



J. Butrimaitė, A. Dementjev, G. Dikčius, R. Gadonas, J. Jasevičiūtė,
V. Karenauskaitė, V. Sirutkaitis, V. Smilgevičius

F I Z I K A

*biomedicinos ir fizinių
mokslų studentams*

I dalis
Mechanika
Molekulinė fizika

Vilniaus universiteto leidykla
2003

UDK 53(075.8)
Fi 386

Vadovėlis parengtas vadovaujant
prof. habil. dr. *V. Sirutkaičiui*

Recenzavo:

doc. dr. L. Bastienė, dr. A. Baginskas, prof. habil. dr. L. Pranevičius,
doc. dr. M. Balevičius, prof. habil. dr. R. Rotomskis,
doc. dr. P. Juodvalkis, prof. habil. dr. D. Kalibatienė

Vadovėlių spaudai rekomendavo
Aukštųjų mokyklų bendrųjų vadovėlių leidybos komisija
(2002 05 24, protokolo Nr. 05A-110)

Išleista Lietuvos Respublikos švietimo ir mokslo ministerijos bei Vilniaus universiteto lėšomis

*Vadovėlio rengimą parėmė Lietuvos valstybinis mokslo ir studijų fondas
bei Europos Sąjungos Leonardo da Vinčio programa
(projekto Nr. LT/00/B/F/PP-137.024)*

ISBN 9986–19–595–9

© J. Butrimaitė, A. Dementjev, G. Dikčius,
R. Gadonas, J. Jasevičiūtė, V. Karenauskaitė,
V. Sirutkaitis, V. Smilgevičius, 2003
© Vilniaus universiteto leidykla, 2003

TURINYS

PRATARMĖ / 5

1. FIZIKOS SAŠAJOS SU BIOMEDICINA IR
KITAIS FIZINIAIS MOKSLAIS / 7

2. MATAVIMAI IR MATAVIMO PAKLAIDOS / 10

A. Dementjev, V. Karenauskaitė

2.1. Dydžiai ir vienetai / 10

2.2. Matavimų tikslumas ir paklaidų įvertinimas / 11

2.3. Tiesioginių matavimų paklaidų skaičiavimas / 12

2.4. Netiesioginių matavimų paklaidų skaičiavimas / 14

2.5. Paklaidos apvalinimas ir matavimo rezultatų užrašymas / 15

2.6. Matavimai / 15

2.7. Duomenų apdorojimo programos / 18

3. SAUGOS PROBLEMOS LABORATORIJOSE / 19

V. Karenauskaitė, J. Jasevičiūtė

3.1. Saugos taisyklės atliekant elektros laboratorinius darbus / 19

3.2. Saugos taisyklės atliekant kitus laboratorinius darbus / 20

3.3. Elektros srovės poveikis ir elektrinės saugos priemonės / 20

* 3.4. Paciento apsauga / 24

4. MECHANIKA / 26

4.1. Kūnų inertiškumas. Masė, svoris ir sunkis / 26

V. Karenauskaitė, J. Jasevičiūtė, G. Dikčius

Laboratorinis darbas „Tikslusis svėrimas“ / 32

4.2. Sukamasis judėjimas / 35

V. Sirutkaitis, A. Dementjev, J. Jasevičiūtė, R. Gadonas

*Laboratorinis darbas „Pagrindinio sukamojo judėjimo
dinamikos dėsnio patikrinimas“ / 54*

Laboratorinis darbas „Inercijos momento nustatymas bifiliariąja svyruokle“ / 56

Laboratorinis darbas „Giroskopo precesijos tyrimas“ / 58

4.3. Garsas. Ultragarsas / 60

V. Karenauskaitė, A. Dementjev, V. Sirutkaitis

Laboratorinis darbas „Garso greičio ore nustatymas“ / 72

* Medicinos fakultetų studentams.

4.4. Klausos fizika / 74*A. Dementjev, J. Butrimaitė**Laboratorinis darbas „Klausos jutos ribos matavimas kompiuteriu“ / 84***5. MOLEKULINĖ FIZIKA / 87****5.1. Skysčių klampumas / 87***V. Karenauskaitė, J. Butrimaitė**Laboratorinis darbas „Skysčių klampumo tyrimas“ / 99***5.2. Dujų klampumas / 101***J. Jasevičiūtė, V. Karenauskaitė**Laboratorinis darbas „Dujų klampumo tyrimas“ / 109***5.3. Tirpalų paviršiaus įtempimas / 110***A. Dementjev, V. Karenauskaitė**Laboratorinis darbas „Tirpalų paviršiaus įtempimo tyrimas“ / 120***5.4. Garavimas ir kondensacija. Oro drėgmė. Virimas / 122***G. Dikčius, V. Karenauskaitė, V. Sirutkaitis, J. Jasevičiūtė**Laboratorinis darbas „Oro drėgmės nustatymas Asmano psichrometru“ / 135**Laboratorinis darbas „Vandens virimo temperatūros priklausomybės nuo išorinio slėgio tyrimas“ / 137***5.5. Šilumos perdavimo būdai / 138***V. Karenauskaitė, V. Sirutkaitis, V. Smilgevičius**Laboratorinis darbas „Kietojo kūno šilumos laidumo koeficiento nustatymas“ / 149***5.6. Kietųjų kūnų tamprumas / 151***V. Karenauskaitė, J. Butrimaitė, V. Sirutkaitis**Laboratorinis darbas „Tampros modulio nustatymas dinamiiniu Šliūpo būdu“ / 162**Laboratorinis darbas „Medžiagų tamprumo savybių tyrimas“ / 164***5.7. Masės pernaša / 165***V. Sirutkaitis, V. Karenauskaitė***UŽDAVINIAI / 178***G. Dikčius, V. Karenauskaitė, J. Butrimaitė*

1. Kai kurios uždavinių sprendimo formulės / 178

2. Uždavinių sąlygos / 183

3. Kai kurių uždavinių atsakymai / 189

PRIEDAI / 190*G. Dikčius, V. Karenauskaitė, J. Butrimaitė*

1. Vektoriai ir veiksmai su jais / 190

2. Fizikiniai dydžiai ir jų žymėjimai / 192

3. Fizikinių dydžių lentelės / 193

Dalykinė rodyklė / 206

Literatūros sąrašas / 211

PRATARMĖ

Vadovėlis skiriamas aukštųjų mokyklų studentams, studijuojantiems biomedicinos ir fiziniams mokslams priskiriamus Žemės mokslus. Šiems studentams reikalingos specifinės fizikos žinios, susijusios su įvairių fizikinių vyksmų gyvuosiuose organizmuose ir gamtiniuose objektuose aiškiniu, fizikinių metodų taikymu medicinoje, biologijoje, geografijoje, geologijoje bei hidrometeorologijoje, prietaisų fizikinių pagrindų nagrinėjimu. Tokios paskirties vadovėlių, jei neminėsime siauros tematikos metodinių priemonių, per pastaruosius dešimtmečius Lietuvoje nebuvo išleista, todėl šiuo darbu siekiame užpildyti susidariusią spragą.

Vadovėlis yra dviejų dalių. Pirmąją dalį sudaro Mechanikos ir Molekulinės fizikos skyriai, o antrąją – Elektros, Magnetizmo, Medicininės elektronikos, Optikos ir Branduolio fizikos skyriai. Kiekvienoje dalyje yra Matavimų ir matavimo paklaidų, Bendrų darbo mokomosiose laboratorijose saugos problemų bei Fizikos uždavinių skyriai, taip pat priedai ir literatūros sąrašas.

Atsižvelgiant į aukštųjų mokyklų biomedicinos ir Žemės mokslų studijų programose fizikai skiriamą paskaitų laiką, kuris sudaro nuo 16 iki 48 val., vadovėlyje iš viso pateikta daugiau kaip dvidešimties šiems mokslams svarbių fizikos temų teorija. Kiekvienos temos apraše gana plačiai aprašomi fizikiniai reiškiniai, jų ryšys su medicina, biologija, geologija, chemija, geografija ir kt., pateikiamos formulės, reikalingos fizikos uždaviniams spręsti, dydžiams skaičiuoti. Kiekvieno skyriaus pabaigoje yra su tema susijusių laboratorinių darbų aprašai: užduotys; darbo priemonės ir prietaisai; užduočių atlikimo metodika ir eiga.

Pateikiant teorinę medžiagą stengtasi apsiriboti minimaliu formulių kiekiu ir medžiagą išdėstyti taip, kad ji apimtų pagrindinius faktus ir būtų suprantama aukštųjų mokyklų pirmojo ar antrojo kursų studentams. Todėl knygoje yra daug aiškinamųjų paveikslų, prietaisų schemų, pateikiama nemažai specifinių medicininės ir biologinės fizikos žinių, nurodomi su kiekviena tema susiję taikymai medicinoje ir fiziniuose moksluose. Vadovėlyje yra temų, aktualių įvairių specialybių studentams: pavyzdžiui, medicinos – regos ir klausos fizika, elektrokardiografija, elektrostimuliacija, gyvųjų organizmų termoreguliacija; biologijos ir chemijos – mikroskopija, spektrofotometrija; geologijos, geografijos ir meteorologijos – giroskopiniai reiškiniai, Žemės magnetinis laukas, oro drėgmė, šilumos perdavimo būdai, ir daugelis kitų. Fizikos uždavinių skyriuje pateikti uždaviniai yra naudingi ugdant studentų gebėjimą taikyti fizikos žinias įvairioms situacijoms.

Vadovėlyje aprašyti keli kompiuterinio modeliavimo arba vadinamieji virtualūs darbai, kurių atlikimo metodika pateikta kompaktinėje plokštelėje „Virtualioji fizikos laboratorija“. Taigi studentai turi galimybę tokius darbus atlikti ne tik laboratorijoje, bet ir jiems patogioje vietoje pasirinktu laiku, naudodamiesi asmeniniais kompiuteriais ir interneto ryšiu.

Vadovėlį rengė Vilniaus universiteto Fizikos fakulteto Kvantinės elektronikos katedros lekt. J. Butrimaitė, prof. habil. dr. A. Dementjev (Fizikos instituto Netiesinės optikos ir spektroskopijos laboratorijos vedėjas), prof. dr. R. Gadonas, doc. dr. J. Jasevičiūtė, lekt. V. Karenauskaitė, prof. habil. dr. V. Sirutkaitis, prof. habil. dr. V. Smilgevičius ir Bendrosios fizikos ir spektroskopijos katedros

prof. dr. G. Dikčius. Darbui vadovavo habil. dr. prof. V. Sirutkaitis. Iš vadovėlio turinio matyti autorių indėlis į temos aprašą, tačiau kiekvienos temos pabaigoje pateiktų laboratorinių darbų metodinę medžiagą daugiausia rengė V. Karenauskaitė ir J. Butrimaitė.

Vadovėlis – ne tik autorių kelerių metų darbo rezultatas. Prie jo rengimo prisidėjo daugelis žmonių. Tad knygos autoriai nuoširdžiai dėkoja:

- Kvantinės elektronikos katedros vedėjui akademikui prof. habil. dr. *A. Piskarskui* už šios knygos rengimo iniciatyvą ir nuolatinį dėmesį;
- recenzentams: Kauno medicinos universiteto doc. dr. *L. Bastienei*, dr. *A. Baginskui*, Vytauto Didžiojo universiteto prof. habil. dr. *L. Pranevičiui*, Vilniaus universiteto doc. dr. *M. Balevičiui*, prof. habil. dr. *R. Rotomskiui* ir Medicinos fakulteto doc. dr. *P. Juodvalkiui*, prof. habil. dr. *D. Kalibatienei*, už vertingas pastabas ir patarimus;
- doc. *J. Slavėnui* už galimybę pasinaudoti anksčiau išleistais elektros darbų aprašais;
- Kvantinės elektronikos katedros darbuotojams: dr. *S. Bagdonui* už papildomą medžiagą skyriui „Regos fizika. Mikroskopija“, dr. *L. Giniūnui* už medžiagą darbui „Vaizdų perdavimo šviesolaidine pyne tyrimas“, doktorantei *O. Balachninaitei* už pasiūlytą papildomą medžiagą skyriui „Kintamoji elektros srovė. Omo dėsnis kintamajai srovei“, dr. *A. Matijošui* ir *J. Sirutkaitienei* už techninę pagalbą;
- kalbos redaktorei *Z. Manstavičienei* – už kruopštų ir dėmesingą rankraščio redagavimą;
- Vilniaus universiteto leidyklos darbuotojai *V. Vaidakavičienei* už kantrybę ir bendradarbiavimą maketuojant bei rengiant vadovėlį spaudai;
- visiems kolegoms, bendradarbiams ir studentams, kurie atidžiai skaitydami rankraštį aptiko ir nurodė klaidų bei netikslumų;
- visiems finansiniams vadovėlio rėmėjams.

Nepaisant autorių ir redaktorių pastangų, tam tikrų netikslumų galėjo likti, todėl už juos iš anksto atsiprašome.

Autoriai

1. FIZIKOS SAŠAJOS SU BIOMEDICINA IR KITAI FIZINIAIS MOKSLAIS

Gamtos pažinimas yra toks žmogiškas ir teisėtas, jog kiekvienam, pasiaukojusiam šiam tikslui, linkiu sėkmės...

V. Gėtė

Fizikos terminas kilo iš graikų kalbos žodžio, reiškiančio *gamta*, ir istoriškai tapo terminu, vartojamu apibūdinti gamtos reiškinių studijas. Žmonija visais laikais domėjosi gamtos reiškiniais ir jų priežastimis. Kuo daugiau buvo sužinoma apie gamtą, tuo sparčiau plėtojosi ir fizika. Iš pradžių informacija apie gamtą buvo gaunama tik žmogaus jutimais, t. y. regos, klausos, šaltčio ir karščio. Tos žinios devynioliktajame amžiuje buvo apibendrintos ir išsirutuliojo į tokias *klasikinės fizikos* šakas, kaip *mechanika, optika, akustika, termodinamika. Elektromagnetizmas* kaip atskira fizikos šaka susiformavo tik devynioliktajame šimtmečiuje, kai buvo sukurti pirmieji prietaisai, reaguojantys į elektromagnetinį lauką, nes žmogaus jutimo organai yra mažai jautrūs šiam laukui. Ištobulinus stebėjimo ir eksperimentinius metodus, devynioliktojo amžiaus pabaigoje prasidėjo koncepcinė fizikos revoliucija, sukūrusi *reliatyvumo ir kvantinės mechanikos* teorijas ir pakeitusi gamtos reiškinį, ypač materijos sandaros, suvokimą. Šios naujos teorijos pateikė išsamesnį ir vientisesnį gamtos reiškinį supratimą, grįstą materijos sandaros ir formų sąveika. Šis supratimas buvo pavadintas *moderniąja fizika*, nors iš tikrųjų reiškė tik naujoviškesnį, atitinkantį to laiko žinias fizikinį požiūrį. Mokslo istorija rodo, kad reiškinį supratimas nuolat kinta. Pagal šiuolaikinę sampratą, *fizika – tai mokslas, kurio tikslas yra tirti materijos formas ir jų tarpusavio sąveikas bei jomis aiškinti visus gamtos reiškinius*. Iš šio apibrėžimo plaukia, kad fizika yra fundamentaliausias iš visų gamtos mokslų. Fizikos dėsniai, būdami bendri materialiajam pasauliui, svarbūs visiems biomedicinos ir fiziniams mokslams, juo labiau kad ribos, skiriančios fiziką nuo kitų apie gyvąją ir negyvąją gamtą mokslų, niekada nebuvo griežtos. Chemija susijusi tik su vienu fizikos aspektu: fizikos dėsnių taikymu molekulių sandarai, formavimuisi ir jų sąveikoms tirti bei praktiniu tikslu vienas molekules verčiant kitomis. Biologija, aiškindama sudėtingus procesus gyvosiose sistemose, remiasi fizika ir chemija.

Norint pasiekti fizikos, kaip ir kitų fizinių mokslų, tikslus, naudojami *stebėjimo ir eksperimentų* metodai. *Stebėjimas* – tai natūraliai vykstančio reiškinio stebėjimas ir dokumentavimas stengiantis nustatyti įvairių veiksnių ir sąlygų įtaką. Dauguma natūraliai vykstančių reiškinų yra reti ir jų pasirodymo sąlygos kinta mažai, todėl stebėjimai yra lėtas ir sunkus fizikinių reiškinų tyrimo metodas. Todėl, jei įmanoma, taikomi eksperimentiniai metodai. *Eksperimentavimas* – tai reiškinio stebėjimas specialiai parengtomis ir griežtai kontroliuojamomis sąlygomis. Šiuo atveju tyrėjas

gali keisti sąlygas pagal norą ir kartu lengviau suprasti, kaip jos veikia procesą. Be eksperimentavimo ir matavimų šiuolaikinis mokslas nebūtų pasiekęs šiandienų aukštumų. Stebėjimas ir eksperimentavimas yra ne vieninteliai fizikų taikomi metodai. Iš žinomų faktų mokslininkai gali generuoti naujas žinias *teoriniu* būdu. Šiuo atveju fizikas siūlo tiriamos fizikinės sistemos *modelį*. Naudojant anksčiau nustatytus sąryšius tirama, ar modelio rezultatai atitinka eksperimentą, ir pagal tai modelis tobulinamas keičiant matematinį jo aprašymą. Taip gali būti numatomi iki šiol nežinomi reiškiniai atliekant teorinį modeliavimą arba nustatomi kelių procesų tam tikri sąryšiai.

Fizika, kaip modelių ir artinių mokslas, reikalinga tiek gyvosios, tiek negyvosios gamtos tyrėjams kaip metodų visuma. Medicinos studentams reikia įgyti žinių, kaip taikyti fizikinius metodus diagnostikai ir gydymui. Hidrologijos ir meteorologijos studentams svarbu išmokti fizikos metodų, kad galėtų spręsti klimatologijos ir hidrologijos problemas. Geografijos specialybės studentams aktualu suvokti fizikinių gamtos vaizdinių visumą, jos dėsningumą. Geologijos, hidrogeologijos, inžinerinės geologijos specialybių studentams ypač svarbu ne tik įgyti fizikos žinių, bet ir išmokti jas taikyti atliekant savarankiškus tyrimus.

Kita vertus, daugelis vyksmų gyvuosiuose organizmuose (tarp jų ir žmogaus), jų sąveika su aplinka aprašomi fizikos dėsniais ir yra biofizikinių tyrimų objektas siekiant geriau suprasti šiuos vyksmus. Tai žmogaus klausa ir kalba, pagrįstos akustikos ir mechanikos; rega – optikos ir kvantinės fizikos; širdies veikla – mechanikos ir elektros, kraujotaka – hidrodinamikos, gyvųjų organizmų termoreguliacija – termodinamikos principais ir t. t. Šiuolaikinėje biologijoje vis didėja būtinybė greta kokybinių naudoti kiekybinius tyrimo metodus, siekiant geriau suprasti ir tiksliau aprašyti tiriamus procesus. Tai taikoma ne tik eksperimentiniams tyrimo aspektams, bet ir pagrindinei teorijai tokių temų kaip fotosintezė ir molekulinė genetika. Kiekybinei biologijos raidai pastaruoju metu daugiausiai įtakos darė fizikos fundamentiniai principai. Todėl, norint suprasti šiuolaikinių biologijos mokslų koncepcijas, svarbu žinoti šiuos fizikinius principus.

Bet fizika svarbi ne tik tuo, kad yra koncepcinis ir teorinis kitų gamtos mokslų pagrindas. Iš praktinio taško svarbu, kad ji suteikia metodus ir technines priemones, kurios gali būti naudojamos bet kurioje fundamentinių ir taikomųjų tyrimų srityje. Geologai naudoja gravimetrinius, akustinius, branduolinius ir mechaninius metodus. Tas pats pasakytina apie okeanologus, meteorologus, seismologus ir t. t. Šiuolaikinėse ligoninėse veikia laboratorijos, kuriose yra visi moderniausi fizikiniai prietaisai. Medicinoje plačiai naudojamas ultragarsas, rentgeno spinduliai, radioizotopai, lazeriai. Kiekvienoje šiuolaikinėje biologijos ar chemijos laboratorijoje rasime įvairių mikroskopų, šiuolaikinių spektrofotometrų.

Dvidešimt pirmąjį amžių daugelis mokslininkų ar politikos veikėjų vadina biologijos amžiumi, todėl šiandien fizikos mokslininkai ieško naujų iššūkių bei galimybių taikyti fizikos tyrimų rezultatus biomoksluose: lazerių spektroskopiją vaizdinimui, atominės jėgos mikroskopiją – tiriant DNR. Šie ir kiti metodai leidžia plėtoti nanodarinių gyvuosiuose organizmuose tyrimus, pažvelgti į submolekulinį pasaulį, o tai – XXI amžiaus mokslo pažangos raktas, užtikrinantis nuolatinį, simbiozinį fizikos, biomedicinos ir kitų fizinių mokslų sąryšį, bei šių sričių mokslininkų bendradarbiavimą.

Todėl būtina jau biomedicinos ir fizinių mokslų studijų lygmeniu siekti optimalios fundamentinių žinių ir jų profiliavimo dermės, mokomojoje medžiagoje aprašyti ne tik pamatines fizikos mokslo žinias, bet ir jų taikymą įvairiose mokslo srityse, naujausius fizikos mokslo laimėjimus. Tad šiame vadovėlyje pagrindiniai fizikos reiškiniai, dėsniai, principai iliustruojami gausiais jų taikymo medicinoje, biologijoje, chemijoje, geologijoje, geografijoje pavyzdžiais.

Įvairūs fizikos tyrimo metodai ir prietaisai, sudarantys teorijos ir praktikos vienovę, naudojami ir kituose moksluose. Įgyti pagrindinių tyrimo metodų esminių žinių studentai gali atlikdami laboratorinius darbus. Tai būtina, kad būsimieji specialistai ateityje galėtų greitai perprasti naujus, vis tobulesnius metodus ir prietaisus, kadangi bendrieji jų veikimo principai dažnai lieka nepakitę.

Todėl tiems, kurie pasirinko biomedicinos ar kitų fizinių mokslų studijas, fizikos kursas gali padėti geriau suvokti gyvosios ir negyvosios gamtos fizikinius reiškinius, dėsnius, fizikos ir šių mokslų ryšius, jų dermės perspektyvas, susiformuoti fizikinę požiūrį į gamtos pasaulį.