judėti tuo pačiu greičiu, nes tie kūnai, kurie yra sunkesni, turi ir daugiau medžiagos, arba medžiagos kiekio.“ Vis dėlto tai, kad medžiaga yra pasyvi, inertiška, o svoris, to meto supratimu, aktyvi, verčianti kūną judėti jėga, buvo labiau filosofinis negu fizikinis argumentas. Nėra būtinumo skirti du dydžius, jeigu jie yra visada tiesiogiai proporcingi vienas kitam. O tuo metu nebuvo galima nurodyti nė vieno bandymais patikrinamo medžiagos kiekio ir svorio skirtingo pasireiškimo. Tad nenuostabu, kad netgi R. Descartes ir C. Huigens'as neskyrė tų dviejų sąvokų.

Tik I. Newton'ui atradus visuotinės traukos dėsnį, tapo aišku, kad Žemės traukos jėga, kuri veikia kūną, priklauso nuo jo atstumo iki Žemės centro, todėl medžiagos kiekiui apibūdinti reikalingas kitas dydis nei svoris.

„Gamtos filosofijos matematiniuose pagrinduose“ I. Newton'as pateikė tokį materijos kiekio apibrėžimą: „Materijos kiekis yra josios matas, nustatomas proporcingai materijos tankiui ir tūriui.“ Tiksliai šio apibrėžimo paaiškinime minima masė kaip materijos kiekio sinonimas: „Tą patį *kiekį* aš turiu galvoje toliau vartodamas pavadinimus *kūnas* arba *masė*.“

Tas Newton'o apibrėžimas sukėlė daug ginčų. Juk jis masę apibūdina

kūno tankiu, o tankis paprastai apibrėžiamas kaip kūno vieneto masė, taigi susidaro tarsi užburtas ratas. Iš tikrųjų Newton'as tankį laikė pirmine sąvoka, jis manė, kad kūnai yra sudaryti iš nedalomų ir nekintamų atomų (nors to ir neapibrėžė įvesdamas masės sąvoką). Tad kūno tankiu Newton'as (kaip ir kiti mokslininkai, priimančys atomų hipotezę) vadino atomų skaičių tūrio vienetė arba tos vienalytės medžiagos, iš kurios sudaryti atomai, kiekį tūrio vienetė.

Aiškindamas masės sąvoką, Newton'as rašė: „Masė nustatoma pagal kūno svorį, nes ji proporcinga svoriui, kaip liudija mano atlikti tikslūs bandymai su švytuoklėmis.“ Aišku, Newton'as turėjo galvoje svorio matavimus įprastinėmis sąlygomis. Iš tikrųjų svoris priklauso nuo Žemės platumos ir tampa lygus nuliui kūnui laisvai krintant, tad dabar medžiagos kiekis apibūdinamas mase. Tačiau kasdienėje kalboje, nepaisant visų fizikų pastangų, ligi šiol medžiagos kiekis nusakomas ne mase, o svoriu.

Dar būtina skirti svorį ir jėgą, dėl kurios veikimo jis atsiranda. Svoriu vadinama jėga, kuria Žemės veikiamas kūnas sleigia atramą, ant kurios jis padėtas, arba tempia pakabą, ant kurios yra pakabintas. O jėga, kuria kūnas yra traukiamas Žemės, vadinama sunkiu.

Newton'as aiškiai apibrėžė, kad būtent kūno masė nusako kūno inertiškumą – jo savybę išlaikyti rimties arba tolygiojo tiesiaeigio judėjimo būseną. Pagal antrąjį Newton'o dėsnį, kūno masė lemia, kokį pagreitį įgyja jėgos veikiamas kūnas. Antra vertus, kūno masė apibūdina ir jo poveikį kitiems kūnams. Taigi nuo Newton'o laikų masė tapo viena iš pagrindinių mechanikos ir apskritai fizikos sąvokų.

XIX a. buvo daug mėginimų pateikti griežtesnį masės apibrėžimą. A. de Saint-Venan'as siūlė kūno masę nustatyti nagrinėjant jo ir kito kūno tamprųjų smūgį. Pagal judėjimo kiekio tvermės dėsnį, kūnų masių santykis yra atvirkščiai proporcingas jų greičių pokyčių santykiui:

$$m_2 / m_1 = \Delta v_1 / \Delta v_2.$$

Taigi laikant vieno kūno masę vienetine, galima nustatyti bet kurio kito kūno masę.

Filosofas E. Mach'as, griežtai kritikavęs I. Newton'o masės apibrėžimą, siūlė ją nustatyti pagal pagreitį, kurį įgyja kūnas susidūręs su kitu kūnu. Šis apibrėžimas remiasi antruoju Newton'o dėsniu, teigiančiu, kad kūno įgyjamas pagreitis yra atvirkščiai proporcingas jo masei. Taigi Mach'as, kaip ir Saint-Venan'as, siūlė masę apibrėžti naudojantis jos matavimo būdu, o ne nusakant jos prigimtį.

I. Newton'as tapatino kūno masę su materijos kiekiu. XIX a. susiklostė požiūris, kad masė yra materijos savybė, jos inertiškumo matas, o *materijos*

kiekio, kaip filosofinės sąvokos, atitinkančios nematuojamą dydį, reikia apskritai atsisakyti. Vis dėlto nemažai žymių XIX a. mokslininkų (L. Euler'is, J. Maxwell'as ir kt.), remdamiesi tuo, kad masė yra pagrindinė materialiujų kūnų savybė ir kiekvienas kūnas turi apibrėžtą masę, bei sekdami Newton'u, buvo linkę sąvokas *masė* ir *materijos kiekis* laikyti ekvivalentiškomis.

XIX a. antrojoje pusėje buvo plačiai vartojama sąvoka *elektromagnetinė masė*. Ją įvedė J. Thomson'as, remdamasis tokiais samprotavimais: jei nagrinėsime įelektrintojo kūno, pavyzdžiui, rutulio, judėjimą, tai kūno energija bus lygi kinetinės ir magnetinės energijos, kurią kūnas įgijo magnetiniame lauke, sumai. Pastaroji irgi priklauso nuo kūno greičio kvadrato, taigi visą energiją galima laikyti kinetine energija, bet su padidėjusia mase. Ta pridėtinė masė buvo pavadinta elektromagnetine mase. Atradus elektroną, buvo manoma, kad visa jo masė yra elektromagnetinės prigimties.

Dabar *elektromagnetinė masė* nebeminima, nes ji pasirodė esanti tik atskiras masės priklausomybės nuo greičio atvejis. Bendrą sąryšį tarp kūno masės ir energijos nustatė A. Einstein'as, plėtodamas specialiąją reliatyvumo teoriją. Garsioji Einstein'o formulė $E = mc^2$ įrodė, kad tie du dydžiai yra vienareikšmiškai susiję, skiriasi tik konstanta, tiesa, turinčia dimensiją. Kai kuriose srityse, kaip antai elementariųjų dalelių fizikoje, dalelių masės dažnai nurodomos energijos vienetais.

I. Newton'as ir šiuo atveju parodė savo įžvalgumą vartodamas terminą *materijos kiekis*, o ne *medžiagos kiekis*. Medžiagos kiekis kūne (išskyrus radioaktyviąją medžiagą) nekinta, o materijos kiekis, atsižvelgiant ne tik į medžiagą, bet ir į energiją, gali būti kintamas dydis. Tuo remdamiesi, kai kurie mokslininkai ir po specialiosios reliatyvumo teorijos sukūrimo neatsisakė termino *materijos kiekis*.

Gravitacinės masės (dydis, vartojamas visuotinės traukos dėsnio formuluotėje) ir inercinės masės (dydis, vartojamas antrojo Newton'o dėsnio formuluotėje) lygybei I. Newton'as neteikė didelės reikšmės. Iki XX a. pradžios tai buvo laikoma įstabiu sutapimu. A. Einstein'as priėmė jų ekvivalentiškumą kaip pagrindinį gamtos dėsnį – bendrosios reliatyvumo teorijos principą. Ši teorija nustatė erdvėje esančių kūnų ryšį su erdvės ir laiko savybėmis: masyvūs kūnai iškreivina juos supančią erdvę ir savo aplinkoje keičia laiko tėkmę.

Šiuolaikinėje fizikoje vengiama masę apibrėžti per nelabai aiškią materijos ar medžiagos kiekio sąvoką. Tiksliausiu laikomas jos apibrėžimas, kuris remiasi visuotinės traukos ir antruoju Newton'o dėsniais: „Masė – fundamentinis dydis, apibūdinantis gravitacines ir inercines kūnų savybes.“

O XXI a. pradžioje paaiškėjo, koku būdu elementariosios dalelės

įgyja masę. 2012 m. buvo eksperimentiškai atrasta fundamentalioji dalelė, anksčiau numatyta teoriškai, – Higgs'o bozonas. Anot Standartinio modelio, egzistuoja kvantinis Higgs'o laukas. Sąveikaudamos su šiuo lauku, įvairios dalelės ir įgyja vienokio ar kitokio dydžio masę.

3. *Impetus*, impulsas ir judėjimo kiekis¹

Aristoteles, kaip ir kiti senovės Graikijos filosofai, vengė priskirti negyvam objektui gebėjimą judėti pačiam, nes tuo metu vyravo įsitikinimas, kad patys judėti gali tik gyvieji organizmai. Būtent toks buvo, jo nuomone, pagrindinis skirtumas tarp gyvų ir negyvų kūnų: „Negyvus kūnus visada priverčia judėti kas nors išorinis, o gyva būtybė pati save judina.“ Tad norėdamas paaiškinti, kodėl išmestas kūnas nenustoja judėti, kai jo nebeveikia ranka, Aristoteles pasiūlė išmoningą paaiškinimą, kad oras veržiasi į kūno paliekamą vietą, nes gamta bijanti tuštumos, ir stumia kūną kaip vėjas burę.

Pirmasis minėtu Aristoteles'o aiškinimu suabejojo žinomas jo raštų komentatorius Joanes Philopponos, gyvenęs VI a. Aleksandrijoje. Jis kėlė tokius klausimus: Jeigu strėlę stumia iš paskos besiveržiantis oras, tai, nusmailinus jos galą, strėlė turi lėkti lėčiau, bet būna priešingai. Kodėl akmenį galime nusviesti toliau negu plunksną? Kokiu būdu oras gali stumti įsuktą ratą, kuris sukasi ir nustojus jį veikti? Nagrinėdamas panašius pavyzdžius, Philopponos priėjo išvadą, kad veikianti jėga suteikia kūnui „tam tikros nemedžiaginės kinetinės galios“. Judėdamas kūnas ją po truputį išnaudoja ir tuomet sustoja. Philopponos pabrėžė, kad tas suteikiamas dydis iš esmės skiriasi nuo oro, jis nėra kūniškas arba medžiaginis.

Viduramžių scholastai tą Philopponos idėją išplėtojo ir pavadino lotynišku žodžiu *impetus*, kuris reiškia veržimąsi ar spaudimą. Žinomas XIV a. mokslininkas Jean'as Buridan'as rašė: „Judintojas, priversdamas judėti kūną, įterpia į jį tam tikrą *impetus*, arba kažkokią judančiam kūnui būdingą varančiąją jėgą, veikiančią ta pačia kryptimi, kuria judintojas veikė kūną.“ Metikui vienodai išmetus du tokio paties dydžio gabalus iš medžio ir geležies, pastarasis nulėks toliau, vadinasi, daugiau materijos turintis kūnas gauna daugiau *impetus*, daugiau jo įtalpina. Įgavęs didesnę greitį, kūnas nulekia toliau, negu tas pats kūnas jam suteikus mažesnę greitį. Taigi kūno įgyjamas *impetus* didėja jam greitėjant, o paskui mažėja kūnui lėtėjant dėl oro pasipriešinimo. Tokiais samprotavimais, kurie rėmėsi kasdiene patirtimi ir loginiais argumentais, bet ne bandymais, Buridan'as ir kiti scholastai priėjo išvadą, kad *impetus*

¹Fizika nagrinėja kūnų judėjimą, o ne judesį, tad, analogiškai kitiems jį apibūdinantiems terminams – *judėjimo kryptis*, *judėjimo greitis*, – reikėtų vartoti *judėjimo kiekis*, o ne *judesio kiekis*.

priklauso nuo kūno judėjimo greičio ir jame esančio materijos kiekio.

Remdamasis šia sąvoka, Buridan'as paaikškino dangaus sferų sukimąsi: Dievas, sukūręs pasaulį, išjudino dangaus sferas, suteikė joms tam tikrą *impetus* kiekį. Todėl Dievui neberekėjo vėliau jų judinti, jis septintąją dieną galėjo pailsėti po visų darbų. Dangaus kūnai sukasi nelėtėdami, nes jie nepatiria pasipriešinimo, todėl *impetus* kiekis juose nemažėja.

Galilei, kaip eksperimentinės mechanikos pradininkas, palaipsniui išvelgė daugelį pagrindinių judėjimo dėsningumų ir charakteristikų. Nuodugnai analizuodamas konkrečius bandymus ir konkrečius judėjimo atvejus, jis dar tik ieškojo bendrų charakteristikų, dažniausiai nepateikdavo tikslių jų apibrėžimų, bet jų prasmę atskleidavo pavyzdžiais. Neretai ta pati sąvoka buvo vartojama įvairiomis prasmėmis.

Galilei vartojo impulso, arba momento, sąvoką, kuri siejosi su viduramžių *impetus*. Nagrinėdamas kūno judėjimą, Galilei teigė, kad kūno momentą lemia jo greitis ir svoris. Tačiau jis šiai sąvokai teikė ne tik judėjimo kiekio, bet ir jėgos ar net energijos prasmę.

Paprastai laikoma, kad *judėjimo kiekio* sąvoką įvedė Descartes. Jis šį dydį vadino judėjimo jėga ir apibrėžė ją kaip kūno didumo, arba svorio, sandaugą iš jo greičio absoliučiojo didumo. Svorį ar kūno dydį jis vartojo masės prasme, nes šios sąvokos nebuvo įvedęs. Descartes taip pat suprato, kad įgytas judėjimo kiekis yra lygus veikusios jėgos ir poveikio trukmės sandaugai, tą dydį jis vadino jėgos impulsu. Toks pavadinimas vartojamas ir dabar, tiesa, žodis *jėgos* dažniausiai praleidžiamas ir sakoma tiesiog *impulsas*. Tačiau impulsu nereikėtų vadinti masės ir greičio sandaugos, nes tai jau yra judančio kūno, o ne jėgos poveikio charakteristika, nors, pagal antrąjį Newton'o dėsnį, kūno įgytas judėjimo kiekis yra lygus jį veikusios jėgos impulsui.

Descartes nustatė ir judėjimo kiekio tvermės dėsnį. Įdomu, jog jis rėmėsi teologiniais argumentais: „Išnagrinėję judėjimo prigimtį, turime per-eiti prie jo priežasčių. <...> O kalbant apie pirminę priežastį, tai man atrodo akivaizdu, kad ja gali būti tik Dievas, kurio visagalybė sukūrė materiją kartu su judėjimu bei rimtimi ir išlaiko Visatoje tiek judėjimo ir rimties, kiek jo įterpė kūrimo metu. Ir nors tas judėjimas – tik judinamos materijos būseną, vis dėlto joje yra žinomas jo kiekis, niekada nedidėjantis ir nemažėjantis, bet kai kuriose materijos dalyse jo gali būti tai daugiau, tai mažiau.“ Todėl „kiek vienos dalelės judėjimas sulėtėja, tiek kurios nors kitos dalelės išauga. <...> O kadangi Dievas, kurdamas materiją, suteikė atskiroms jos dalims įvairius judėjimus ir juos išsaugo tuo pačiu būdu bei remiantis tais pačiais dėsniais kaip ir kūrimo metu, tai jis ir toliau nuolat išsaugo materijoje pastovų judėji-

mo kiekį.“

Deja, laikant judėjimo kiekį skaliaru, o ne vektoriumi, jo tvermės dėsnis dažnai duodavo neteisingus rezultatus, antai juo naudojantis išvesti kūnų smūgių dėsniai neatitiko tikrovės. Tai Descartes aiškino skirtumu tarp idealiojo ir realiojo judėjimo.

Huygens'ui ir kitiems jo amžininkams nustačius teisingus kūnų smūgio dėsnius, paaiškėjo, kad jie suderinami su judėjimo kiekio tvermės dėsniu, jei pastarąjį dydį laikysime vektoriumi. Tai galutinai paaiškino J. de Mairan'as ir J. d'Alembert. Newton'as pateikė tokį judėjimo kiekio apibrėžimą: „Judėjimo kiekis yra judėjimo matas, nusakomas greičiu ir materijos kiekiu kartu.“ Naudodamasis būtent šiuo dydžiu, o ne mase, Newton'as suformulavo antrąjį pagrindinį mechanikos dėsni: „Judėjimo kiekio pokytis yra proporcingas judėjimą sukeliančiai jėgai ir vyksta kryptimi tiesės, išilgai kurios ta jėga veikia.“ Toliau veikale pateiktas toks paaiškinimas: „Jeigu kokia nors jėga sukuria tam tikrą judėjimo kiekį, tai dviguba jėga sukurs jo dvigubai, triguba – trigubai, neatsižvelgiant į tai, ar jos visos veiks kartu, ar iš eilės ir palaipsniui. Šis judėjimo kiekis, kuris visada yra tos pačios krypties kaip ir jį sukurianti jėga, susideda su kūno anksčiau turėtu judėjimo kiekiu, jei kūnas jau judėjo jėgos veikimo kryptimi, ir atsiima, esant priešingoms kryptims, o veikiant įkypai, susideda su ankstesniuoju, atsižvelgiant į kiekvieno iš jų dydį ir kryptį.“

Formuluojant antrąjį Newton'o dėsni per judėjimo kiekio išvestinę, o ne per pagreitį, kaip tas dėsnis dažniausiai pateikiamas dabartiniuose vadovėliuose, irgi pasireiškė Newton'o intuicija, nes, kaip paaiškėjo iš specialiosios reliatyvumo teorijos, ne visada kūno masę galima laikyti lygia jo rimties masei ir pastoviu dydžiu.

4. Jėga ir sąveika

Pasak Demokritos'o, atomai gali sąveikauti vieni su kitais tiksliai slėgiu ir smūgiu. O sukimba jie, sudarydami didelius kūnus, kabliukais bei ne-lygumais. Apie traukos jėgą tarp atomų tada dar nebuvo nė menkiausios nuojautos.

Aristoteles, aiškindamas kūnų judėjimą, rašė: „Visa, kas juda, būtinai turi būti kieno nors judinama. Jeigu nėra judėjimo prado savyje, tai aišku, kad turi judinti kas nors kitas.“ Aristoteles priverstinio judėjimo priežastį vadino *dinameis*. Tai buvo paplitęs graikų kalbos žodis, turėjęs gana plačią prasmę, kaip antai gyvybinės jėgos, vidinės jėgos arba gebėjimų, gamtos jėgos ir kt. Šią sąvoką Aristoteles vartojo tiesioginiam vieno kūno veikimui į kitą kūną apibūdinti. Antra vertus, jėgomis, arba galiomis, jis taip pat vadino karštį,

šaltį, sausumą ir drėgmę.

Graikų filosofai susidūrė ir su kūnų veikimu per atstumą: jie žinojo, kad magnetas traukia geležį, o patrintas gintaras – lengvus daiktus. Tai irgi buvo mėginama paaiškinti tiesioginiu kūnų veikimu: geležis ir magnetas skleidžia kažkokias nematomas daleles, kurios įsiskverbia į daiktų poras ir savo smūgiais (kažkokiu sudėtingu būdu, dalyvaujant oro dalelėms) stumia geležį prie magneto. O kartais buvo pasitelkiama tuo metu paplitusi nuomonė, kad panašus traukia panašų (vis dėlto išvelgti panašumą tarp gintaro ir popierėlio nėra lengva, nebent spėti esant kažkokio vidinio panašumo). Kaip panašių daiktų traukos pavyzdys buvo nurodomas lengvų ir sunkių grūdų atskyrimas kratant jų mišinį.

Jėga – viena iš ilgiausiai ir sunkiausiai formuluotų fizikos sąvokų. Jos samprata keitėsi priklausomai nuo mokslininko filosofinių pažiūrų, nes ilgą laiką tai buvo tiksliai neapibrėžta filosofinė sąvoka – ja vadino ir vienu kūnų mechaninį poveikį kitiems ir bet kokio pokyčio priežastį, įvairų aktyvų poveikį ar suteiktą energiją. Štai kaip vaizdžiai, bet negriežtai apibūdino jėgą Leonardo da Vinci: „Jėga aš vadinu dvasinį gebėjimą, neregimą potencialą, kuri per atsitiktinę išorinę prievartą yra sukeliama judėjimo, patalpina ir įsilieja į kūnus, kurie yra išstumiami ir iškreipiami iš savo natūralios būties; jėga jiems suteikia nuostabios galios aktyvų gyvenimą, ji priverčia visus sukurtus daiktus keisti formą ir padėti; ji įnirtingai siekia savo norimos žūties ir persiduoda priežasčių grandine. Lėtumas daro ją didelę, o greitis daro ją silpną. Prievarta ją pagimdo, o laisvė pražudo, ir tuo greičiau, kuo ji pati didesnė. Įnirtingai veja ji viską, kas trukdo jos susinaikinimui: ji siekia nugalėti, pašalinti savo priežastį, pasipriešinimą jai ir laimėdama susinaikina pati. Ji tampa stipresnė ten, kur sutinka didesnę pasipriešinimą. Bet koks daiktas noriai pabėga nuo savo žūties. Verčiamas kiekvienas daiktas verčia kitus; nė vienas daiktas nejuda be jos. Kūnas, kuriame ji atsiranda, netampa sunkesnis ir nekeičia formos.“

Galilei tyrė įvairias jėgas, konkrečiais atvejais aprašė jų sukeltą judėjimą, betgi griežto jėgos apibrėžimo neįvedė, tai sąvokai teikė ir kitokią prasmę.

Descartes laikėsi požiūrio, kad kūno būseną gali keisti tik tiesioginis kito kūno poveikis, todėl bet kokią sąveiką jis stengėsi paaiškinti smūgiu ar slėgiu. Netgi optinius ir magnetinius reiškinius jis aiškino eterio dalelių smūgiais. Kūnų sąveikos ypatumų jis nenagrinėjo ir jėgos sąvoką vartojo nepateikdamas jos apibrėžimo.

J. Kepler'is, atradęs jo vardu dabar vadinamus planetų judėjimo dėsnius, ėmė ieškoti atsakymo, kas verčia planetas judėti. Remdamasis tuo,

kad planeta juda tuo lėčiau, kuo toliau yra nuo Saulės, bei Aristoteles'o teiginiu „judėjimo greitis yra proporcingas judinančiai jėgai“, Kepler'is priėjo išvada, kad planetas judina Saulės sukeliama jėga. Jis aiškino: „Panašiai kaip šviesa, apšviečianti daiktus, yra nemateriali atmaina ugnies, esančios Saulės viduje, taip ir jėga, apimanti ir judinanti planetų kūnus, yra nemateriali atmaina judinančios galios, slypinčios Saulės gelmėse, neišmatuojamos galios, kuri yra bet kokio judėjimo pasaulyje pirmasis aktas. Tačiau negalima manyti, kad ta jėgos atmaina (kaip ir šviesos atmaina) yra išsklaidyta erdvėje tarp šaltinio ir jos judinamo daikto; ji turi būti nagrinėjama taip, tarsi ją įgyja judinamas kūnas.“ Toliau nurodoma, kad ta jėga primena magneto sukuriamą jėgą.

Taigi Kepler'is manė, kad jėga gali veikti per atstumą, nesant kažkokio materialaus tarpininko tarp jėgos šaltinio ir veikiamo kūno.

Pirmasis jėgą griežtai apibrėžė Newton'as „Gamtos filosofijos matematiniuose pagrinduose“: „Veikianti jėga yra veikimas į kūną, norint pakeisti jo rimties arba tolygiojo tiesiaieigio judėjimo būseną.“ Toliau ši sąvoka aiškinama taip: „Jėga pasireiškia tik veikimo metu, o jam pasibaigus, kūne neišlieka. Kūnas toliau išlaiko savo būseną vien dėl inercijos. Veikiančios jėgos prigimtis gali būti įvairi – smūgis, slėgimas, įcentrinė jėga.“

Taigi Newton'as apibūdino jėgą kaip priežastį, keičiančią kūno judėjimą, sukeliančią jo pagreitį. Dabar vadovėliuose jėga dažniau apibrėžiama kaip dviejų kūnų sąveikos matas. Newton'o apibrėžimas bendresnis, jis galioja ir tuo atveju, kai kūną veikia laukas. Anot Newton'o, jėga yra bet kokia judėjimo kitimo priežastis. Tos priežasties prigimtis ne visada yra svarbi ar net žinoma, jėga gali būti nusakoma ir abstrakčiai, matematiškai, nurodant jos didumą ar matematinę išraišką. Tokiu būdu – pateikdamas formulę, bet nenagrinėdamas prigimties, – Newton'as apibrėžė visuotinės traukos jėgą. Jis neaiškino, kas ir koku būdu perduoda tą vieno kūno trauką kitam kūnui per atstumą. Tokia jo nuostata buvo visai pagrįsta ir teisinga dabartiniu požiūriu, nes tais laikais nebuvo faktų, leidžiančių atskleisti gravitacijos prigimtį ir jos perdavimo mechanizmą (Newton'as galėjo tik pasiūlyti spekuliatyvią hipotezę, bet susilaukė aštrios kritikos iš amžininkų ir sukėlė ilgas diskusijas).

Descartes'o šalininkai ir kiti fizikai, suprasdami jėgą kaip betarpišką dviejų kūnų sąveiką, siekė paaiškinti visuotinę trauką, taip pat šviesos, elektrinius ir magnetinius reiškinius eterio bei kitų neregimų substancijų tarpininkavimu, tačiau tos atkaklios pastangos nebuvo sėkmingos.

Reikia pasakyti, kad ir po Newton'o veikalo pasirodymo dar ilgą laiką, beveik iki XIX a. vidurio, kol buvo suformuluota energijos sąvoka, ji neretai buvo vadinama jėga (žr. 7 skyrelį).

Ne kartą mėginta patikslinti ar net iš esmės pakeisti Newton'o jėgos sampratą. Kai kurie mokslininkai laikė jėgą pagalbinio dydžiu, netgi mėgino atsisakyti jos, kaip „tamsios metafizinės sąvokos“ (J. d'Alembert). Jie teigė, kad mechanikos tikslas yra griežtai ir paprastai aprašyti judėjimą, o ne ieškoti jo priežasčių, nes mūsų patirtis neduoda išsamaus jėgos apibrėžimo. L. Euler'is manė, kad už jėgos sąvokos slypi paprastesnė sąveikos sąvoka. G. Kirchhoff'as jėga vadino matematinę išraišką, masės ir pagreičio sandaugą, nesidomėdamas jos fizikine prasme. Elektromagnetinių bangų atradėjas H. Hertz'as parašė veikalą „Mechanikos principai, išdėstyti nauju požiūriu“, kuriame visai nevartojo jėgos sąvokos, ją pakeitė kūno ryšiais su kitais kūnais. Pagrindinis jo mechanikos principas skambėjo taip: „Materialusis taškas įgyja pagreitį, jei jį veikia nepriklausantis nuo laiko ryšys be trinties.“

Kai kurie kiti fizikai, priešingai, mėgino absoliutinti jėgos sąvoką, paversti ją pagrindiniu fizikiniu dydžiu.

Kroatų mokslininkas R. Bošković'ius išplėtojo hipotezę apie universaliosios jėgos egzistavimą. Anot jo, atomai neturi matmenų, jie tik taškai, iš kurių sklinda toji universalioji jėga. Labai arti centro tai yra stūmos jėga, o didėjant atstumui ji keletą kartų keičia charakterį – virsta pakaitomis traukos ir stūmos jėga, o dideliais atstumais tampa visuotinės traukos jėga, mažėjančia atvirkščiai proporcingai atstumo kvadratui. Pratešdamas Bošković'iaus idėjas, fizikas ir filosofas J. Priestley teigė, kad būtent materija ir yra jėga, kad be tos pagrindinės savybės materija virsta niekuo.

Vis dėlto išliko Newton'o įvesta jėgos samprata, tiesa, ji buvo papildyta naujais atradimais. Gravitacijos ir elektromagnetinės jėgos buvo išskirtos į fundamentines jėgas, o kitos jėgos pasirodė esančios antrinės jėgos, fundamentinių jėgų reiškimosi išdava. XX a. mikropasaulyje buvo atrastos dar dvi fundamentinės jėgos, veikiančios tarp elementariųjų dalelių – stipriosios ir silpnosios jėgos. Jos dažniau vadinamos sąveikomis. Juk galiojant neapibrėžtumų sąryšiui, koordinatės ir judėjimo kiekio negalima nustatyti kaip norima tiksliai, tad aprašant mikropasaulyje reiškinius vengiama vartoti greičio, pagreičio bei jėgos sąvokų. Tačiau sąveika, apibrėžiama dalelių sąveikos dėsniumi, išlieka. Schrödinger'io lygtyje, kuri kvantinėje mechanikoje pakeičia antrąjį Newton'o dėsnį, vietoj jėgos pasirodo sąveiką aprašantis hamiltonianas – energijos operatorius.

XX a. sukurta lauko teorija parodė, kad sąveiką tarp dalelių perduoda tam tikros elementariosios dalelės bozonai: elektromagnetinę sąveiką – fotonai, gravitacinę – kol kas neatrasti gravitonai, stipriąją sąveiką – gliuonai ir silpnąją – W^- , W^+ ir Z^0 bozonai. Elementariosios dalelės sąveikauja keisdamosi virtualiaisiais bozonais.

XX a. antroje pusėje buvo iškelta hipotezė, kad visos keturios fundamentinės sąveikos yra kilusios iš vienos universalios sąveikos. Ji egzistavo milžiniško tankio ir temperatūros sąlygomis tuoj po Visatos Didžiojo sprogi- mo. O Visatai plečiantis ir mažėjant energijos koncentracijai, ta sąveika ne- trukus išsiskyrė į dabar žinomas fundamentines sąveikas. Jau yra sukurta ben- dra elektromagnetinės ir silpnosios sąveikų, t. y. elektrosilpnosios sąveikos, teorija ir mėginama atlikti Didįjį sąveikų suvienijimą – sukurti bendrą elek- tromagnetinės, silpnosios ir stipriosios sąveikų teoriją, netgi bendriausią Vis- ko teoriją – suvienyti visas keturias fundamentines sąveikas.

5. Atomas ir molekulė

Pagrindinės medžiagos dalelės – atomo – idėja kilo senovės Graiki- joje. Ji nebuvo visai nauja ir netikėta, jai atsirasti padėjo Pythagoras'o mo- kymas apie nedalomą kūną – monadą, kuri atitinka mažiausią skaičių – vienetą; Zenon'o paradoksai, tarsi liudijantys, kad baigtinių dydžių begalinis dalijimas nėra galimas; Anaksagoras'o mokymas apie daiktų sėklas. Vis dėlto atomų idėja buvo esminis žingsnis pereinant prie racionalios, natūraliomis priežastimis paaiškinamos pasaulio sampratos. Iš tikrųjų, atomų ir tuštumos numatymas buvo pirmoji fizikos hipotezė. Panašiu metu ar net anksčiau In- dijoje išminčiaus Kanados sukurtas mokymas apie nedalomas daleles buvo daug mažiau nuoseklus, dar neatsietas nuo filosofinių ir net mistinių vaiz- dinių.

Pasak Leukippos'o ir Demokritos'o, atomai – tai nedalomos pirminės dalelės, skirtingo dydžio ir formos. Jos visą laiką juda begalinėje tuštumoje susidurdamos vienos su kitomis. Būtent tokiu būdu atomai sąveikauja tar- pusavyje. Atomai susikabina kabliukais bei nelygumais, sudarydami įvairius kūnus. Mėginimai paaiškinti stebimų kūnų savybes atomų savybėmis buvo labai naivūs ir dirbtiniai. Taigi Leukippos'o ir Demokritos'o atomai – tai idealusis, grynai mechaninis jų modelis, neparemtas jokiais mokslo faktais, kurių tada ir negalėjo būti gauta. Kiti filosofai aštriai kritikavo šį mokymą, ypač dėl išplaukiančio iš jo griežto determinizmo.

Vienintelis žymus Demokritos'o sekėjas Antikos laikais – Epikuros – įvedė galimybę atomams atsitiktinai nukrypti nuo savo kelio. Tai tuo metu atrodė dirbtinė idėja, suderinanti atomizmą su žmonių ir gyvūnų pasirinkimo galimybe, bet atsisakant paprasto atomų modelio. Dabar ši idėja kartais laiko- ma tikimybinio mikrodalelių elgesio intuیتیviu numatymu.

Viduramžiais atomizmas buvo siejamas su ateizmu ir laikomas iš es- mės klaidingu ar net pavojingu mokymu. Matyt, dėl Antikos filosofų kritiško požiūrio į atomizmą ir dėl viduramžių mokslo neigiamos nuostatos į jį neiš-

liko nė vieno Leukippos'o ir Demokritos'o veikalo ar bent ilgesnio jų fragmento.

XV a. pradžioje viename vienuolyne buvo surastas Lucretius'o Carus'o poemos „Apie daiktų prigimtį“, aprašančios Epikuros'o mokymą, nuorašas. Jis sudomino ne tik mokslininkus, bet – dėstyto vaizdumu bei įtaigumu – ir humanitarus. Būtent ši poema lėmė, kad Renesanso laikotarpiu išplito draudžiamos atomizmo idėjos. XVII a. išleistame Vitenbergo universiteto profesoriaus Johan'o Sperling'o veikale „Fizikos pamokymai“ buvo rašoma: „Mokymas apie atomus nėra toks baisus, kaip tai atrodo daugeliui. Mūsų amžiaus gėdinga piktžaidė yra polinkis išjuokti, nušvilpti, pasmerkti viską, apie ką ne iš karto gali pareikšti savo nuomonę. <...> Lengva pasakyti, kad Epikuros svaičiojo, Demokritos buvo pamišęs, o senovės mąstytojai buvo kvailiai.“

Nenorėdamas erzinti scholastų ir teologų, o antra vertus, stengdamasis nenaudoti nestebimų ir nematuojamų dydžių, G. Galilei labai atsargiai rašė apie atomų egzistavimą „Dialoge apie dvi pasaulio sistemas“. Salviati, išreiškiantis Galilei mintis, sako: „Pasakysiu jums tai, kas man dabar atėjo į galvą, pateiksiu tai ne kaip galutinę tiesą, bet kaip spėjimą, susiduriantį su nemažais sunkumais ir reikalaujantį tyrimo. <...> Daug kartų aš stebėjau, kaip ugnis, įsiskverbdoma tarp vieno ar kito metalo dalelių, stipriai surišų tarpusavyje, galų gale jas išskirdavo ir kaip po to, pašalinus ugnį, dalelės grįždavo į ankstesnę surišą būseną. <...> Mano nuomone, galimas toks paaiškinimas: smulkios ugnies dalelės, įsiskverbdomos į mažiausias metalo poras (dėl mažo pastarųjų dydžio pro jas nepraeina stambesnės oro ir skysčių dalelės), užpildo egzistuojančias mažytes tuštumas ir susilpnina jėgą tarp dalelių, kuri laikė jas surištas, ir tokiu būdu jas išskiria.“ Toliau kitas pašnekovas Sagredo pratęsia tą mintį, sakydamas, kad ir plonus siūlelius, ir kietųjų kūnų paviršius galima nagrinėti kaip susidedančius iš „begalinio skaičiaus atomų, neturinčių didumo“, bei tokios pat begalės tuštumų.

XVII a. atomizmo idėjas propagavo prancūzų enciklopedistai, ypač P. Gassendi, nors jie nepapildė šio mokymo kokiais nors originaliais rezultatais.

Pirmasis atomų hipotezę fizikiniams reiškiniams interpretuoti nuosekliai pritaikė žymus XVII a. antros pusės chemikas ir fizikas R. Boile'is. Jis teigė, kad visą medžiagą sudaro įvairios formos mažos dalelės – korpuskulės, kurios juda pagal mechanikos dėsnius. Remdamasis F. Bacon'o idėja, kad „šiluma yra tik judėjimas ir niekas kitas“, Boile'is išplėtojo kokybinę šilumos kinetinę teoriją, aiškinančią šiluminius reiškinius tų dalelių betvarkiu judėjimu (žr. 8 skyrelį). Jis taip pat mėgino aiškinti dujų, skysčių ir kietųjų kūnų

savybes korpuskulių betvarkio judėjimo ypatumais ir juos sudarančių korpuskulių skirtumais. Antai kaitinant vandenį, jo dalelės ima greičiau judėti ir kai kurios išlekia į orą, tad skystis sparčiau garuoja. Boyle'is manė, kad ir cheminiai reiškiniai yra nulemti korpuskulių jungimosi, bet, dar nevartodamas atominio svorio sąvokos, tos bendros idėjos negalėjo sukonkretinti. Jis tik spėjo, kad tolesni cheminiai tyrimai pateiks argumentų „korpuskulinės filosofijos“, kaip jis vadino savo teoriją, naudai.

I. Newton'as, pasižymėjęs atsargumu, savo samprotavimus apie atomus, kurių dar nebuvo įmanoma tirti bandymais, išdėstė savo veikalo „Optika“ priede, pavadintame „Klausimai“. Čia jis pateikė keletą originalių idėjų.

Anot Newton'o, atomus sukabina ne kabliukai, o traukos jėgos, kuriomis atomai veikia vienas kitą iš tolo. Tai gali būti ne tik gravitacijos, elektrinė ir magnetinė jėgos, bet ir dar nežinomos traukos, veikiančios itin mažais atstumais, kurių ligi šiol nepavyksta stebėti. Taip pat svarbi Newton'o mintis apie hierarchinę medžiagos struktūrą: „Mažiausios materijos dalelės gali susijungti labai stipria trauka ir sudaryti didesnes, bet silpnesnes daleles; daugelis iš jų gali sukibti viena su kita ir sudaryti dar didesnes daleles, susietas dar silpnesne jėga, – ir taip vyksta palaipsniui, kol seka užsibaigia pačiomis didžiausiomis dalelėmis, nuo kurių priklauso cheminis veikimas ir gamtos kūnų spalvos; sukimbant tokioms dalelėms susidaro gana stambūs kūnai.“

Kaip minėta ankstesniame skyrelyje, XVIII a. kroatų mokslininkas R. Bošković'ius įsivaizdavo atomus ne kaip mažas tamprias daleles, kurios veikia viena kitą tik susidurdamos ar liesdamosi, bet kaip materialiuosius taškus, sąveikaujančius per atstumą.

Daugelis fizikų visą XVIII a. nebuvo linkę pripažinti atomų hipotezės ir kinetinės šilumos teorijos. Nesant tiesioginių atomų egzistavimo įrodymų, įtikinamesnė ir paprastesnė atrodė šiluminio skysčio – kaloriko – teorija.

Siekdamas paaiškinti elektrolizės reiškinį Teodoras Grotusas 1805 m. įvedė įelektrintojo atomo (dabartiniu supratimu – jono) sąvoką.

XIX a. pradžioje papildomų atomų egzistavimo argumentų pateikė chemija (kaip ir tikėjosi R. Boyle'is). J. Dalton'as įvedė cheminių elementų simbolius ir ėmė rašyti junginių formules, įvedė atominius svorius ir nustatė juos kai kuriems elementams. Jis manė, kad visi bet kurio elemento atomai yra visiškai vienodi dydžiu, mase ir kitomis savybėmis. Vykstant cheminėms reakcijoms, įvairių elementų atomai susijungia, atsiskiria ar persitvarko paprastų sveikųjų skaičių santykiais ir sudaro elementarias cheminių junginių dalis (molekulės termino Dalton'as dar nevartojo).

J. Berzelius, remdamasis tuo, kad atomų jungimasi į cheminių

medžiagų daleles lemia elektrinės jėgos, paaiškino kai kuriuos cheminius reiškinius. Deja, ta paprasta elektrocheminė teorija ne visada galiojo, jos taisymai klaidų ir bandymų metodu davė prieštarigus rezultatus; tai sukėlė painiavą chemijoje ir net dalies chemikų skeptišką požiūrį į atomus.

Atomo ir molekulės sąvokas aiškiai atskyrė italų fizikas ir chemikas Amadeo Avogadro. Jis teigė, kad molekulės yra sudarytos iš atomų, o reakcijos tarp molekulių vyksta pasikeičiant atomais. Avogadro suformulavo jo vardu vadinamą dėsnį, kad vienoduose įvairių dujų tūriuose, esant tiems pačioms slėgiui ir temperatūrai, yra vienodas molekulių skaičius (prieš tai tą idėją jau buvo kėlęs A. Ampere'as). Vis dėlto dar keletą dešimtmečių molekulės ir atomai dažnai nebuvo skiriami.

XIX a. viduryje po akivaizdžių B. Rumford'o ir kitų mokslininkų bandymų buvo priimta kinetinė šilumos teorija. Pritaikę molekulių (nerečiau vadintų atomais) betvarkiam judėjimui aprašyti tikimybių teoriją, A. Krönig'as, R. Clausius, J. Maxwell'as ir L. Boltzmann'as susiejo mikrodalelių savybes su dujų slėgiu, temperatūra ir kitomis makroskopinėmis savybėmis, buvo nustatyti dujų būsenos dėsniai ir sukurta kinetinė dujų teorija. Ja remiantis, net keliais būdais pavyko įvertinti molekulių dydį. Tai kartu su naujais chemijos pasiekimais, jai įveikus atominio modelio sunkumus, tapo netiesiogiais atomų ir molekulių egzistavimo įrodymais.

XIX a. antroje pusėje paaiškėjo, kad įkaitusios medžiagos (cheminiai elementai) skleidžia tam tikrą, jiems būdingų dažnių šviesą, t. y. jų spektruose stebimos būdingosios linijos. Deja, sukurti mechaninį, elektrinį ar magnetinį modelį, paaiškinantį, kaip atomai gali spinduliuoti tokius spektrus, nepavyko.

1897 m. buvo atrastas elektronas, kurio masė pasirodė esanti apie 2000 kartų mažesnė negu lengviausio atomo – vandenilio masė. Tai kartu su radioaktyvumo reiškinio atradimu liudijo, kad atomai nėra nedalomai, bet turi sudėtingą vidinę struktūrą.

1903 m. elektrono atradėjas J. Thomson'as sukūrė pirmąjį atomo modelį: elektronai išsidėstę tam tikra stabilia konfigūracija teigiamojo krūvio debesėlyje (visas atomas yra elektriškai neutralus).

Dar XIX a. pirmoje pusėje škotų botanikas R. Brown'as buvo pastebėjęs nuolatinį augalų dulkelių netvarkingą judėjimą skystyje. Jis paaiškino tai ypatingų – aktyvių organinių molekulių egzistavimu. 1905–1906 m. A. Einstein'as, naudodamasis tikimybių teorija, nuosekliai paaiškino Brown'o judėjimą kaip skysčio dalelių smūgių į mažas dulkeles išdavą ir susiejo molekulių charakteristikas su dulkelių judėjimo statistinėmis charakteristikomis. Ne-trukus J. Perrin'as atliko detalius Brown'o judėjimo eksperimentinius tyrimus, kurie patvirtino Einstein'o išvadas ir leido nustatyti Avogadro konstantą

– molekulių skaičių viename dujų molyje. Tie eksperimentai galutinai įrodė atomų ir molekulių realumą.

1911 m. E. Rutherford'as, remdamasis žinomu savo bendradarbių eksperimentu (aukso folijos apšaudymas α dalelėmis), pasiūlė planetinį atomo modelį: jį sudaro elektronai, besisukantys aplink mažą, masyvų, teigiamai įelektrintą branduolį. Tiesa, panašų modelį keletu metų anksčiau buvo siūlęs prancūzas J. Peren'as ir japonas H. Nagoaka, betgi tai buvo tik spekuliatyvi idėja, nepagrįsta jokiais eksperimentais, tad fizikai neatkreipė į ją dėmesio.

Remiantis klasikine elektrodinamika, elektronai, besisukantys aplink branduolį, turi nuolat spinduliuoti elektromagnetines bangas. Taigi jie turėtų greitai netekti energijos ir nukristi ant branduolio. 1913 m. jaunas danų teoretikas N. Bohr'as paaiškino atomų stabilumą, remdamasis M. Planck'o 1900 m. įvesta kvanto sąvoka. Būdami stacionariosiose orbitose, elektronai nespinduliuoja ir tik peršokdami ir vienos stacionariosios orbitos į kitą, jie išspinduliuoja šviesos kvantą – fotoną. Dar po dešimtmečio N. Bohr'as, daugiausia remdamasis Röntgeno spektrų dėsningumais, paaiškino periodinę elementų sistemą atomo elektronų sluoksnių sandaros dėsningumais.

1923–1927 m. grupė jaunų fizikų – L. de Broglie, W. Heisenberg'as, E. Schrodinger'is, W. Pauli, M. Born'as ir kiti, idėjiškai vadovaujami N. Bohr'o, sukūrė kvantinę mechaniką, aprašančią mikrodalelių savybes. Ji sudarė atomo teorijos pagrindus. Iš Heisenberg'o nustatyto neapibrėžtumo principo seka, kad atomams, kaip ir kitoms mikrodalelėms, negalioja griežtas determinizmas: turint visą informaciją apie pradinę atomo būseną, negalima tiksliai numatyti jo ateities, o tik įvairių ateities variantų tikimybes. Visą įmanomą informaciją apie atomą suteikia jo banginė funkcija, kurios kvadratas yra tikimybės tankio funkcija. Elektronai atome gali įgyti tik tam tikras energijos bei kitų dydžių vertes. To paties elemento atomai, kaip ir juos sudarančios mikrodalelės, yra tapatingi – jie neturi individualių bruožų.

1919 m. atradus protoną ir 1932 m. – neutroną, paaiškėjo, kad atomo branduolį sudaro šių dviejų rūšių dalelės, veikiamos iki tol nežinotos, labai mažo siekio stipriosios sąveikos. Netrukus teko įvesti ir antrąją atomo branduolyje veikiančią – silpnąją sąveiką (apie tai plačiau rašoma 4 skyrelyje).

Kvantinė mechanika buvo kuriama remiantis atomų tyrimais, tačiau iš karto suprasta, kad jos principai bei dėsniai galioja ne tik atomams, bet ir kitoms mikrodalelėms. Tad paskelbus Schrödinger'io lygtį, jau po metų W. Heitler'is ir F. London'as ją panaudojo paprasčiausiai vandenilio molekulei, susidedančiai iš dviejų vandenilio atomų, aprašyti. Taip prasidėjo kvantinė chemija, kurios sparčią raidą lėmė E. Teller'io, R.S. Mulliken'o, L. Pauling'o, E. Hückel'io ir kitų mokslininkų darbai. Buvo paaiškinti įvairaus tipo

cheminiai ryšiai tarp atomų molekulėje, teoriškai išspręsti kai kurie molekulių stabilumo ir geometrijos klausimai. Vis dėlto, nagrinėjant molekules, ypač sudėtingas, chemijoje ir toliau plačiai taikomi empiriniai metodai.

Taigi kvantinė mechanika suteikė chemijai teorinį pagrindą. Pasak chemijos istoriko M. Giua: „Fizika atnaujino chemiją ir atėmė iš jos atomą.“ Tačiau molekulės išliko chemijos objektu.

6. Tuštuma, eteris ir vakuumas

Tuštumos idėja buvo senovės graikų atomistų atradimas, netgi labiau netikėtas, mažiau jų pirmtakų darbų parengtas negu atomų idėja. Demokritos'o tuštuma – tai arena, kurioje nuolat juda atomai, vieninteliai materialieji kūnai. Tuštuma nėra materialinė, antraip ji turėtų būti kažkuo užpildyta, tad sąvoka iš karto taptų miglota, dingtų jos paprastumas. Kita vertus, visiška tuštuma neegzistuoja kaip objektas, taigi yra niekas, nebūtis. Kaip gali egzistuoti neegzistuojanti tuštuma? (Juk pagrindinis Demokritos'o mokymo teiginys: egzistuoja tik atomai ir tuštuma.) Toks buvo pagrindinis jo kritikų priekaištas.

Aristoteles, polemizuodamas su atomistais, paneigė tuštumos galimumą. Jis pateikė tokius filosofinius argumentus: tuštumos sąvoka yra logiškai prieštaringa, nes tai kūno vieta be paties kūno; tuštuma neturėtų nei viršaus nei apačios, joje nebūtų galima išskirti jokios krypties, vadinasi, joje kūnas neturėtų jokio pagrindo judėti kuria nors kryptimi. Be to, pagal Aristoteles'o nustatytą judėjimo dėsnį, kūno greitis yra proporcingas veikiančiam jėgai ir atvirkščiai proporcingas aplinkos pasipriešinimui. Taigi tuštumoje, kur nėra jokio pasipriešinimo, kūnas turėtų įgyti begalinį greitį.

Aristoteles įvedė gamtai būdingą „tuštumos baimę“, kuria naudodamasis aiškino, pavyzdžiui, kūno judėjimą nustojus jį veikti jėgai. Ši „tuštumos baimė“, viduramžiais vadinta lotynišku terminu *horror vacui*, tapo viena iš pagrindinių scholastinės gamtos filosofijos, kurios pagrindą sudarė Aristoteles'o fizika, sąvokų. Netgi G. Galilei, atmetęs daugelį Aristoteles'o teiginių, dar nediršo atsisakyti „tuštumos baimės“, o mėgino ją išmatuoti eksperimentiškai, tyrinėdamas, iki kokio aukščio vanduo pakyla paskui stūmoklį.

G. Galilei mokinys E. Torricelli atliko panašų bandymą su gyvsidabriu. Apvertus jo pripildytą ploną stiklinį vamzdelį vienu uždaru galu, gyvsidabris nusileido iki tam tikro lygio, ir vamzdelio viršutinėje dalyje susidarė tuščia vieta. Šis bandymas susilaukė daug dėmesio, jį kartojo ne tik fizikai, bet ir filosofai. Kilo didelė diskusija, kas yra vamzdelyje virš gyvsidabrio – tuštuma ar kažkokia substancija? Pagal scholastinio mokslo tradicijas, remtasi Aristoteles'o autoritetu, filosofiniais ir teologiniais argumentais, tad diskusija nebuvo vaisinga. Kaip mes dabar žinome, virš gyvsidabrio yra

šiek tiek gyvsidabrio garų, taip pat iš jo išsiskyrusio oro. Svarbesnė buvo E. Torricelli'o išvada, paremta vėlesnių B. Pascal'io bandymų, kad gyvsidabrio pakilimą vamzdyje, kaip ir kitus panašius reiškinius, lemia atmosferos slėgis, o ne mistinė „tuštumos baimė“. Tą išvadą galutinai įtvirtino efektingi bandymai, kuriuos, naudodamasis savo išrastu oro siurbliu, atliko O. Guericke (indas, sprogstantis iš jo ištraukiant orą, sunkiai atplėšiami Magdeburgo pusrutuliai ir kt.).

R. Descartes, sukūręs paskutinę bendrą gamtos filosofiją, teigė, kad tuštuma gamtoje negalima. Atremdamas pagrindinį tuštumos šalininkų argumentą, kad, nesant tuštumos, negalimas ir judėjimas, nes nėra kame judėti, Descartes teigė, kad gamtoje dažniausiai vyksta judėjimas ratu arba sūkuriais. Pasak jo, visi tarpai tarp kūnų ir net jų viduje yra užpildyti labai lengva, neregima, „subtiliaja“ medžiaga – eteriu. Panašią medžiagą buvo įvedę dar senovės graikų filosofai, tarp jų Aristoteles, kaip labai lengvą dangišką medžiagą, kuri nestabdo dangaus kūnų judėjimo. R. Descartes eterio sūkuriais aiškino dangaus kūnų susidarymą, jų trauką, šviesos, elektrinius ir magnetinius reiškinius. Antai šviečiančio kūno dalelės smogia į eterio daleles, o pastarosios perduoda smūgį akims, ir taip sklinda šviesa.

I. Newton'as dvejojo dėl eterio egzistavimo. Pirmajame „Optikos“ leidime jis visai neminimas, šio veikalo vertime į lotynų kalbą eteris kritikojamas, o antrajame leidime ta kritika buvo papildyta keliomis hipotezėmis, ginančiomis eterį. Newton'as, būdamas faktais paremtu, indukcinio mokslo šalininkas, nebuvo linkęs priimti eterio kaip nestebimos substancijos. Antra vertus, jis nenorėjo absoliutinti veikimo per atstumą, jam, skirtingai nuo jo sekėjų, tai buvo tik išeitis atidėti tuo metu neišsprendžiamą gravitacijos prigimties klausimą. Laiške R. Bentley'ui I. Newton'as rašė: „Sunku įsivaizduoti, kokiū būdu neįdvasinta grubi medžiaga galėtų – be ko nors pašalinio ir nematerialaus – veikti kitą medžiagą kitaip, nei liesdamasi su ja. <...> Priimti prielaidą, kad trauka yra įgimta materijai ir būdinga jai tokia prasme, kad vienas kūnas turi veikti tam tikru atstumu per tuštumą kitą kūną be tarpininkavimo ko nors pašalinio, kuris perduotų veikimą ir jėgą iš vieno kūno kitam, yra, mano nuomone, tokia beprasmybė, kad ja neturėtų patikėti nė vienas žmogus, gebantis mąstyti filosofiškai. Trauką turi sukelti tam tikras veiksnys, veikiantis pagal apibrėžtus dėsnius. Koks tai veiksnys – materialus ar nematerialus – aš palieku apgalvoti skaitytojui.“

Jeigu eteris yra materialus, tai jis turėtų stabdyti dangaus kūnus, jų judėjimas priklausytų ne tik nuo visuotinės traukos, bet ir nuo eterio pasipriešinimo, o tai nebuvo patvirtinta stebėjimais. Kaip teologas, I. Newton'as laikė įmanoma sutapatinti eterį ir net apskritai erdvę su Dievu. Universali

gravitacija išreiškia Dievo esamumą kiekvienoje vietoje, būtent todėl gravitacijos jėga yra tik traukos jėga (esamumas visame kame negali būti dvejetainis) ir nuo jos neįmanoma ekranuotis.

Eterį pripažino ir banginės šviesos teorijos kūrėjai R. Hooke'as bei K. Huygens'as, nes visos žinomos bangos sklido kažkokioje terpėje; buvo sunku įsivaizduoti bangų sklidimą tuštumoje. Tačiau dėl eterio lengvumo ir retumo teko padaryti prielaidą, kad šviesos bangos yra išilginės, nes buvo žinoma, jog skersinės bangos gali skliti tik labai tamprose terpėse.

Ginčą tarp Descartes'o ir Newton'o šalininkų laimėjo pastarieji. Descartes'o gamtos filosofija, besiremianti filosofiniais principais ir aiškinanti įvairius reiškinius nestebimais eterio sukūrimais, atrodė vaizdesnė ir paprastesnė negu Newton'o fizika, paremta faktais ir sudėtingais matematiniais įrodymais, tačiau Newton'o teorija pasirodė esanti daug vaisingesnė, suteikianti tvirtą pagrindą tolesniems tyrimams. Tad XVIII a. fizikoje išgalėjo Newton'o mechanika ir per atstumą veikiančios visuotinės traukos samprata.

XIX a. pradžioje nauji optikos atradimai, T. Young'o ir A. Fresnel'io pateiktas interferencijos ir difrakcijos reiškinių aiškinimas vėl nusvėrė banginės šviesos teorijos naudai. Atradus šviesos poliarizacijos reiškinį, Fresnel'ui teko pripažinti, kad šviesos bangos vis dėlto yra skersinės bangos.

Deja, visi bandymai aptikti eterį ar bent sukurti neprieštarinę jo modelį nebuvo sėkmingi. Eteris turėjo būti kietesnis už plieną, kad jame, kaip tamproje terpėje, galėtų skliti skersinės bangos; antra vertus, jis visai nestabdė dangaus kūnų judėjimo. Šį paradoksą buvo mėginama išspręsti laikant, kad eteris yra panašus į dervą, kuri, kaip ir kietasis kūnas, atspari staigioms deformacijoms, bet joje, kaip skystyje, gali išlėto judėti kūnai. Vis dėlto planetos judėjimas erdvėje kelių dešimčių kilometrų per sekundę greičiu vargu ar galėjo būti laikomas lėtu.

Pradėjus sistemingai tirti elektrinius ir magnetinius reiškinius, vėlgi kilo diskusija, ar įelektrintieji kūnai ir magnetai veikia vienas kitą per atstumą, ar tą veikimą perduoda kažkokia terpė – galbūt tas pats eteris. M. Faradey iškėlė lauko idėją, kurią jis siejo su eterio deformacijomis (apie tai plačiau rašoma 9 skyrelyje). Netgi J. Maxwell'as, pagrįsdamas elektromagnetinių bangų egzistavimą, buvo sukūręs gana painų mechaninį jų sklidimo eteryje modelį.

Eterio samprata galutinai susipainiojo XIX a. pabaigoje pamėginus eksperimentiškai aptikti Žemės judėjimą eterio atžvilgiu. Šviesos greičio matavimai Žemės judėjimo orbita kryptimi ir jai priešinga kryptimi davė vienodą rezultatą, o tai liudijo, kad eteris juda kartu su Žeme; antra vertus, žvaigždžių aberacijos reiškinio tyrimai liudijo priešingai – kad eteris nejuda.

Eterio problemą išsprendė A. Einstein'as tarsi Gordijo mazgo mįslę – jis atmetė eterį kaip nereikalingą sąvoką. Kaip pagrindinį specialiosios reliatyvumo teorijos principą jis priėmė reliatyvumo principą, tad negalėjo būti vienos išskirtinės atskaitos sistemos, o būtent tokia būtų sistema, susieta su pasauliniu eteriu. Šviesai ir kitoms elektromagnetinėms bangoms sklirti eteris taip pat pasirodė esąs nereikalingas: kintamasis elektrinis laukas savo aplinkoje sukuria kintamąjį magnetinį lauką, šis vėl – elektrinį lauką, ir taip jie sklinda erdvėje. Elektromagnetinėje bangoje svyruoja ne terpės dalelės, o elektrinio ir magnetinio lauko stipriai.

Vis dėlto eterio pavadinimas, kalbant apie radijo ryšį, išliko iki dabar. „Tarptautinių žodžių žodyne“ pateikiamas toks keistokas jo aiškinimas: „Eteris – erdvė, kurioje sklinda elektromagnetinės bangos.“

Atsisakę eterio sąvokos, fizikai negrįžo prie visiškai tuščios, begalinės, neveiklios Demokritos'o tuštumos. Viena svarbiausių ir sudėtingiausių šiuolaikinės fizikos sąvokų – vakuumas. Kvantinė lauko teorija teigia, kad vakuumas – tai pagrindinė, žemiausia, minimalios energijos lauko būseną, neturinti savyje realių elementariųjų dalelių. Tačiau vakuume vyksta fliuktuacijos, nuolat atsiranda ir išnyksta virtualiosios dalelės. Jos turi tuos pačius kvantinius skaičius, kaip ir realiosios dalelės, bet joms negalioja įprastinis sąryšys tarp energijos, judėjimo kiekio ir masės. Būtent keisdamosi tarpusavyje virtualiosiomis dalelėmis, sąveikauja realios elementariosios dalelės, ir tokiu būdu yra perduodamos fundamentinės sąveikos. Taigi vakuumas nėra pasyvus, jis sąveikauja su medžiaga, jo energija nelygi nuliui. Ta vakuumo samprata toliau plėtojama šiuolaikinėje fundamentinių sąveikų teorijoje. Teigiama, kad yra galima ne viena vakuumo būseną, o kelios ir netgi be galo daug. Anot vienos iš hipotezių, būtent vakuumo sąveika su medžiaga sukėlė XX a. pabaigoje aptiktą greitėjantį Visatos plėtimąsi ir paaiškina tamsiosios energijos prigimtį. Vakuumo problema yra glaudžiai susijusi su dar neišspręstomis bendriausiomis laiko ir erdvės, taip pat elementariųjų dalelių fizikos problemomis.

Tiesa, vakuumo terminas fizikoje bei technikoje turi ir kitą prasmę: juo vadinama erdvės dalis, kurioje dujų slėgis daug mažesnis už atmosferos slėgį.

7. Energija ir darbas

Energijos sąvoka pradėjo formuotis XVII a., nagrinėjant kūnų smūgius. Tiesa, iš pradžių energija nebuvo skiriama nuo jėgos, tik vėliau ji įgijo atskirą pavadinimą.

Nagrinėdamas krintančio svarsčio („meškos“) poveikį kalamam į žemę poliui, G. Galilei lygino jo jėgą su negyvąja jėga – nejudančio svarsčio

spaudimu – ir padarė išvadą, kad krintančios „meškos“ poveikis yra gerokai didesnis negu nejudančio svarmens svoris.

C. Huygens'as memuare „Apie kūnų judėjimą veikiant smūgiui“ (1669 m.) įvedė dydį, lygų kūno masės ir jo greičio kvadrato sandaugai, ir įrodė, kad šis dydis nesikeičia dviejų tamprių kūnų susidūrimo metu. Vėliau G. Leibniz'as šį dydį pavadino gyvąja jėga, priešpastatydamas jį negyvajai jėgai, kurią apibrėžė taip: tai jėga, kuri ne sukuria judėjimą, o tik stengiasi sukurti jį, pavyzdžiui, svoris, suspausta spyruoklė ir pan.

C. Huygens'as suformulavo gyvosios jėgos tvermės dėsnį. Kaip minėta, Descartes'as anksčiau buvo nustatęs judėjimo kiekio tvermės dėsnį. Tad tarp Descartes'o ir Leibniz'o šalininkų kilo diskusija, kuris dėsnis yra iš tikrųjų teisingas. Į tą „ginčą dėl gyvosios jėgos“ įsitraukė ir kiti fizikai, jis su pertraukomis tęsėsi apie trisdešimt metų. Nustatyti teisybę buvo sunku dėl sąvokų netikslumo bei Descartes'o klaidos apibrėžus judėjimo kiekį kaip skaliarą, pagaliau dėl to, kad kūnų tampriojo smūgio metu galioja ne kuris nors vienas, o abu tvermės dėsniai. Tai galų gale įrodė J. de Mairan'as ir J. d'Alembert. Vėliau G. Coriolis mv^2 padalijo iš 2, o W. Thomson'as gautąjį dydį pavadino kinetine energija.

Darbo sąvoka atėjo į fiziką iš technikos. Pradėjus kurti ir naudoti garo mašinas, šiuo dydžiu apibūdindavo naudingą mašinos veikimą. Kadangi tuo metu mašinos daugiausia buvo naudojamos vandeniui kelti iš kasyklų, tai darbą matuodavo vandens kiekiu, kurį mašina pakelia į tam tikrą aukštį per laiko vieneta.

XVIII a. pabaigoje prancūzų inžinierius Lazare Carnot įvedė *aktyvumo momentą*, kurį jis apibrėžė kaip jėgos, kelio krypties ir kampo tarp jų kosinuso sandaugą. L. Carnot atkleidė šio dydžio sąryšį su gyvąja jėga ir teigė (vartojant dabartinius terminus), kad kinetinės energijos pokytis yra lygus atliktam darbui. Per keletą dešimtmečių ši sąvoka iš technikos perėjo į mechaniką. G. Coriolis įvedė *darbo* pavadinimą, nors kurį laiką dar buvo vartojamas ir kitas terminas – *mechaninis efektas*.

Vis plačiau naudojant šilumines mašinas, reikėjo sukurti tokios mašinos teoriją. Šią problemą ėmėsi spręsti Lazare Carnot sūnus Sadi. Savo vieninteliame spausdintame mokslo darbe „Samprotavimai apie ugnies judinančiąją jėgą ir apie mašinas, galinčias šią jėgą sukurti“ (1824 m.) S. Carnot nagrinėjo idealiąją šiluminę mašiną, veikiančią be energijos nuostolių. Dar naudodamasis kaloriko modeliu, S. Carnot įrodė, kad „šilumos judinančioji jėga“ (t. y. mašinos atliekamas darbas) yra proporcinga kaitintuvo ir aušintuvo temperatūrų skirtumui. O nespausdinti S. Carnot užrašai liudija, kad jis vėliau suprato tikrąją šilumos prigimtį ir suformulavo energijos (vadintos *ju-*

dinančioji jėga) tvermės dėsnį, atsižvelgdamas ir į „šilumos jėgą“, kuri „yra ne kas kita, kaip judinančioji jėga arba, teisingiau, judėjimas, pakeitęs savo pavidalą“. Tuo remdamasis, Carnot padarė bendrą išvadą, kad judinančiosios jėgos kiekis gamtoje nekinta; ji niekada nėra sukuriama ir niekada nėra sunaikinama, tik keičia savo formą. Tuose pačiuose užrašuose Carnot pateikė savo nustatytą mechaninį šilumos ekvivalentą t. y. darbo kiekį, ekvivalentišką vienam šilumos kiekio vienetui, nenurodydamas, koku būdu tas rezultatas buvo gautas.

Dar bendriau energiją ir jos tvermę suprato vokiečių gydytojas J. Mayer'is. Remdamasis labiau filosofiniais argumentais nei fizikiniais pavyzdžiais, jis teigė, kad gamtos jėgos (t. y. energijos rūšys) yra nesunaikinamos, o virsta viena kita. Įvairiais gamtos, arba fizinių, jėgų pasireiškimais Mayer'is laikė gyvąją jėgą (kinetinę energiją), kritimo jėgą (potencinę energiją), šilumą, taip pat elektrinę ir cheminę jėgas. Jis pateikdavo jų tarpusavio virsmų pavyzdžių, kaip mechaninis judėjimas virsta šiluma ir elektra, cheminė jėga – šiluma ir pan. Deja, būdamas medikas, R. Mayer'is apsiribojo kokybiniais samprotavimais, tad ilgą laiką fizikų pripažinimo nesulaukė.

Tas pačias idėjas nepriklausomai iškėlė anglas J. Joule'is. Jis taip pat neturėjo profesionalaus fiziko pasirengimo, bet palapsniui fizikiniai tyrimai iš laisvalaikio užsiėmimo tapo pagrindine jo profesija. Skirtingai nei Mayer'is, Joule'is rėmėsi kruopščiais matavimais. Jis gana tiksliai nustatė mechaninį šilumos ekvivalentą, šilumos išsiskyrimo tekant elektros srovei dėsnį, matavo šilumos kiekį, susidarantį cheminių reakcijų metu. Joule'is irgi priėjo išvadą, kad įvairių virsmų metu „niekas nedingsta“.

Dar bendriau energijos tvermės dėsnį 1847 m. suformulavo vokiečių fiziologas H. Helmholtz'as, vėliau tapęs ir žymiu fiziku. Jis išplėtė energijos tvermės dėsnį biologiniams procesams. Tačiau svarbiausia – Helmholtz'as suvokė būtinumą atskirti jėgos ir energijos sąvokas. Tiesa, dabar vartojamą energijos pavadinimą sugalvojo ne H. Helmholtz'as, o dar anksčiau buvo pasiūlęs T. Young'as, po jo – dar kartą W. Thomson'as. Šį terminą plačiai vartoti pirmasis pradėjo anglų fizikas V. Rankine'as XIX a. viduryje. Jis pateikė šiuolaikinį energijos apibrėžimą kaip galimybę atlikti darbą. Anot jo, „energijos kiekis yra matuojamas darbo kiekiu“.

1850 m. R. Clausius įvedė sąvoką *vidinė energija*, apibrėždamas ją kaip sistemą sudarančių dalelių kinetinės energijos ir jų tarpusavio sąveikos energijos sumą. Vidinės energijos ryšį su sistemos gautu šilumos kiekiu ir jos atliktu darbu jis suformulavo kaip energijos tvermės dėsnį termodinaminei sistemai ir jį pavadino pirmuoju termodinamikos dėsniu.

XIX a. pabaigoje energija tapo viena iš pagrindinių fizikos sąvokų. Gal

dėl jos svarbos, o gal dėl to meto fizikoje gyvavusių ir dažnai pasitelkiamų įvairių hipotetinių substancijų – eterio, elektrinio fluideo, kaloriko, – energiją imta įsivaizduoti kaip kažkokią kūnui suteikiamą substanciją. Energiją, kaip aktyvų pradą, imta priešpastatyti materijai – pasyviam pradui. G. Helm'as, V. Ostvald'as ir kiti energetizmo mokyklos atstovai teigė, kad energija yra vienintelė fizikinė realybė, o fizika – mokslas apie grynąją energiją. Helm'as suformulavo tokį pagrindinį fizikos dėsnį: „Bet kokia energijos forma siekia pereiti iš vietos, kur ji turi didžiausią intensyvumą, į vietą, kur jos intensyvumas yra mažesnis.“ Iš šio dėsnio jis mėgino išvesti visus pagrindinius fizikos dėsnius. Vis dėlto tas susižavėjimas energija praėjo, ir ji užėmė deramą, bet ne išskirtinę vietą fizikoje.

Tiesą sakant, ir dabar, ypač tarp nefizikų, yra išlikęs polinkis mistifikuoti energiją, ją įsivaizduoti kaip ypatingą substanciją. Tai, matyt, lemia tiek šios sąvokos abstraktumas, tiek energijos svarba šiuolaikiniame pasaulyje. Pagaliau, kalbant apie labiausiai paplitusią ir patogiausią energijos rūšį – elektros energiją, dažnai sakoma: energija teka, nors iš tikrųjų teka elektros srovė, t. y. elektronai, kurie perneša energiją.

Lengviausia paneigti energijos, kaip kažkokios substancijos, vaizdinį potencinės energijos pavyzdžiu. Juk akivaizdu, kad, krintant kūnui ar svyruojant švytuoklei, keičiasi tik galimybė atlikti darbą. Be to, iškasus po kabančiu svarsčiu duobę, jo potencinė energija padidėja, nors pats svarstis jokio poveikio nepatiria ir niekas jame nepasikeičia.

Specialioji reliatyvumo teorija atskleidė dar vieną energijos rūšį – medžiagoje slypinčią rimties energiją ir nustatė bendrą sąryšį tarp masės ir energijos. Dalis rimties energijos gali išsilaisvinti branduolinių reakcijų metu (tuo netrukus buvo pasinaudota), o visa ši energija – vykstant dalelių ir antidalelių anihiliacijai (deja, antimedžiagos Žemėje ar Saulės sistemoje nėra). Vienareikšmis sąryšys tarp masės ir energijos $E = mc^2$, galiojantis ir judančiam kūnui, vis dėlto neduoda pagrindo teigti, kad medžiaga yra tik koncentruota energija, nes galimybė atlikti darbą išlaisvinant medžiagoje slypinčią energiją, yra tik viena iš medžiagos savybių.

Kvantinė mechanika įrodė, kad energija nebūtinai yra tolydžiai kintamas dydis. Mikrodalelė, kurios judėjimo laisvė yra apribota, gali įgyti tik tam tikras, kvantuotas energijos vertes.

8. Šiluma, temperatūra ir entropija

Senovės Graikijos filosofai, tarp jų ir Aristoteles, šilumą ir šaltį laikė dviem priešingomis kokybėmis. Manyta, kad kūno įšilimą lemia ne kurios nors kokybės kiekis, o šilumos ir šalčio santykis kūne. Toks požiūris vyravo

ir viduramžiais.

Klasikinės fizikos pradininkas G. Galilei, tirdamas šiluminius reiškinius, padarė išvadą, kad šaltis yra tik šilumos trūkumas. Be to, jis iškėlė originalią šilumos prigimties hipotezę. Savo veikale „Prabuotojas“ Galilei rašė: „Aš esu linkęs manyti, kad medžiaga, kuri mums leidžia pajusti šilumą ir kurią mes vadiname liepsnos vardu, yra sudaryta iš daugybės smulkių įvairios formos dalelių, judančių vienokiu ar kitokiu greičiu. Tos dalelės, susiliedamos su mūsų kūnu, labai mikliai įsiskverbia į jį ir taip veikdamos kūno audinius sukelia pojūtį, kurį mes vadiname šiluma; ši mums atrodo maloni ar nemaloni, priklausomai nuo tų mažų dalelių, kurios bado ir smaigsto mus, dydžio bei vienokio ar kitokio jų greičio.“ Taigi Galilei žengė pirmąjį žingsnį link kinetinės šilumos teorijos, tačiau šilumos prigimtį aiškino ne medžiagą sudarančių, o ugnies dalelių judėjimu. Galilei išrado ir pirmąjį termometrą, dar neturėjusį skalės ir vadintą termoskopu.

Sistemingus šilumos tyrimus pradėjo „Bandymų akademija“, kurią XVII a. antroje pusėje Florencijoje (Italija) įkūrė grupė Galilei mokinių ir bendraminčių. Jos nariai gautus rezultatus skelbė kaip kolektyvinius akademijos darbus. Jų sukurti termometrai jau turėjo skalę. Akademijos nariai tyrė kūnų šiluminį plėtimąsi (įkaitintas cilindras įstringa žiede, pro kurį laisvai pralindo anksčiau), jos nariai jau suvokė, kad įvairiems kūnams įkaitinti iki tokios pat temperatūros reikia skirtingo šilumos kiekio.

XVII a. ir XVIII a. pirmoje pusėje temperatūros ir šilumos sąvokos dar nebuvo skiriamos – manyta, kad termometras matuoja šilumos kiekį kūne.

Galilei amžininkas filosofas Frensis’as Bacon’as spėjo, kad šiluma yra tik medžiagos dalelių judėjimas ir nieko daugiau. Šią hipotezę jis grindė tuo, kad šiluma yra gaunama per judėjimą ir yra susijusi su judėjimu – juda ugnis, verdantys skysčiai ir pan. „Kūju daužomas priekalas įkaista, tad galima manyti, jog priekalą, padarytą iš plonesnės plokštės, stipriais ir nuolatiniais smūgiais būtų galima įkaitinti ligi raudonumo kaip žaizdre geležį. Tačiau tai reikėtų patikrinti bandymu.“

F. Bacon’o idėją išplėtojo R. Boyle’is savo „korpuskulinėje filosofijoje“. Jis pabrėžė šiluminio judėjimo chaotinį pobūdį bei skirtingumą dujose, skysčiuose ir kietuosiuose kūnuose, pateikė pavyzdžių, kaip mechaninis judėjimas virsta šiluma.

Kitokia – šiluminio skysčio – teorija rėmėsi senovės Graikijos filosofų idėja, kad ugnis esanti pirminė, labai judri ir lengva substancija. XVIII a. pradžioje vokiečių fizikas ir filosofas C. Wolff’as išvystė šiluminio skysčio – kaloriko – teoriją. Kaloriko dalelės atsistumia viena nuo kitos, todėl jo gamtoje nebūna gryno, betgi jas traukia įprastinės medžiagos dalelės, tad kalori-

kas pasiskirsto kūnų viduje, sklinda iš vieno kūno į kitus. Kaloriko teorija, pildoma ir taisoma, aiškino daugelį žinomų šiluminių reiškinių, ja buvo naudojama nustatant kai kuriuos šilumos fizikos dėsnius. Ši teorija atrodė netgi paprastesnė ir įtikinamesnė nei kinetinė šilumos teorija, tad kaloriką pripažino daugelis XVIII a. fizikų ir chemikų. Vis dėlto bandymai nustatyti kūno masės padidėjimą jį kaitinant ar kitaip aptikti šios neregimos substancijos pasireiškimą nebuvo sėkmingi.

Šilumos fizika pradėta sparčiai plėtoti tik XVIII a. pradžioje, išradus tikslesnius termometrus, ir ypač to amžiaus antroje pusėje, kai buvo sukonstruota garo mašina.

1761 m. Joseph'as Black'as atrado, kad egzistuoja slaptoji lydymosi šiluma: norint ištirpdyti ledą, reikia jį kaitinti, bet ledo ir vandens mišinio temperatūra nesikeičia, kol visas ledas neištirpsta. Netrukus Black'as įrodė, jog papildoma šiluma reikalinga ir skysčiui išgarinti. Tai liudijo, jog būtina skirti šilumos ir temperatūros sąvokas.

1772 m. Johan'as Wilcke įvedė savitąją šiluminę talpą kaip šilumos kiekį, kuris reikalingas kokios nors medžiagos svorio (dabartiniu supratimu – masės) vieneto temperatūrai pakelti vienu laipsniu. O apie 1820 m. Nicolas Clément'as panaudojo savitąją vandens talpą šilumos kiekio vienetai kalorijai apibrėžti.

1780 m. A. Lavoisier ir P. Laplace'as sukonstravo ledo kalorimetrą savitajai šiluminei talpai matuoti ir nustatė šį dydį daugeliui skysčių ir kietųjų medžiagų.

Vis dėlto beveik visą XVIII a. konkuravo dvi minėtos šilumos prigimties teorijos. A. Lavoisier ir P. Laplace'as jas apibūdino taip: „Fizikų požiūris į šilumos prigimtį įvairuoja. Daugelis nagrinėja šilumą kaip skystį, kuris turi polinkį plėstis ir didesniu ar mažesniu laipsniu įsiskverbti į kūnų poras priklausomai nuo temperatūros ir tų kūnų šiluminių savybių. <...> Kiti fizikai nagrinėja šilumą kaip materijos molekulių nematomo judėjimo rezultatą. <...> Atsižvelgiant į gyvosios jėgos tvermės dėsnį, galima pateikti tokį apibrėžimą: šiluma yra gyvoji jėga, tai yra kiekvienos molekulės masės ir jos greičio kvadrato sandauga, susumuota pagal visas molekules.“

XVIII a. pabaigoje kinetinę šilumos prigimtį patvirtino akivaizdūs B. Rumford'o bandymai paverčiant mechaninį darbą šiluma. O XIX a. kinetinė šilumos teorija buvo išplėtotą naudojant tikimybinis, statistinius metodus daugelio dalelių sistemos betvarkiam judėjimui aprašyti. L. Boltzmann'as gavo griežtą sąryšį tarp vidutinės kinetinės dujų molekulės energijos ir absoliučiosios temperatūros $E_{\text{vid}} = 3/2 kT$; čia k – Boltzmann'o konstanta.

Temperatūrai matuoti buvo įvestos ir įvairiose šalyse naudotos skirtin-

gos temperatūros skalės. W. Thomson'as (Kelvin'as) 1848 m. pasiūlė mokslo srityje naudoti absoliučiąją temperatūrą, kurios nulis prilygintas žemiausiai ribinei temperatūrai ($0 \text{ K} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$).

Kaip buvo minėta aptariant energiją, į jos tvermės dėsnį buvo įtraukta ir šiluminė energija, o sąryšis tarp sistemos gauto šilumos kiekio, atlikto darbo ir dalelių vidinės energijos pavadintas pirmuoju termodinamikos dėsniu. Tik idealiosiose dujose, kur dalelių tarpusavio sąveika yra nereikšminga, ir jei nėra atliekamas darbas, vidinės energijos pokytis yra lygus gautam šilumos kiekiui.

Kadangi ne tik šiluma, bet ir darbas gali keisti vidinę energiją, neįmanoma nurodyti kūno turimo šilumos kiekio. Tad šiluma apibrėžiama kaip sklindanti iš vienu kūnų į kitus vidinė energija. Šilumos kiekis – tai vidinės energijos kiekis, kurį kūnas gauna (arba kurio netenka) iš aplinkinių kūnų, kurių temperatūra skiriasi nuo tiriamo kūno temperatūros.

Šiluma visada pereina iš šiltesnio kūno į šaltesnį – tą bendrą teiginį R. Clausius pavadino antruoju termodinamikos dėsniu.

Vėliau ši dėsnį Clausius perrašė kita forma, įvesdamas naują – *entropijos* sąvoką. Tai viena abstrakčiausių, bet kartu ir vaisingiausių fizikos sąvokų, svarbi ir kitiems mokslams. Fizikos istorijoje dažniausiai teigiama, kad R. Clausius įvedė entropijos sąvoką 1865 m. Tačiau iš tikrųjų jis ėjo link tos sąvokos ilgiau nei dešimtmetį. 1854 m. paskelbtame straipsnyje jis, nagrinėdamas S. Carnot aprašytą šiluminės mašinos veikimą, šilumos sklidimui apibūdinti panaudojo perduodamo šilumos kiekio Q santykį su šilumos netenkančio arba ją gaunančio kūno absoliučiąja temperatūra T . Tą dydį Q/T jis vadino *ekvivalentu*. Clausius pabrėžė, kad ekvivalento verčių skirtumas žemesnės temperatūros kūnui ir aukštesnės temperatūros kūnui yra teigiamas. Iš tikrųjų Clausius'o naudotas dydis jau atitiko entropiją, o jo didėjimas nagrinėjamo proceso metu – entropijos didėjimą vykstant negrįžtamajam procesui.

Tais pačiais metais kitas pagrindinis termodinamikos kūrėjas W. Thomsonas įrodė, kad vykstant grįžtamajam procesui, kai sistema gauna ($Q > 0$) ar atiduoda ($Q < 0$) šilumos kiekius Q_1, Q_2, Q_3, \dots esant temperatūrai T_1, T_2, T_3, \dots , dydžių Q_i/T_i suma visam ciklui turi būti lygi nuliui:

$$\sum_i \frac{Q_i}{T_i} = 0.$$

1862 m. R. Clausius užrašė bendresnę išraišką:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0;$$

čia δQ yra elementarus šilumos kiekis, o integruojama uždaru kontūru; lygy-

bė atitinka grįžtamąjį, o nelygė – negrįžtamąjį procesą.

Paskutinį esminį žingsnį R. Clausius žengė 1865 m. straipsnyje „Apie antrosios pagrindinės teoremos modifikuotą formą mechaninėje šilumos teorijoje“. Naująjį dydį jis pavadino entropija (gr. *entropē* – virsmas) ir pažymėjo raide S (manoma, kad Sadi Carnot garbei). Clausius įrodė, kad grįžtamajam procesui $\delta Q/T$ yra pilnasis dydžio S diferencialas dS . Tai kartu su sąryšiu visam ciklui reiškia, kad dydis S nepriklauso nuo būdo, kaip vyksta grįžtamasis procesas, vadinasi, juo galima apibūdinti sistemos būseną. Remdamasis savo gautąja išraiška, Clausius įrodė, kad uždarosios sistemos entropija, vykstant bet kokiam procesui, negali mažėti, o negrįžtamojo (taigi bet kokio realaus) proceso metu tik didėja. Tad Clausius pirmąjį ir antrąjį termodinamikos dėsnius performulavo taip:

Pasaulio energija yra pastovi (pirmasis termodinamikos dėsnis).

Pasaulio entropija artėja prie maksimumo (antrasis termodinamikos dėsnis).

Amžininkai naujo, gana abstraktaus dydžio įvedimą sutiko įtariai. Tik palaipsniui buvo suvokta entropijos svarba.

Austrų fizikas Ludwig'as Boltzmann'as 1872 m. atskleidė dar vieną entropijos prasmę – susiejo šį dydį su būsenos susidarymo tikimybe ir užrašė garsiąją formulę $S = k \ln W$; čia W – sistemos mikrobūsenų skaičius, o k – Boltzmann'o konstanta. Entropijos augimas reiškia netvarkos didėjimą, taigi šis dydis apibūdina netvarkos laipsnį sistemoje.

Sistemos entropiją R. Clausius apibrėžė tikslumu iki konstantos. 1906 m. W. Nernst'as nustatė, kad absoliučiajai temperatūrai artėjant prie nulio, entropija turi artėti prie ribos, kuri nepriklauso nuo sistemos galinės būsenos. O 1911 m. M. Planck'as patikslino šią išvadą: bet kokio kūno temperatūrai artėjant prie absoliučiojo nulio, jo entropija artėja prie nulio. Tas teiginys vadinamas trečiuoju termodinamikos dėsniu.

9. Laukas

Dar XVI a. W. Gilbert'as, tyrinėdamas, kaip sferinis magnetas – mažytis Žemės modelis – veikia magnetinę rodyklę, braižė rodyklėlių padėtis įvairiose vietose aplink magneto atvaizdą ir rašė, kad magnetą supa „magnetinės galios sfera“.

M. Faraday suformulavo lauko idėją, mėgindamas pateikti vaizdžią kokybinę elektrinių ir magnetinių reiškinių sampratą. Iš pradžių Faraday įvedė magnetines jėgos linijas kaip pagalbinę sąvoką, apibūdinančią jėgas, veikiančias erdvėje aplink magnetą: „Magnetines kreives aš suprantu kaip magnetines jėgos linijas, nors ir iškreiptas polių kaimynystėje: šias linijas

išryškina geležies pjuvenos – statmenai linijoms išsidėsčiusios nedidelės magnetinės strėliukės.“ Linijų kryptis apibūdino rodyklę veikiančios jėgos kryptį, o jų tankis – tos jėgos stiprį. Netrukus Faraday ėmė naudoti ir elektrines jėgos linijas, jas taip pat laikydamas tik įsivaizduojamomis linijomis.

Tačiau tyrinėjant elektros krūvių ir magnetų sąveiką su medžiaga, palaiapsniui stiprėjo M. Faraday įsitikinimas, kad jėgos linijos atvaizduoja egzistuojantį materialų objektą – lauką, jo struktūrą. Apie fizikinę jėgos linijų prigimtį Faraday rašė labai atsargiai: „Tie, kurie laikosi eterio hipotezės, gali nagrinėti šias linijas kaip sroves arba kaip sklindančius svyravimus, arba kaip stacionarius banginius judėjimus, arba kaip įtampos būseną.“ Faraday pabrėžė, kad tas linijas galima susieti ir su tuščios erdvės būseną bei savybėmis. Jėgos linijas Faraday tik braižydavo, nes matematinių formulių nemėgo ir jų nenaudojo.

Lauko idėją M. Faraday apibendrino ir visuotinei traukai: „Toks požiūris į materijos sandarą leidžia padaryti vienareikšmę išvadą, kad materija užpildo visą erdvę arba bent erdvę, kurioje veikia gravitacijos jėga. <...> Kiekvienas materijos atomas nusitęsia, galima sakyti, per visą Saulės sistemą, vis dėlto išsaugodamas savąjį jėgos centrą.“

Įdomu pažymėti, jog Faraday kėlė mintį ir apie jėgos linijų virpėjimus, manydamas, kad būtent tokie virpėjimai sudaro šviesos bangas. Tiesa, tos hipotezės jis nesiryžo paskelbti straipsnyje.

Fizikai, M. Faraday amžininkai, nesuprato lauko sąvokos svarbos, laikė ją miglota ir tik pagalbine priemone. Pirmasis šią M. Faraday idėją įvertino J. Maxwell’as ir pasiryžo suteikti jai matematinę formą.

Pirmajame darbe, skirtame šiai problemai, „Apie Faraday jėgos linijas“ J. Maxwell’as aprašė lauką kaip idealųjį skystį, kuris išteka iš šaltinių ir suteka į nuotakus, t. y. išteka iš teigiamųjų krūvių ar magnetų šiaurės polių ir įteka į neigiamuosius krūvius bei magnetų pietų polių. Slėgį skystyje, srovės greitį ir kitas jos charakteristikas jis susiejo su elektrinio ir magnetinio lauko savybėmis, jo stipriu, potencialu ir pan. Be to, J. Maxwell’as įvedė naują dydį – vektorinį potencialą; tai leido susieti elektrinį ir magnetinį laukus. Apibendrinamas žinomus elektrinius bei magnetinius reiškinius ir naudodamasis skysčio modeliu, J. Maxwell’as užrašė keletą bendrų lygčių. Jas galutinai išvedė antrajame darbe „Apie fizines jėgos linijas“; čia naudojosi jau kitokiu modeliu – eterio sūkuriu, kuriuos skiria mažų dalelių sluoksniai.

Tiesiog stebina geniali J. Maxwell’o intuicija, kaip jis, naudodamasis tokiais dirbtiniais modeliais, nors, aišku, remdamasis žinomais elektromagnetizmo dėsniais, išvedė keturių lygčių sistemą, teisingai aprašančią elektromagnetinį lauką. Remdamasis tomis lygtimis, jis numatė naują fizikinį

reiškinį – erdvėje sklindančias, nebepriskausančias nuo jas sukūrusio šaltinio elektromagnetines bangas. Aišku, amžininkai tuo teoriniu įrodymu nepatikėjo, kol tos bangos nebuvo aptiktos eksperimentiškai. O mechaniniai J. Maxwell'o modeliai atkrito savaime, atsisakius eterio.

Lauką griežtai ir išsamiai aprašo matematinės lygtys, o jo sąvoka žodžiais apibūdinama įvairiai. Antai „Encyclopedia Britannica“ pateikia tokį trumpą fizikinio lauko apibrėžimą: „Laukas (fizikoje) – sritis, kurios kiekviename taške veikia jėga.“ Rusiškas „Fizikos enciklopedinis žodynas“ pabrėžia kitas lauko savybes: „Fizikinis laukas – ypatinga materijos forma, fizikinė sistema, turinti begalinį laisvės laipsnių skaičių.“ „Visuotinėje lietuvių enciklopedijoje“ pateiktas miglotas apibrėžimas: „Laukas – ribotoje erdvės srityje nelokaluota, nuolat atsirandanti ir išnykstanti sistema.“ Lietuviškame vadovėlyje bendrojo lavinimo mokykloms elektrinis laukas apibūdinamas jį tapatinant su erdve (to nereikėtų daryti): „Aplink įelektrintus kūnus esanti erdvė, kurioje veikia elektrinės jėgos, vadinama elektriniu lauku“ (V. Valentinavičius. Fizika, 9 kl., 2007). Anksčiau naudotame fizikos vadovėlyje laukas buvo aprašomas pabrėžiant jo materialumą ir paprastumą: „Niekio paprastesnio, kaip laukas, nežinome. Pirma, laukas yra materialus: jis egzistuoja nepriklausomai nuo mūsų, nuo mūsų žinių apie jį. Antra, jis turi tam tikrų savybių, kurios neleidžia jo supainioti su kuo nors kitu. Šių savybių išvardijimas formuoja mūsų sampratą, kas yra elektrinis laukas“ (B. Buchovcevas ir kt. Fizika, 10 kl., 1982).

XX a. po kvantinės mechanikos sukūrimo buvo išvystyta gana sudėtinga kvantinių laukų teorija. Čia lauko aprašymas tapo dar formalesnis ir abstraktesnis. Kvantinė lauko teorija suartino dvi priešybes – daleles ir laukus. Anot jos, lauką sudaro virtualiosios dalelės – lauko kvantai, kurie nuolat atsiranda ir išnyksta. Keisdamosi tais kvantais, dalelės sąveikauja tarpusavyje.

Lauko lygtys, sąryšiai tarp jo savybių, aišku, nesikeis, nes tai patikrinta daugeliu eksperimentų. Tačiau fizikinė lauko samprata, jo interpretacija dar, matyt, gilės, bus geriau suvokta jo prigimtis.

10. Elektros krūvis, elektrinė talpa ir potencialas

Dviejų rūšių elektros, pavadintos *stikline* ir *dervine*, egzistavimą 1733 m. nustatė prancūzų mokslininkas C. du Fay. Jis rašė: „Jeigu kūnas turi stiklinės elektros, tai jis atstumia kūnus, turinčius tokios pačios elektros ir, priešingai, pritraukia visa tai, kas turi dervinės elektros.“

Elektros kiekio sąvoką XVIII a. viduryje pradėjo vartoti B. Franklin'as. Jis iškėlė hipotezę, kad egzistuoja elektrinė substancija – neregimas, besvoris skystis. Jis esąs sudarytas iš mažyčių dalelių, lengvai įsiskverbiančių

į medžiagą, nes jos dalelės traukia elektrinės substancijos daleles. Kūnas gali įtalpinti tam tikrą jos kiekį ir tada būna neutralus. Jei kūne trūksta elektrinės substancijos, kūnas būna įelektrintas neigiamai. Esant substancijos pertekliui, kūnas būna įelektrintas teigiamai ir aplink jį susidaro elektrinė atmosfera. Anot Franklin'o, elektrinė substancija nesukuriamą ir nesunaikinama, ji tik perteka iš vieno kūno į kitą; taigi buvo iškelta elektros kiekio (krūvio) tvermės idėja. Griežčiau tą dėsni suformulavo F. Aepinus.

Anglas R. Symmer'is spėjo, kad egzistuoja dviejų rūšių elektrinė substancija. Jeigu kūne yra vienodas jų abiejų kiekis, tai kūnas yra elektriškai neutralus, o jei vyrauja viena kuri substancija, tai gaunamas teigiamai ar neigiamai įelektrintas kūnas.

Aptardamas kūno elektrinę talpą, Franklinas dar nesiūlė jos matavimo būdo. Pirmasis šį dydį ėmė matuoti H. Cavendish'as. Jis naudojo sferinius kondensatorius, tad elektrinę talpą matavo „elektriniais coliais“, t. y. skersmeniu kondensatoriaus, kuris turėjo tam tikrą šio dydžio vertę. Pastebėjęs, jog kondensatoriaus talpa priklauso nuo izoliatoriaus medžiagos, Cavendish'as įvedė *dielektrinės skvarbos* sąvoką.

C. Coulomb'as, eksperimentiškai nustatęs dabar jo vardu vadinamą dėsni, jį suformulavo taip: „Dviejų įelektrintųjų rutuliukų, taigi ir dviejų elektros molekulių, stūmos ar traukos veikimas yra tiesiogiai proporcingas elektrinės substancijos tankiui abiejose elektros molekulėse ir atvirkščiai proporcingas atstumo tarp jų kvadratui.“ Taigi Coulomb'as dar nevartojo elektros krūvio termino.

XIX a. pradžioje elektros srovės šaltinio išradėjas A. Volta aiškiai apibrėžė *elektrinio potencialo* sąvoką, tiesa, ją vadino *elektros įtampa*. „Reikia iš karto pažymėti, kad aš, vartodamas terminą *įtampa* (juo dažnai keičiu *intensyvumą*), taip vadinu pastangą, kuria kiekvienas įelektrintojo kūno taškas stengiasi atsikratyti jame esančio elektros krūvio ir atiduoti jį kitiems kūnams; tokią pastangą apskritai atitinka traukos, stūmos ir kiti reiškiniai, atskiru atveju – elektrometro atsilenkimo laipsnis.“ Volta įvedė potencialo vieneta, atitinkantį 13,35 V. Jis taip pat nustatė kūno elektrinės talpos priklausomybę nuo potencialo: „Aš noriu pasakyti, jog kai talpa didesnė, tai toks pat elektros kiekis sukelia mažesnę įtampą arba, kitaip sakant, reikia mažesnio elektros kiekio veikimui sustiprinti iki norimo intensyvumo laipsnio. Taigi talpa ir elektros veikimas, arba potencialas, yra atvirkščiai proporcingi.“

Elektrinio lauko potencialą po kelerių metų įvedė S. Poisson'as, naudodamasis analogija su *potencialu*, vartojamu mechanikoje.

XIX a. atradus, kad elektrą galima sukurti ne tik trynimu, bet ir metalo bei varlės raumens ar dviejų skirtingų metalų kontaktu bei kintamu magne-

tinu lauku, kilo diskusija, ar tai nėra skirtingos elektros rūšys. M. Faraday, atidžiai išanalizavęs įvairius elektrinius reiškinius, priėjo išvadą, kad „visos elektros rūšys, nepriklausomai nuo jų gavimo šaltinio, turi tą pačią prigimtį“, jos skiriasi tik kiekybe ir intensyvumu.

XIX a. pabaigoje chemikas J. Berzelius'as ir fizikas M. Faraday, nagrinėdami elektrolizės reiškinius, įrodė, kad kiekviename medžiagos vienetė slypi tam tikras elektros kiekis. Tai akivaizdžiai liudijo Faraday nustatytas dėsningumas, kad per elektrolitą pratekėjusio elektros kiekio ir ant elektrodo išsiskyrusio medžiagos kiekio santykis yra pastovus dydis. Vadinasi, teigiama ir neigiama elektra, kaip ir medžiaga, susideda iš elementarių dalių – tarsi elektros atomų.

A. Volta ir M. Faraday dar vartojo *elektros kiekio* terminą, vėliau buvo įvestas ir plačiau vartojamas *elektros krūvis*.

XIX a. pabaigoje anglas J. Stoney, žinodamas vandenilio kiekį, išskiriantį elektrolizės metu pratekant per elektrolitą krūvio vienetui, vandenilio atominę masę ir jo atomų skaičių tūrio vienetė, apskaičiavo, kad vandenilio atomo krūvis apytiksliai lygus $1,5 \cdot 10^{-19}$ C. Šį elementarųjį elektros krūvį jis pasiūlė vadinti elektronu. Stoney manė, kad tas krūvis yra neatsiejamas nuo atomo.

Po kelerių metų J. Thomson'as, tirdamas katodinius spindulius (sklindančius iš išlydžio vamzdelio su išretintomis dujomis katodo), nustatė, kad juos sudaro dalelės, kurių krūvis yra lygus J. Stoney nustatytam krūviui, o masė maždaug 2000 kartų mažesnė už vandenilio atomo masę. Tokią dalelę Thomson'as pavadino korpuskule, bet jai prigijo elektrono vardas. Taip buvo atrasta elementarioji dalelė, turinti mažiausią neigiamąjį elektros krūvį.

Tiesa, XX a. pabaigoje buvo atrastos fundamentaliosios dalelės kvarkai, turintys elektros krūvį, lygų $1/2$ arba $2/3$ elektrono krūvio, tačiau tos dalelės nebūna laisvos, tik įeina į hadronų sudėtį.

Elektros krūvio prigimtis ir dabar tebėra mįslinga.

11. Elektros srovė, elektrinė varža ir įtampa

XVIII a. pirmoje pusėje anglas S. Gray pastebėjo, kad vienos medžiagos gerai praleidžia elektrą, o kitos – ne, ir suskirstė jas į laidininkus ir nelaidininkus. Po dviejų dešimtmečių italas G. Beccaria įrodė, kad gali būti ir tarpinių medžiagų; pavyzdžiui, vanduo yra mažiau laidus elektrai negu metalai. Jis rašė: „Metalai, nors ir lengviau pasiduoda elektrai negu visi kiti kūnai, vis dėlto parodo tam tikrą pasipriešinimą, proporcingą ilgiui kelio, kurį juose prašoka kibirkštis.“ Tuose žodžiuose galima išžvelgti *varžos* sąvokos idėją. Antra vertus, matome, kad G. Beccaria kalba apie bėgančią kibirkštį,

o ne apie elektros srovę; ši sąvoka dar nebuvo susiformavusi, nes neturėta nei srovės matavimo prietaiso, nei nuolatinės srovės šaltinio. Pirmąją problemą savitu būdu sprendė anglų mokslininkas H. Cavendish'as: jis į elektrinę grandinę kaip prietaisą įjungdavo save ir iš pojūčių įvertindavo elektros iškrovos stiprumą. Tuo metu dar nebuvo ir nuolatinės srovės šaltinio, nes Leideno stiklinės ar jų baterijos greitai išsikraudavo. Vis dėlto Cavendish'as tokiu neparankiu būdu sugebėjo kiekybiškai palyginti įvairių medžiagų laidumą elektrai.

1799 m. A. Volta sukonstravo pirmąjį nuolatinės elektros srovės šaltinį, jo amžininkų pavadintą Volta stulpu (tai buvo pakaitomis sudėti cinko ir sidabro skritulėliai, kuriuos skyrė elektrolitu drėkinamos medžiagos tarpikliai). Tirdamas tą šaltinį, Volta, kaip ir Cavendish'as, leisdavo elektros srovę per savo kūną. Volta pažymėjo, kad toks stulpas, skirtingai nei Leideno stiklinė, „veikia nuolat, t. y. jo krūvis po kiekvieno išlydžio atsistato pats savaime; vienu žodžiu, šis įtaisas sukuria nesunaikinamą krūvį, suteikia elektriniam fluidui nuolatinį impulsą“.

Žymus prancūzų mokslininkas A. Ampère'as pasiūlė elektros fiziką skirstyti į elektrostatiką ir elektrodinamiką, t. y. į nejudančių elektros krūvių ir elektros srovių bei jų sukeltųjų reiškinių tyrimus. Jis pradėjo vartoti *srovės stiprio* ir *įtampos* sąvokas, nors ir nepateikė aiškaus ir tikslaus jų apibrėžimo. Remdamasis savo tyrimais, kaip ritė su srove veikia magnetinę rodyklę, Ampère'as iškėlė prietaiso elektros srovės stipriui matuoti idėją; neatsitiktinai jis dabar vadinamas ampermetru.

Pagrindines elektros srovės sąvokas XIX a. tikslino vokiečių fizikas G. Ohm'as. Tuo metu fizikai labiau domėjosi elektros srovės magnetiniu veikimu, elektrinių ir magnetinių reiškinių tarpusavio ryšiu, o gimnazijos mokytojas G. Ohm'as ėmėsi sistemingai ir kruopščiai tirti elektros srovės tekėjimo ypatybes. Tyrimus trukdė netobuli elektros srovės šaltiniai ir matavimo prietaisai, tuomet naudotos negrynos cheminės medžiagos, tad nustatyti kiekybinius ryšius tarp elektros srovės charakteristikų buvo nelengvas uždavinys.

Ohm'as pradėjo tyrimus matuodamas įvairių metalų laidumą ir nustatė jo vardu dabar vadinamą dėsnį. Vėliau veikale „Galvaninės grandinės matematinis nagrinėjimas“ (1827 m.) Ohm'as perėjo prie teorinio rezultatų apibendrinimo, elektros srovės savybių analizės. Ohm'as rėmėsi elektros srovės ir šilumos srauto panašumu. Šilumos srautą sukelia temperatūrų skirtumas, analogiškai elektros srovę turėtų lemti elektrinės jėgos įvairiuose laidininko taškuose skirtumas. Tą elektrinę jėgą Ohm'as vadino elektroskopine jėga, nes ją matavo elektroskopu, prijungęs prietaisą prie įvairių laidininko taškų. Kadangi vienas grandinės taškas buvo įžemintas, Ohm'as, dabartiniu

supratimu, matavo potencialų skirtumą, arba įtampą. Elektroskopinės jėgos ir potencialo, įvesto elektrostatoje, sąvokų tapatumą nustatė XIX a. viduryje G. Kirchhoff'as.

Vis dėlto elektros srovės prigimtis to meto mokslininkams dar buvo visai neaiški. Antai M. Faraday rašė: „Elektros srove aš vadinu kažką judantį, nesvarbu, kas judėtų – elektrinis skystis ar du skysčiai priešingomis kryptimis, ar vyktų tiesiog svyravimai, ar, kalbant dar bendriau, judančios tam tikra kryptimi jėgos.“ Vėliau J. Maxwell'as irgi pažymėjo žinių apie elektros srovę nepakankamumą: „O apie srovės greitį mes nieko nežinome, jis gali būti ir viena dešimtoji colio per valandą ir šimtas tūkstančių mylių per sekundę. <...> Bet kuriuo atveju mes esame taip toli nuo jos absoliučiojo dydžio žinojimo, kad mums netgi nežinoma, ar tai, ką mes vadiname teigiama kryptimi, yra tikroji judėjimo kryptis, ar priešinga jai.“

Elektros srovės nešėjai ir tikroji jos kryptis metaluose paaiškėjo tik atradus elektroną.

LITERATŪRA

1. A. Einšteinas, L. Infeldas. Fizikos evoliucija. V.: Valst. polit. ir moksl. lit. leidykla, 1959.
2. R. Feinmanas. Apie fizikos dėsnius. V.: Mintis, 1974.
3. S. Hawking. Visata riešuto kevale. K.: Jotema, 2003.
4. M. Kaku. Ateities fizika. V.: Eugrimas, 2013.
5. M. Besarab. Landau. V.: Mokslas, 1983.
6. D. Daninas. Nilsas Boras. V.: Mokslas, 1983.
7. V. Karcevas. Maksvelis. V.: Mokslas, 1986.
8. E. Kiuri. Marija Kiuri. V.: Vyturys, 1989.
9. B. Kuznecovas. Einšteinas. V.: Mokslas, 1984.
10. B. Tarasovas. Paskalis. V.: Vyturys, 1985.
11. B. Voronkovas. Galileo Galilėjus. V.: Valst. polit. ir moksl. lit. leidykla, 1964.
12. J. Golovanovas. Etiudai apie mokslininkus. K.: Šviesa, 1981.
13. R. Karazija. Įžymūs fizikai ir jų atradimai. K.: Šviesa, 2002.
14. R. Karazija. Fizikos mįslės. V.: Alma littera, 1999.
15. L. Kulviecas. Tarp trijų fizikos jubiliejų. V.: Arėjas, 1994.
16. M. Vilsonas. Amerikos mokslininkai ir išradėjai. V.: Mintis, 1968.
17. Fizikos terminų elektroninis žodynas
<http://www.zodynai.ff.vu.lt/rez/>
18. A. Kaulakienė. Kai kurių fizikos terminų raida. Terminologija, 2009, Nr. 16, p. 218.
19. Encyclopedia Britannica <https://www.britannica.com/>
20. Nobel Prizes and Laureates
<http://www.nobelprize.org/prizes/>
21. Famous scientists <https://www.famousScientists.org>
22. Internet Encyclopedia of Philosophy <http://www.iep.utm.edu>
23. Санкт-Петербургская школа. Биографии физиков
<http://www.eduspb.com/bio-full-list>
24. Санкт-Петербургская школа. Литература по истории физики
<http://www.eduspb.com/node/2326>
25. J. Agar. Science in the Twentieth Century and Beyond. Cambridge: Polity Press, 2012.
26. A.S. Crombie. Medieval and Early Modern Science. Vols I–II. Second edi-

- tion. N. Y.: Doubleday Anchor Books, Second edition, 1959.
27. W.H. Cropper. *Great Physicists: The Life and Times of Leading Physicists from Galileo to Hawking*. Oxford: Oxford University Press, 2004.
 28. C. Jungnickel, R. McCormac. *Intellectual Mastery of Nature: Theoretical Physics from Ohm to Einstein*. Chicago: University of Chicago Press, 1986.
 29. F. Hund. *Geschichte der Quantentheorie*. Wien: Bibliographisches Institute Mannheim. 1965.
 30. H. Lipson. *The Great Experiments in Physics*. Edinburg: Oliver and Boyd. 1968.
 31. R.D. Purrington. *Physics in the Nineteenth Century*. N. Y.: New Brunswick, 1997.
 32. W. Schreier. *Geschichte der Physik*. Berlin: VEB Deutschen Verlag der Wissenschaften. 1988.
 33. *The Oxford Handbook of the History of Physics*. Eds. J. Z. Buchwald, F. Robert. Oxford: Oxford University Press, 2014.
 34. *Twentieth Century Physics*. Eds. L.M. Brown, A. Pais and B. Pippard. Vols. I–III. N. Y.: Institute of Physics Publishing and American Institute of Physics Press, 1995.
 35. R.S. Westfall. *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1980.
 36. *Worlds Whos Who in Science from Antiquity to the Present Day*. Vols. 1–3. Chicago: Marquis, 1968.
 37. Я.Г. Дорфман. *Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII века*. М.: Наука, 1974.
 38. Я.Г. Дорфман. *Всемирная история физики с начала XIX до середины XX века*. М.: Наука, 1979.
 39. М. Льюци. *История физики (пер. с итальян.)*. М.: Мир, 1970.
 40. П.С. Кудрявцев. *История физики*. Т. 1–3. М.: Учпедгиз, 1956–1971.
 41. Б.И. Спасский. *История физики*. 2-ое изд. Т 1, 2. М.: Высшая школа, 1977.
 42. А. Розенбергер. *История физики (пер. с нем.)* Т. 1–3. М., Л.: ОНТИ, 1934–1936.
 43. Ю.А. Храмов. *Биография физики. Хронологический справочник*. Киев: Техника, 1987.
 44. Ю.А. Храмов. *Физики. Биографический справочник*. М.: Наука, 1983.
 45. *Очерки развития основных физических идей*. М.: Из-во АН СССР, 1959.
 46. В.П. Гайденоко, Г.А. Смирнов. *Западноевропейская наука в средние*

- века. М.: Наука, 1989.
47. Я.М. Гельфер. История и методология термодинамики и статистической физики. 2-ое изд. М.: Высшая школа, 1981.
 48. История механики с древнейших времен до конца XVIII века. М.: Наука, 1971.
 49. История механики с конца XVIII века до середины XX века. М.: Наука, 1972.
 50. Ю.Х. Копелев. Возникновение научных академий. Л.: Наука, 1974.
 51. Механика и физика XVIII в. Сб. ст. М.: Наука, 1976.
 52. И.Д. Рожанский. Развитие естествознания в эпоху античности. М.: Наука, 1979.
 53. И.Д. Рожанский. Развитие естествознания в эпоху эллинизма в Римской империи. М.: Наука, 1988.
 54. Творцы физической оптики. Сб. ст. М.: Наука, 1973.
 55. У.И. Франкфурт. А М Френк. У истоков квантовой теории. М.: Наука, 1975.
 56. У.И. Франкфурт. Специальная и общая теория относительности. М.: Наука, 1968.

PAVEIKSLĖLIŲ ŠALTINIAI²

- G.O. Abell. *Realm of Universe*. Philadelphia: CBS College Publishing, 1984.
18.5 (p. 457)
- L. Badash. The discovery of radioactivity. *Phys. Today*, 1996, v. 46, No. 2, p. 21.
13.6 (p. 24)
- Die berühmten Erfinder: Physiker und Ingenieure. Berlin: Kunsterlag L. Mazenod, 1951.
8.5 (įkl. po 66 p.), 9.1 (įkl. po 104 p.), 10.1 (įkl. po 120 p.), 18.4 (įkl. po 320 p.)
- N. Bloembergen. Physical Review records: the birth of the laser era. *Phys. Today*, 1993, v. 46, No. 10, p. 28.
17.8a (p. 29)
- R. de Bruyn Ouboter. Heike Kamerlingh Onnes's discovery of superconductivity. *Scient. American*, 1997, v. 276, No. 3, p. 98.
17.4 (p. 92)
- D.C. Cassidy. Heisenberg, uncertainty and the quantum revolution. *Scient. American*, 1992, v. 266, No. 5, p. 106.
15.7 (p. 107); 15.9 (p. 110)
- R. Cumming. *Didieji dailininkai*. V.: Alma littera, 2000.
3.2 (viršelis)
- G.J. Feldman, J. Steinberger. The number of families of matter. *Scient. American.*, 1991, v. 264, No. 2, p. 26.
16.10 (p. 33)
- G. Gamow, J.M. Cleveland. *Physics. Foundations and Frontiers*. Englewood Cliffs – New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 1960.
2.4 (p. 29), 16.4 (p. 462)
- F. Gillet, J. Houck. The decade of infrared astronomy. *Phys. Today*, 1991, v. 44, No. 4, p. 32.
18.11 (p. 35)
- G. Goldstein. Quantum theory without observes, Pt. I. *Phys. Today*, 1988, v. 51, No. 3, p. 42.
15.8 (p. 44)
- I. Goodwin. Engineers proclaim top achievements of 20th century. *Phys. To-*

²Po šaltiniu nurodytas paveikslėlio numeris, o skliaustuose – šaltinio puslapis, kuriame buvo pateiktas tas paveikslėlis.

day, 2000, v. 53, No. 5, p. 48.

17.2 b (p. 49)

M.B. Hall. Robert Boyle on Natural Philosophy. Bloomington: Indiana University Press, 1965.

5.11 (priešl.)

S. Hawking. A Brief History of Time. London: Bantam Press, 1991.

18.10 (viršelis)

B. Hoffmann. Albert Einstein. Creator and Rebel. London: Hart-Davis, Mac Gibbon, 1972.

14.2 (p. 123), 14.4 (p. 65), 14.7

R.G. Keesing. The history of Newton's apple tree. Contemp. Physics, 1998, v. 39, No. 5, p. 377.

6.1 (p. 386)

Lietuviškoji tarybinė enciklopedija. V.: Mokslas, 1976, 1978.

1.1 (t. I, p. 169; t. IV, p. 251)

T.M. Liss, P.L. Tipton. The discovery of the top quark. Scient. Amer., 1997, v. 277, No. 3, p. 41.

16.11 (p. 41)

G. Meyer et al. Nanostructures from molecules. Europhys. News, 1995, v. 26, No. 1, p. 7.

17.3 (p. 7)

D. Osterbrok et al. Edwin Hubble and the expanding universe. Scient. Amer., 1993, v. 269, No. 1, p. 84.

18.2 (p. 85)

A. Pais. Niels Bohr's Times in Physics, Philosophy and Polity. Oxford: Clarendon Press, 1991.

15.3 (įkl. po 300 p.)

P. Radvanyi. The discovery of radioactivity. Europhys. News, 1996, v. 27, No. 2, p. 57.

13.5 (p. 57), 13.7 (p. 57)

U. Rosenberg. Niels Bohr. Leben und Werk eines Atomphysikers. Berlin: Akademie-Verlag, 1985.

15.6 (įkl. po 272 p.)

B. Schwarzschild. Very distant supernovae suggest that the cosmic expansion is speeding up. Phys. Today, 1998, v. 51, No. 6, p. 17.

18.6 (p. 17)

H.H. Seliger. Wilhelm Conrad Röntgen and the glimmer of light. Phys. Today, 1995, v. 48, No. 11, p. 25.

13.3 (p. 27), 13.4 (p. 25)

- G. Squires. J.J. Thomson and the discovery of the electron. *Phys. World*, 1997, v. 10, No. 4, p. 33.
13.9 (p. 36), 13.10 (p. 34), 13.11 (p. 34)
- C. Suplee. *Physics in the 20th Century*. N. Y.: H. Abrams, Inc. Publishers, 1999.
17.2 a (p. 95); 16.9 (p. 25); 18.7 (p. 192)
- The Project Physics Course. Text. Directors of Project F.J. Rutherford, G. Holton, F.G. Watson. N. Y.: Holt, Rinehart and Winston, 1992.
6.4 (p. 2–87), 8.7 (p. 4–54), 10.3 (p. 3–52), 10.6 (p. 3–96), 16.1 (p. 6–83), 16.5a (p. 6–48)
- F.E. Trinklein. *Modern Physics*. Austin: Holt, Rinehart and Winston, 1990.
16.5 (p. 632), 16.6 (p. 585), 16.7 (p. 647)
- Twentieth Century Physics*. Eds. L. Brown, A. Pais, B. Pippard, V. II. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1995.
16.8 a, b (p. 696)
- Twentieth Century Physics*. Eds. L. Brown, A. Pais, B. Pippard, V. III. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1995.
17.1 (p. 1312), 17.9 (p. 1425), 17.11 (p. 1465), 17.12 (p. 1469), 18.9 (p. 1753)
- M. Zeilik. *Conceptual Astronomy*. N. Y.: J. Wiley, 1993.
18.3 (p. 352)
- M. Zeilik, J. Gaustad. *Astronomy. The Cosmic Perspective*. N. Y.: John Wiley, 1990.
18.8 (p. 155)
- R.S. Westfall. *Never at Rest. A Biography of Isaak Newton*. Cambridge University Press, 1993.
6.2 (p. 482), 6.5 (p. 461), 6.8 (p. 165)
- Filosofijos istorijos chrestomatija*. Antika. V.: Mintis, 1977.
1.2 (p. 79)
- В.Ф. Асмус. Декарт. М. Госуд. изд-во полит. литературы, 1956.
5.4 (priešlapis)
- И. Больцман. Статьи и речи. М. Наука, 1970.
10.8 (priešlapis)
- С.И. Вавилов. Исаак Ньютон. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
6.6 (p. 119)
- В. Визгин. Эйнштейн и другие. *Природа*, 1979, № 3, с. 27.
14.6 (p. 36)
- Г. Галлилей. *Избранные труды*. Т. II. М.: Наука, 1964.
4.4 (p. 62)
- Г. Герц. *Принципы механики, изложенные в новой связи*. М.: Из-во АН

СССР, 1959.

12.8 (priešlapis)

В. Гилберт. О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле. М.: Изд-во АН СССР, 1956.

3.6 (p. 81), 3.7 (p. 266)

В. Гинзбург. О теории относительности. Сб. ст. М.: Наука, 1979.

14.1 (priešlapis)

Г.М. Голин, С.Р. Филонович. Классики физический науки. М.: Высшая школа, 1989.

10.4 (p. 387)

В.И. Гольданский и др. Лев Ландау. Наука в СССР, 1998, № 5, с. 52.

17.7 (p. 58)

Г. Горелик. Космология XX века в лицах. Квант, 1996, № 2, 22.

18.1 (p. 23)

Д. Данин. Нильс Бор. М.: Молодая гвардия, 1978.

15.5 (įkl. po 192 p.)

Я.Г. Дорфман. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII века. М.: Наука, 1974.

23 (p. 65), 33 (p. 123), 3.4 (p. 123), 7.6 (p. 331), 8.4 (p. 295)

В.П. Зубов. Аристотель. М.: Из-во АН СССР, 1963.

1.3 (priešl.)

Жизнь науки. Антология вступлений в классике естествознания. Сост. С.П. Капица. М.: Наука, 1973.

5.8 (p. 78), 7.2 (p. 122)

Р.Ф. Иванов. Франклин. М.: Молодая гвардия, 1972.

8.3 (įkl. po 192 p.)

История механики с древнейших времен до конца XVIII века. Ред. сост. Н.М. Меркулова, М.М. Рожанская. М.: Наука, 1971.

2.1 (p. 20), 4.1 (p. 85), 7.1 (p. 173)

П. Капица. Физика и техника низких температур. Научные труды. М.: Наука, 1989.

17.6 (priešl.)

В. Карцев. Максвелл. М.: Молодая гвардия, 1976.

11.3 (įkl. po 96 p.), 12.1 (įkl. po 96 p.), 12.6 (įkl. po 256 p.)

В. Карцев. Ньютон. М.: Молодая гвардия, 1987.

5.1 (įkl. po 256 p.), 6.3 (įkl. po 256 p.), 6.7 (įkl. po 96 p.)

В. Карцев. Трактат о притяжении. М.: Советская Россия, 1968.

3.5 (įkl. po 192 p.)

П.С. Кудрявцев. История физики. Т. 1. М.: Учпедгиз, 1956.

- 2.6 (p. 48), 3.1 (p. 193), 3.8 (p. 101), 4.3 (p. 123), 5.3 (p. 156), 10.7 (p. 494), 11.1 (p. 144), 12.4 (p. 453), 12.9 (p. 215)
- П.С. Кудрявцев. Фарадей. М.: Просвещение, 1969.
12.2 (īkl. ро 168 p.), 12.3 (īkl. ро 168 p.)
- В.Г. Кузнецов. Эйнштейн. Жизнь, смерть, бессмертие. М.: Наука, 1979.
14.3 (īkl. ро 224 p.)
- П. Лакур, Я. Аппель. Историческая физика. Т. I. М.–Л.: Госиздат, 1929.
5.2 (p. 347), 10.5 (p. 371)
- П. Лакур, Я. Аппель. Историческая физика. Т. II. Одесса, 1908.
13.2a (p. 376), 13.2b (p. 377)
- В.С. Летохов. Квантовая элетроника. Физика XX в. Развитие и перспективы. Сб. ст. М.: Наука, 1984.
17.10 (p. 198)
- Г. Липсон. Великие эксперименты в физике (пер. с англ.). М.: Мир, 1972.
15.4 (p. 208)
- М. Льюцци. История физики (пер. с итальян.). М.: Мир, 1970.
2.7 (p. 18), 2.8 (p. 19), 5.5 (p. 85), 5.9 (p. 103), 5.14 (p. 151), 10.2 (p. 232), 11.2 (p. 250), 13.2c (p. 292), 13.12 (p. 334), 15.2 (p. 378)
- М. Планк. Избранные труды. М.: Наука, 1975.
13.13 (priešl.)
- Б. Понтекорво, В. Покровский. Энрико Ферми в воспоминаниях учеников и друзей. М.: Наука, 1972.
16.3 (p. 113)
- Э. Резерфорд. Избранные труды. Радиоактивность. 1971.
13.8 (īkl. ро 328 p.)
- Резерфорд ученый и учитель. Сб. ст. под ред. П.Л. Капицы. М.: Наука, 1973.
15.1 (priešl.)
- Б.И. Спасский. История физики. Т. I. М.: Высшая школа, 1977.
22 (p. 66), 2.5 (p. 69), 5.10 (p. 170), 5.13 (p. 114), 7.3a (p. 149), 7.3b (p. 151), 7.4 (p. 165),), 8.1 (p. 180), 8.2 (p. 172), 8.6 (p. 178), 11.4 (p. 278), 11.5 (p. 280), 11.6 (p. 280), 12.5 (p. 299)
- Б.И. Спасский. История физики. Т. II. М.: Высшая школа, 1977.
9.4 (p. 152), 12.7 (p. 100), 12.9 (p. 112)
- О.А. Старосельская-Никитина. История радиоактивности и возникновения ядерной физики. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
16.2 (p. 403)
- Творцы физической оптики. Сб. ст. М.: Наука, 1973.
5.6 (p. 93)

- Дж. Тригг. Физика XX века: ключевые эксперименты. М.: Мир, 1978.
17.5 (p. 66), 17.8 (p. 266)
- А.А. Тяпкин, А.С. Шибанов. Пуанкаре. М.: Молодая гвардия, 1982.
14.5 (priešl.)
- О.Ж. Френель. Избранные труды по оптике. М.: Гостехиздат, 1955.
9.2 (priešl.)
- Ю.А. Храмов. История физики. Хронологический справочник. Киев: Техника, 1983.
4.2 (p. 62), 5.7 (p. 67), 5.15 (p. 70), 5.16 (p. 70), 7.5 (p. 87), 9.3 (p. 121)

ASMENVARDŽIŲ RODYKLĖ

A

Abelson Philip Hauge (Filipas Hauge Abelsonas)
Abraham Max (Maksas Abrahamas)
Adams Walter Sydney (Valteris Sidnis Adamsas)
Aepinus Franz (Francas Epinusas)
Airy George Bidell (Džordžas Bidelis Eiris)
Al-Khazini (al Chazinis)
Albertus Magnus (Albertas Didysis)
Albertus Saks (Albertas Saksonietis)
Aleksandras Didysis
Alfvén Hannes (Hanesas Alfvenas)
Alhazen (ibn al Haitham) (Alhazenas (ibn Haitamas))
Amontons Guillaume (Gijomas Amontonas)
Ampère André-Marie (Andrè Mari Amperas)
An Kyungwon (Kiungvonas An)
Anaxagoras (Anaksagoras)
Anaximandros (Anaksimandras)
Anaximenes (Anaksimenas)
Anderson Carl David (Karlus Davidas Andersonas)
Anderson Herbert Lourence (Herbertas Laurensas Andersonas)
Arago François (Fransua Arago)
Archimedes (Archimedas)
Aristofanes (Aristofanas)
Aristarchos (Aristarchas)
Aristoteles (Aristotelis)
Aston Francis William (Fransis Viljamas Astonas)
Auger Pierre Victor (Pjeras Viktoras Ožė)
Autolikos (Autolikas)
Avogadro Amadeo (Amadėjus Avogadras)

B

Bacon Francis (Fransis Beikonas)
Bacon Roger (Rodžeris Beikonas)

Balmer Johann Jakob (Johanas Jakobas Balmeris)
Bardeen John (Džonas Bardinąs)
Barkhausen Heinrich Georg (Heinrichas Georgas Barkhauzenas)
Basov Nikolaj (Nikolajus Basovas)
Beccaria Giovanni Battista (Džiovani Batista Bekaria)
Becquerel Antoine Henri (Antuanas Anri Bekerelis)
Bednorz Georg (Georgas Bednorcas)
Bell Joselin (Džoselin Bel)
Bennett William Ralf (Viljamas Ralfas Benetas)
Bentley Richard (Ričardas Bentlis)
Berger Christoph (Kristofas Bergeris)
Bernoulli Daniel (Danielius Bernulis)
Bernoulli Jakob (Jakobas Bernulis)
Berzelius Jacob Jöns (Jakobas Jensas Berselijus)
Bethe Hans (Hansas Betė)
Biot Jean-Baptist (Žanas Batistas Bio)
Bjorken James (Džeimsas Bjorkenas)
Black Joseph (Džozefas Blekas)
Blackett Patrick (Patrikas Bleketas)
Bloch Felix (Feliksas Blochas)
Bloembergen Nicolaas (Nikolas Blumbergenas)
Bohm David (Deividas Bomas)
Bohr Aage (Ogė Boras)
Bohr Niels (Nilsas Boras)
Boltzmann Ludwig (Liudvigas Bolcmanas)
Borelli Giovanni Alfonso (Džiovanis Alfonsas Borelis)
Born Max (Maksas Bornas)
Bose Satyendra Nath (Satjendra Natas Bozė)
Bošković Ruder (Rudžeras Boškovičius)
Bouguer Pierre (Pjeras Bugeras)
Bouwmeester Dik (Dikas Boumisteris)
Boyle Robert (Robertas Boilis)
Bradley James (Džeimsas Bradlis)
Bragg William Henry (Viljamas Henris Bragas)
Bragg William Lawrence (Viljamas Lorensas Bragas)
Brattain Walter Houser (Volteris Hauzeris Bratenas)
Brillouin Léon (Leonas Brijuenas)
de Broglie Louis (Lui de Broilis)
Brown Robert (Robertas Braunąs)

Bruno Giordano (Džordanas Bruno)
Bunsen Robert (Robertas Bunzenas)
Buridan Jean (Žanas Buridas)
Butler Clifford Charles (Klifordas Čarlzas Batleris)

C

Carlisle Anthony (Antonis Karlalis)
Carnot Lazare (Lazaras Karno)
Carnot Sadi (Sadis Karno)
Cavendish Henry (Henris Kavendišas)
Celsius Anders (Andersas Celsijus)
Cesi Federico (Federikas Čezi)
Chadwick James (Džeimsas Čadvikas)
Chamberlain Owen (Ovenas Čemberlenas)
Chandrasekhar Subrahmanyam (Subramanjanas Čandrasekaras)
Charles Jacques (Žakas Šarlis)
Childs James (Džeimsas Čaildsas)
Chladni Ernst (Ernstas Chladnis)
Cicero Marcus (Markas Ciceronas)
Clapeyron Benoît Paul (Benua Polis Klapeironas)
Clausius Rudolf (Rudolfas Klauzijus)
Clément Nicolas (Nikola Klemanas)
Colbert Jean-Baptist (Žanas Batistas Kolberas)
Colladon Daniel (Danielius Koladonas)
Collinghem William (Viljamas Kolingemas)
Collinson Peter (Piteris Kolinsonas)
Columbus Christopher (Kristoforas Kolumbas)
Compton Arthur Holly (Artūras Holis Komptonas)
Cooper Leon (Leonas Kuperis)
Coriolis Gustave-Gaspard (Giustavas Gasparas Koriolisas)
Cornell Eric (Erikas Kornelis)
Coulomb Charles-Augustin (Šarlis Ogiustenas Kulonas)
Cowan Clyde (Klaidas Kouenas)
Critchfield Charles Louis (Čarlzas Luisas Kričfildas)
Crookes William (Viljamas Kruksas)
Curie Irène (Irena Kiuri)
Curie Pierre (Pjeras Kiuri)
Cusanus Nikolaus (Krebs) (Nikola Kuzietis (Krebsas))

D

d'Alembert Le Rond Jean (Žanas Le Ronas Dalamberas)
Dalton John (Džonas Doltonas)
Darriulat Piere (Pjeras Dariula)
Davisson Clinton Joseph (Klintonas Džozefas Deivisonas)
Davy Humphry (Hamfris Deivis)
Demetrios (Demetrijas)
Demokritos (Demokritas)
Desaguliers John Theophilus (Džonas Teofilus Dezaguljė)
Descartes René (Renė Dekartas)
Diesel Rudolf Christian (Rudolfas Kristianas Dyzelis)
Dirac Paul (Polis Dirakas)
Doppler Christian (Kristianas Dopleris)
Draper John William (Džonas Viljamas Dreiperis)
Drude Paul Karl (Paulis Karlas Drudė)
du Fay Charles (Šarlis Diufė)
Dyson Freeman (Frimenas Daisonas)

E

Eddington Arthur (Artūras Edingtonas)
Edison Thomas Alva (Tomas Alva Edisonas)
Einstein Albert (Albertas Einšteinas)
Empedokles (Empedoklis)
Epikuros (Epikūras)
Eratostenes (Eratostenas)
Esaki Leo (Leo Esakis)
Eudoxos (Eudoksas)
Eukleides (Eukleidas)
Euler Leonhard (Leonardas Oileris)

F

Fabry Charles (Šarlis Fabri)
Fahrenheit Daniel Gabriel (Danielis Gabrielis Farenheitas)
Faraday Michael (Maiklas Faradėjus)
Feldman Gary (Garis Feldmenas)
Fermat Pierre (Pjeras Ferma)

Fermi Enrico (Enrikas Fermi)
Feynman Richard (Ričardas Feinmenas)
FitzGerald George Francis (Džordžas Fransis Fildžeraldas)
Fizeau Armand-Hippolyte (Armanas Hipolitas Fizo)
Fok Vladimir (Vladimiras Fokas)
Foucault Léon (Leonas Fuko)
Fourier Joseph (Žozefas Furjė)
Franklin Benjamin (Bendžaminas Franklinas)
Fraunhofer Joseph (Jozefas Fraunhoferis)
Frenkel Jakov (Jakovas Frenkelis)
Fresnel Augustin-Jean (Ogiustenas Žanas Frenelis)
Fridman Aleksandr (Aleksandras Fridmanas)
Friedrich Walter (Valteris Frydrichas)
Frish Otto Robert (Otas Robertas Frišas)
Fritsch Harald (Haraldas Fritčas)
Fulton Robert (Robertas Fultonas)

G

Gabor Dennis (Denisas Gaboras)
Galenos (Galenas)
Galilei Galileo (Galileo Galilėjus)
Galvani Luigi (Luidžis Galvanis)
Gamow George (Džordžas Gamovas)
Gassendi Pierre (Pjeras Gasendi)
Gauss Carl Friedrich (Karlus Frydrichas Gausas)
Gay-Lussac Joseph-Louis (Žozefas Lui Gei-Liusakas)
Geiger Hans (Hansas Geigeris)
Geim Andre (Andrė Geimas)
Gell-Mann Murray (Maris Gelis-Manas)
Gennes Pierre-Gilles (Pjeras Žilis Ženas)
Gerbert (Gerbertas)
Gerlach Walther (Valteris Gerlachas)
Germer Lester Halbert (Lesteris Halbertas Džermeris)
Gibbs Josiah Willard (Džosaja Vilardas Gibsas)
Gilbert William (Viljamas Gilbertas)
Giua Michele (Mikelė Džiua)
Glaser Donald (Donaldas Gleizeris)
Glashow Sheldon Lee (Šeldonas Li Glašou)

Gold Thomas (Tomas Goldas)
Goudsmit Samuel Abraham (Samjuelis Abrahamas Gaudsmitas)
Gramme Zénobe Théophile (Zenobė Teofilis Gramas)
Gray Stephen (Stivenas Grėjus)
Grimaldi Francesco (Frančeskas Grimaldi)
Grossmann Marcel (Marselis Grosmanas)
von Grotthuss Theodor (Teodoras Grotusas)
von Guericke Otto (Otas fon Gėrikė)
Guth Alan (Alanas Gutas)

H

Hahn Otto (Otas Hanas)
Haken Hermann (Hermanas Hakenas)
Hale George (Džordžas Halė)
Hall Edwin Herbert (Edvinas Herbertas Holas)
Halley Edmond (Edmondas Halis)
Hamilton William Rowan (Viljamas Rovanas Hamiltonas)
Hanson Gail (Geilas Hansonas)
Harari Haim (Haimas Hararis)
Hartree Douglas (Duglas Hartris)
Hawking Stephen (Stivenas Hokingas)
Haytesbury William (Viljamas Heitsberis)
Heaviside Oliver (Oliveris Hevisaidas)
Heisenberg Werner (Verneris Heizenbergas)
Heitler Walter Heinrich (Valteris Heinrichas Haitleris)
Helm Georg Ferdinand (Georgas Ferdinandas Helmas)
von Helmholtz Hermann (Hermanas fon Helmholtcas)
Henry Joseph (Džozefas Henris)
Herakleitos (Herakleitas)
Heron (Heronas)
Herriott Donald (Donaldas Herijo)
Herschel John (Džonas Heršelis)
Herschel Frederick William (Frederikas Viljamas Heršelis)
Hertz Heinrich (Heinrichas Hercas)
Hess Victor Francis (Viktoras Fransis Hesas)
Hewish Antony (Antonis Hiuišas)
Higgs Peter (Piteris Higsas)
Hilbert David (Davidas Hilbertas)

Hipparchos (Hiparchas)
 Hittorf Johan Wilhelm (Vilhelmas Johanas Hitorfas)
 Hooke Robert (Robertas Hukas)
 Hubble Edwin (Edvinas Hablas)
 Hückel Erich Armand (Erichas Armandas Hiukelis)
 Hughes Howard Robard (Hovardas Robardas Hjuzas)
 Huygens Christiaan (Kristianas Heigensas)
 Hulse Russell Alan (Raselas Alanas Halsas)
 Humason Milton (Miltonas Humasonas)
 Hund Friedrich Hermann (Frydrichas Hermanas Hundas)
 Hypatia (Hipatija)

J

Jansky Karl Guthe (Karlus Gutė Janskis)
 Javan Ali (Ali Džavanas)
 Jeans James (Džeimsas Džinsas)
 Joliot-Curie Frédéric (Frederikas Žolio-Kiuri)
 Jordan Pascual (Paskualis Jordanas)
 Josephson Brian (Brianas Džozefsonas)
 Joule James Prescott (Džeimsas Preskotas Džaulis)

K

Kajita Takaaki (Takaaki Kadzita)
 Kamerlingh Onnes Heike (Heikė Kamerlingas Onesas)
 Kanada (Kanada)
 Kant Immanuel (Immanuelis Kantas)
 Kapica Piotr (Piotras Kapica)
 Kapteyn Jacobus (Jakobas Kapteinas)
 Kaufmann Walter (Valteris Kaufmanas)
 Kayser Heinrich Gustav (Heinrichas Gustavas Kaizeris)
 Keesom Anna (Ana Kesom)
 Keesom Willem Hendrik (Vilemas Hendrikas Kesomas)
 Kelvin žr. Thomson W.
 Kepler Johannes (Johanesas Kepleris)
 Ketterle Wolfgang (Volfgangas Keterlė)
 Kilby Jack (Džekas Kilbis)
 Kirchhoff Gustav (Gustavas Kirchhofas)

von Kleist Evald (Evaldas fon Kleistas)
von Klitzing Klaus (Klaugas fon Klitcingas)
Knipping Paul (Paulis Knipingas)
Kopernik Mikolaj (Mikalojus Kopernikas)
Kossel Walther (Valteris Koselis)
Kroll Norman Myles (Normanas Mailzas Krolas)
Krönig August Karl (Augustas Karlas Kronigas)
Ktesibius (Ktesibijus)

L

de Lagrange Joseph Louis (Žozefas Lui de Lagranžas)
Lambert Johann Heirich (Johanas Heinrichas Lambertas)
Landau Lev (Levas Landau)
Langevin Paul (Polis Lanževenas)
Langmuir Irwing (Irvingas Langmiuras)
Lankard John (Džonas Lankardas)
de Laplace Pierre Simon (Pjeras Simonas de Laplasas)
Larmor Joseph (Džozefas Larmoras)
von Laue Max (Maksas fon Laujė)
de Lavoisier Antoine Laurent (Antuanas Loranas de Lavuazjė)
Lawrence Ernest Orlando (Ernestas Orlandas Lorensas)
Lebedev Piotr (Piotras Lebedevas)
Lederman Leon (Leonas Ledermenas)
Lee Tsung-Dao (Cung-Dao Li)
Leibniz Gottfried Wilhelm (Gotfrydas Vilhelmas Leibnicas)
Leith Emmett Norman (Emetas Normanas Leitas)
Lemaître Georges (Žoržas Lemetras)
Lenard Philipp (Filipas Lenardas)
Lenc Emil (Emilis Lencas)
Leonardo da Vinci (Leonardas da Vinčis)
Le Sage Georges-Louis (Žoržas Lui Lesažas)
Leukippos (Leukipas)
Lewis Gilbert (Gilbertas Liuisas)
Lifšic Evgenij (Jevgenijus Lifšicas)
Lodge Oliver Joseph (Oliveris Džozefas Lodžas)
Lomonosov Michail (Michailas Lomonosovas)
London Fritz Wolfgang (Fricas Volfgangas Londonas)
Lorentz Hendrik Antoon (Hendrikas Antonas Lorencas)

Lucas Henry (Henris Lukasas)
Lucretius Carus (Lukrecijus Karas)
Lukin Michail (Michailas Lukinas)

M

Mach Ernst (Ernstas Machas)
Madey John (Džonas Meidis)
Magalhaes Fernao (Fernandas Magelanas)
Magalotti Lorenzo (Lorenčas Magalotis)
Maiman Theodore (Teodoras Meimenas)
de Mairan Jean Jacques (Žanas Žakas de Meiranas)
Malus Étienne Louis (Etjenas Lui Maliu)
Marcellus Claudius (Klaudijus Marcelas)
Marconi Guglielmo (Guljelmas Markonis)
Marić Mileva (Mileva Marič)
de Maricourt Pierre Pelerin (Pjeras Pelerinas de Marikūras)
Mariotte Edme (Edmas Mariotas)
Marsden Ernest (Ernestas Marsdenas)
Matthews Denis James (Denisas Džeimsas Matjuzas)
Maurolico Francesco (Frančeskas Maurolikas)
Maxwell James Clerk (Džeimsas Klarkas Maksvelas)
von Mayer Julius Robert (Julius Robertas fon Majeris)
McDonald Arthur (Artūras Makdonaldas)
McMillan Edwin Mattison (Edvinas Matisonas Makmilanas)
de Medici Leopoldo (Leopoldas de Medičis)
Meissner Walter (Valteris Meisneris)
Meitner Lise (Liza Meitner)
Mendelejev Dmitrij (Dmitrijus Mendelejevas)
Mersenne Marin (Marenas Mersenas)
Merz John Theodore (Džonas Teodoras Mercas)
Michelson Albert Abraham (Albertas Abrahamas Maiklsonas)
Mie Gustav (Gustavas Mi)
Mills Robert Laurence (Robertas Lorensas Milsas)
Minkowski Hermann (Hermanas Minkovskis)
Morley Edward Williams (Edvardas Viljamas Morlis)
Morse Samuel Finlis (Samuelis Finlis Morzė)
Moseley Henry (Henris Mozlis)
Mössbauer Rudolf Ludwig (Rudolfas Liudvigas Mesbaueris)

Mottelson Ben (Benas Motelsonas)
Müller Alex (Aleksas Miuleris)
Mulliken Robert Sanderson (Robertas Sandersonas Malikenas)
van Musschenbroek Pieter (Piteris van Mušenbrukas)

N

Nagaoka Hantaro (Hantaro Nagaoka)
Nambu Yoichiro (Joičiro Nambu)
Neddermeyer Seth Henry (Setas Henris Nedemejeris)
Negro Salvatore Dal (Salvatore dal Negras)
Nernst Walther Hermann (Valteris Hermanas Nernstas)
Neumann Franz Ernst (Francas Ernstas Noimanas)
Newcomen Thomas (Tomas Niukomenas)
Newton Isaak (Izaokas Niutonas)
Nicholson William (Viljamas Nikolsonas)
Nishijima Kazuhiko (Kacuhiko Nišidžima)
Nobel Alfred (Alfredas Nobelis)
Noether Emmy (Emi Neter)
Nollet Jean-Antoine (Žanas Antuanas Nolè)
Nordström Gunnar (Gunas Nordstromas)
Novosiolov Konstantin (Konstantinas Novosiolovas)

O

Ockham William (Viljamas Okamas)
Oersted Hans Christian (Hansas Kristianas Erstedas)
Ohm Georg (Georgas Omas)
Oldenburg Henry (Henris Oldenburgas)
Onsager Lars (Larsas Onzageris)
Oort Jan Hendrik (Janas Hendrikas Oortas)
Oppenheimer Robert (Robertas Openheimeris)
van Oranje Maurits (Mauricijus Oranietis)
Ostwald Wilhelm (Vilhelmas Ostvaldas)
Otto Nikolaus August (Nikolausas Augustas Otas)

P

Parmenides Eleates (Parmenidas Elėjietis)

Pascal Blaise (Blezas Paskalis)
Pauli Wolfgang (Volfgangas Paulis)
Pauling Linus (Lainas Polingas)
Penzias Arno (Arno Penziasas)
Perl Martin Lewis (Martinus Liuisas Perlas)
Perlmutter Saul (Solas Perlmutteris)
Perot Alfred (Alfredas Pero)
Perrin Jean (Žanas Perenas)
Pershan Peter (Piteris Peršanas)
Petrov Vasilij (Vasilijus Petrovas)
Pheidias (Feidijas)
Philolaos (Filolajas)
Philon (Filonas)
Philopponos Joanes (Joanas Filoponas)
Planck Max (Maksas Plankas)
Platon (Platonas)
Plücker Julius (Julius Pliukeris)
Plutarchus Mestrius (Mestrijus Plutarchas)
Poincaré Henri (Anri Puankarè)
Poisson Siméon-Denis (Simeonas Deni Puasonas)
Poncelet Jean-Victor (Žanas Viktoras Ponselè)
Popov Aleksandr (Aleksandras Popovas)
Porta Giovanni Battista della (Džiovani Batista dela Porta)
Powell Cecil Frank (Seslis Frankas Paelis)
Pristley Joseph (Džozefas Pristlis)
Prochorov Aleksandr (Aleksandras Prochorovas)
Prout William (Viljamas Proutas)
Ptolemaios I (Ptolemajas I)
Ptolemaios Klaudios (Klaudijas Ptolemajas)
Pythagoras (Pitagoras)

R

Racah Giulio (Džulijus Raka)
Rankine William (Viljamas Rankinas)
Rayleigh John William (Džonas Viljamas Reilis)
de Réaumur René Antoine (Renè Antuanas de Reomiūras)
Reber Grote (Groutas Reberis)
Reines Frederic (Frederikas Reinsas)

Ricci Michelangelo (Mikelandželo Ričis)
Richman Georg Wilhelm (Georgas Vilhelmas Richmanas)
Richter Burton (Bertonas Richteris)
Riecke Eduard (Eduardas Rikė)
Riemann Bernhard (Bernhardas Rymanas)
Ritter Johann Wilhelm (Johanas Vilhelmas Riteris)
Rochster George Dixon (Džordžas Diksonas Ročesteris)
Römer Ole (Olė Riomeris)
Röntgen Wilhelm Conrad (Vilhelmas Konradas Rentgenas)
Roosevelt Franklin Delano (Franklinas Delanas Ruzveltas)
Rubbia Carlo (Karlus Rubija)
Rumford Benjamin (Bendžaminas Rumfordas)
Runge Carl David (Karlus Davidas Rungė)
Russell Bertrand (Bertranas Raselas)
Rutherford Ernest (Ernestas Rezerfordas)
Rydberg Johannes Robert (Johanesas Robertas Riudbergas)

S

Sacharov Andrej (Andrejus Sacharovas)
de Saint-Victor Abel Niépce (Njepsas Abelis de Sen Viktoras)
Salam Abdus (Abdusas Salamas)
de Sallo Deni (Deni de Salo)
Savart Felix (Feliksas Savaras)
Savić Pavle (Pavlė Savičius)
Schawlow Arthur Leonard (Artūras Leonardas Šavlovas)
Schelling Friedrich Wilhelm (Frydrichas Vilhelmas Šelingas)
Schmidt Brian (Brajanas Šmidtas)
Schmidt Maarten (Martenas Šmitas)
Schott Caspar (Kasparas Šotas)
Schrieffer John Robert (Džonas Robertas Šryferis)
Schrödinger Erwin (Ervinas Šrėdingeris)
Schuster Arthur Franz (Artūras Francas Šusteris)
Schwarzschild Karl (Karlus Švarcšildas)
Schweitzer Albert (Albertas Šveiceris)
Schwinger Julian Seymour (Džulianas Seimuras Švingeris)
Seebeck Thomas Johann (Tomas Johanas Zėbekas)
Segrè Emilio Gino (Emilijus Džinas Segrė)
Seyfert Carl Keenan (Karlus Kynanas Seifertas)

Shockley William (Viljamas Šoklis)
de Sitter Willem (Vilemas de Siteris)
Sklodowska-Curie Marie (Marija Sklodovska-Kiuri)
Slater John (Džonas Sleiteris)
Slipher Vesto (Vestas Slaiferis)
Smoluchowski Marian (Marianas Smoliuchovskis)
Snell Willebrord (Vilebrordas Snelas)
Snyder Hartland Sweet (Hartlandas Svytas Snaideris)
Soddy Frederick (Frederikas Sodis)
Sokrates (Sokratas)
Solvay Ernest (Ernestas Solvė)
Sommerfeld Arnold (Arnoldas Zomerfeldas)
Sorokin Peter (Peteris Sorokinas)
de Soto Domingo (Domingo de Soto)
Sperling Johann (Johanas Šperlingas)
Stark Johannes (Johanesas Štarkas)
Stefan Josef (Jozefas Štefanas)
Steinberger Jack (Džekas Stainbergeris)
Stephenson George (Džordžas Stefenonas)
Stern Otto (Otas Šternas)
Stevin Simon (Simonas Stevinas)
Stokes George Gabriel (Džordžas Gabrielis Stoksas)
Stoney George Johnstone (Džordžas Džonstonas Stonis)
Strabo (Strabonas)
Strassmann Fritz (Fricas Štrasmanas)
Sulzer Johann Georg (Johanas Georgas Zulceris)
Susskind Leonard (Leonardas Saskindas)
Symmer Robert (Robertas Simeris)
Szilard Leo (Leo Scilardas)

T

Talbot Henry Fox (Henris Foksas Tolbotas)
Tamm Igor (Igoris Tamas)
Taylor Goeffrey (Džefris Teiloras)
Taylor Joseph (Džozefas Teiloras)
Teller Edward (Edvardas Teleris)
Tesla Nikola (Nikola Tesla)
Thales (Talis)

Theaetetus (Teetetas)
Thomas Aquinas (Tomas Akviniėtis)
Thompson Benjamin (Bendžaminas Tompsonas)
Thomson George Paget (Džordžas Padžetas Tomsonas)
Thomson Joseph John (Džozefas Džonas Tomsonas)
Thomson William (Kelvin) (Viljamas Tomsonas (Kelvinas))
Ting Samuel (Samjuelis Tingas)
Tomonaga Sin-Itiro (Sinitiras Tomonaga)
Torricelli Evangelista (Evandželista Toričelis)
Townes Charles Hard (Čarlzas Hardas Taunsas)
Towneley Richard (Ričardas Taunlis)
Turner Michael (Maiklas Terneris)

U

Uhlenbeck George Eugene (Džordžas Judžinas Ulenbekas)
Upatnieks Juris (Juris Upatniekas)

V

Vasco da Gama (Vaskas da Gama)
Villard Paul Ulrich (Polas Ulrichas Vilaras)
Viviani Vincenzo (Vinčencas Vivianis)
van Vleck John (Džonas van Vlekas)
Voigt Woldemar (Voldemaras Foigtas)
Volta Alessandro (Alesandras Volta)
Vuletic Vladan (Vladanas Vuletičius)

W

van der Waals Johannes Diderik (Johanesas Diderikas van der Valsas)
Watt James (Džeimsas Vatas)
Weber Wilhelm Eduard (Vilhelmas Eduardas Veberis)
Weinberg Steven (Stivenas Vainbergas)
Weisskopf Victor Frederick (Viktoras Frederikas Veiskopfas)
von Weizsäcker Carl Friedrich (Karlus Fridrichas fon Veiczekeris)
Wiechert Emil Johann (Emilis Johanas Vichertas)
Wieman Carl (Karlus Vymanas)
Wien Wilhelm (Vilhelmas Vynas)

Wigner Eugene (Judžinas Vigneris)
Wilcke Johan Carl (Johanas Karlas Vilke)
Wilson Alan Herries (Alanas Herisas Vilsonas)
Wilson Charles Thomson (Čarlzas Tomsonas Vilsonas)
Wilson Robert Woodrow (Robertas Vudras Vilsonas)
Wolff Christian (Kristianas Volfas)
Wollaston William Hyde (Viljamas Haidas Volastonas)
Wren Christopher (Kristoferis Renas)
Wu Chien-Shiung (Čen Šiung Vu)

Y

Yang Chen Ning (Čenas Ningas Jangas)
Young Thomas (Tomas Jangas)
Yukawa Hideki (Hidekis Jukava)

Z

Zeeman Pieter (Piteris Zemanas)
Zeldovič Jakov (Jakovas Zeldovičius)
Zenon (Zenonas)
Zoroastres (Zaratustra)
Zweig George (Džordžas Cveigas)
Zwicky Fritz (Fricas Cvikis)

Fizikos istorija/ Romualdas Karazija. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2022. Trečias pataisytas elektroninis leidimas. 345 p., iliustr. Bibliogr.: p. 321–329. Asmenvardžių rodyklė p. 330–344.

Per pustrėčio tūkstantmečio fizika nuėjo ilgą ir vingiuotą kelią, turtingą netikėtų atradimų, genialių apibendrinimų, keistų idėjų. Šis mokslas įsiskverbė į neregimus mikropasaulį ir makropasaulį, atskleidė stulbinamas gamtos paslaptis. Apie tai glaustai, bet vaizdžiai pasakojama šioje pasaulinės fizikos istorijoje. Knyga leidžia už abstrakčių fizikos dėsnių išvelgti gyvą, kuriamą ir kuriantį mokslą, suvokti jo raidos dėsninumus. Skirta fizikos specialybės studentams, mokytojams, taip pat fizikams, besidomintiems savojo mokslo istorija.

ISBN 978-609-08-0017-1 (Leidinio forma: Elektroninis - PDF).

Romualdas Karazija
FIZIKOS ISTORIJA

Redaktorės Julija Rita Klimkienė ir Alina Momkauskaitė

Maketuotoja Renata Minkevičiūtė

Viršelio dailininkas Romas Dubonis