

ბოვნიერთი ფიზიკური მუდმივა

სიდიდე	სიმბოლო	მნიშვნელობა ¹
ატომის მასის ერთეული	u	$1.660\,538\,782\,(83) \times 10^{-27}$ კგ $931.494\,028\,(23)$ მევ/ c^2
ელექტრონის მასა	m_e	$9.109\,382\,15\,(45) \times 10^{-31}$ კგ $5.485\,799\,094\,3\,(23) \times 10^{-4}$ u $0.510\,998\,910\,(13)$ მევ/ c^2
პროტონის მასა	m_p	$1.672\,621\,637\,(83) \times 10^{-27}$ კგ $1.007\,276\,466\,77\,(10)$ u $938.272\,013\,(23)$ მევ/ c^2
ნეიტრონის მასა	m_n	$1.674\,927\,211\,(84) \times 10^{-27}$ კგ $1.008\,664\,915\,97\,(43)$ u $939.565\,346\,(23)$ მევ/ c^2
დეიტრონის მასა	m_d	$3.343\,583\,20\,(17) \times 10^{-27}$ კგ $2.013\,553\,212\,724\,(78)$ u
ელემენტარული მუხტი	e	$1.602\,176\,487\,(40) \times 10^{-19}$ კულ
ელექტონ ვოლტი	eV	$1.602\,176\,487\,(40) \times 10^{-19}$ ჯ
ავოგადროს რიცხვი	N_A	$6.022\,141\,79\,(30) \times 10^{23}$ ნაწილაკი/მოლი
ბორის მაგნეტონი	$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$	$9.274\,009\,15\,(23) \times 10^{-24}$ ჯ/ტ
ბორის რადიუსი	$k_B = \frac{R}{N_A}$	$5.291\,772\,085\,9\,(36) \times 10^{-11}$ მ
ბოლცმანის მუდმივა	$a_0 = \frac{\hbar^2}{m_e e^2 k_e}$	$1.380\,650\,4\,(24) \times 10^{-23}$ ჯ/კ
კომპტონის ტალღის სიგრძე	$\lambda_c = \frac{h}{m_e c}$	$2.426\,310\,217\,5\,(33) \times 10^{-12}$ მ
კულონის მუდმივა	$k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	$8.987\,551\,788\,\dots \times 10^9$ ნ·მ ² /კულ ² (ზუსტი)
აირის მუდმივა	R	$8.314\,472\,(15)$ ჯ/მოლი·კ
გრაჟიტაციული მუდმივა	G	$6.674\,28\,(67) \times 10^{-11}$ ნ·მ ² /კგ ²
ბირთვის მაგნეტონი	$\mu_n = \frac{e\hbar}{2m_p}$	$5.050\,783\,24\,(13) \times 10^{-27}$ ჯ/ტ
თავისუფალი გარემოს მაგნიტური შეღწევადობა	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ T·მ/A (ზუსტი)
თავისუფალი გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობა	$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}$	$8.854\,187\,817\,\dots \times 10^{-12}$ კ ² /ნ·მ ² (ზუსტი)
პლანკის მუდმივა	h	$6.626\,068\,96\,(33) \times 10^{-34}$ ჯ·წმ
	$\hbar = \frac{h}{2\pi}$	$1.054\,571\,628\,(53) \times 10^{-34}$ ჯ·წმ
რიდბერგის მუდმივა	R_H	$1.097\,373\,156\,852\,7\,(73) \times 10^7$ მ ⁻¹
სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში	c	$2.997\,924\,58 \times 10^8$ მ/წმ (ზუსტი)

შენიშვნა: ეს მუდმივები რეკომენდებულია 2006 CODATA–ს მიერ, რომელიც ეფუძნება სხვადასხვა გაზომვების შედეგად მონაცემების უმცირესი კვადრატების მეთოდით მიღებულ შედეგებს. სრული ჩამონათვალის სანახავად შეგიძლიათ იხელმძღვანელოთ სტატიით P. J. Mohr, B. N. Taylor, and D. B. Newell, “CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2006.” *Rev. Mod. Phys.* **80**:2, 633–730, 2008.

¹ ფრჩხილებში მოცემული მნიშვნელობები გამოხატავს განუზღვრელობას ორი ციფრის სიზუსტით.

მზის სისტემის მონაცემები

პლანეტა	მასა (კგ)	საშუალო რადიუსი (მ)	პერიოდი (წმ)	მზიდან საშუალო დაშორება (მ)
მერკური	3.30×10^{23}	2.44×10^6	7.60×10^6	5.79×10^{10}
ვენერა	4.87×10^{24}	6.05×10^6	1.94×10^7	1.08×10^{11}
დედამიწა	5.97×10^{24}	6.37×10^6	3.156×10^7	1.496×10^{11}
მარსი	6.42×10^{23}	3.39×10^6	5.94×10^7	2.28×10^{11}
იუპიტერი	1.90×10^{27}	6.99×10^7	3.74×10^8	7.78×10^{11}
სატურნი	5.68×10^{26}	5.82×10^7	9.29×10^8	1.43×10^{12}
ურანი	8.68×10^{25}	2.54×10^7	2.65×10^9	2.87×10^{12}
ნეპტუნი	1.02×10^{26}	2.46×10^7	5.18×10^9	4.50×10^{12}
პლუტონი ¹	1.25×10^{22}	1.20×10^6	7.82×10^9	5.91×10^{12}
მთვარე	7.35×10^{22}	1.74×10^6	—	—
მზე	1.989×10^{30}	6.96×10^8	—	—

¹ 2006 წლის აგვისტოში, ასტრონომიის საერთაშორისო ორგანიზაციამ შეიმუშავა პლანეტების განსაზღვრებები, რომლის მიხედვითაც პლუტონი გამოიყოფა სხვა რვა პლანეტისაგან. პლუტონი ამჟამად განისაზღვრება, როგორც “ჯუჯა პლანეტა” (ასტეროიდ ცერესის მსგავსად).

ხშირად გამოყენებადი ფიზიკური სიდიდეები

საშუალო მანძილი დედამიწა—მთვარე	3.84×10^8 მ
საშუალო მანძილი დედამიწა—მზე	1.496×10^{11} მ
დედამიწის საშუალო რადიუსი	6.37×10^6 მ
ჰაერის სიმკვრივე (20°C და 1 ატმ)	1.20 კგ/მ ³
ჰაერის სიმკვრივე (0°C და 1 ატმ)	1.29 კგ/მ ³
წყლის სიმკვრივე (20°C და 1 ატმ)	1.00×10^3 კგ/მ ³
თავისუფალი ვარდნის აჩქარება	9.80 მ/წმ ²
დედამიწის მასა	5.97×10^{24} კგ
მთვარის მასა	7.35×10^{22} კგ
მზის მასა	1.99×10^{30} კგ
ატმოსფერული წნევა	1.013×10^5 პა

შენიშვნა: ტექსტში გამოყენებულია ეს სიდიდეები

ათის ხარისხის გოგიერთი პრეფიქსები

ხარისხი	პრეფიქსი	აღნიშვნა	ხარისხი	პრეფიქსი	აღნიშვნა
10^{-24}	იოქტო	y	10^1	დეკა	da
10^{-21}	ზეპტო	z	10^2	ჰექტო	h
10^{-18}	ატო	a	10^3	კილო	k
10^{-15}	ფემტო	f	10^6	მეგა	M
10^{-12}	პიკო	p	10^9	გიგა	G
10^{-9}	ნანო	n	10^{12}	ტერა	T
10^{-6}	მიკრო	μ	10^{15}	პეტა	P
10^{-3}	მილი	m	10^{18}	ექსა	E
10^{-2}	სანტი	c	10^{21}	ზეტა	Z
10^{-1}	დეცი	d	10^{24}	იოტა	Y



ფიზიკა

საბუნებისმეტყველო და საინჟინრო სპეციალობის სტუდენტებისათვის

ნაწილი II — თერმოდინამიკა,
ელექტრობა და მაგნიტიზმი

მერვე გამოცემა

ჯონ ვ. ჯევეტი

ემერიტუსი, კალიფორნიის სახელმწიფო პოლიტექნიკური უნივერსიტეტი, პომონა

რეიმონდ ა. სერვეი

ემერიტუსი, ჯეიმს მედისონის უნივერსიტეტი

ვაჰე პერომიანის მხარდაჭერით, კალიფორნიის უნივერსიტეტი ლოს-ანჯელესი



ფიზიკა საბუნებისმეტყველო და საინჟინრო სპეციალური სტუდენტებისათვის,
მერვე გამოცემა

ჯონ ვ. ჯევეტი, რეიმონდ ა. სერვეი

ნაწილი III თერმოდინამიკა

ნაწილი IV ელექტრობა და მაგნიტიზმი

მთარგმანელი:

ვლადიმერ სანაძე ფიზიკის მეცნიერებათა დოქტორი

ტექსტის თარგმანის რედაქტირებაზე მუშაობდნენ:

კახაბერ თავგარაშვილი

სოსო გოგილიძე

გელა დევიძე

ჯიმშერ ჯავახიშვილი

ირაკლი ნოსელიძე

ზურაბ ცქირია

ფიზიკა – მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი

ფიზიკა – მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი

ფიზიკა – მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი

ფიზიკა – მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი

ფიზიკა – მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი

მათემატიკის მეცნიერებათა მაგისტრი

რედაქტორი:

მარინა ჟღენტი

კომპიუტერული უზრუნველყოფა:

ნინო სუარიძე

მარი ვერულაშვილი

საქართველოს უნივერსიტეტის გამომცემლობა © 2024

ყველა უფლება დაცულია. დაუშვებელია წინამდებარე გამოცემის რომელიმე ნაწილის
გამოქვეყნება, თარგმნა, ხელახალი პუბლიკაცია ან გადაცემა ნებისმიერი ფორმით თუ
საშუალებით, ელექტრონულად (CD-Rom, ინტერნეტი, ა.შ.), მექანიკურად, მათ შორის,
ასლის გადაღების, ჩაწერის, ინფორმაციის შენახვის თუ ამოღების ნებისმერი სისტემის
მეშვეობით, საქართველოს უნივერსიტეტის გამომცემლობის წინასწარი წერილობითი
თანხმობის გარეშე.

ISBN-978-9941-9844-9-5

გამოცა და დაიბეჭდა საქართველოში
საქართველო, თბილისი, 0171, მ. კოსტავას 77ა
ელ.ფოსტა: info@ug.edu.ge; ug@ug.edu.ge



Physics

for Scientists and Engineers
with Modern Physics

eighth edition

John W. Jewett, Jr.

Emeritus, California State Polytechnic University, Pomona

Raymond A. Serway

Emeritus, James Madison University

With contributions from Vahé Perroomian, *University of California at Los Angeles*



Australia • Brazil • Japan • Korea • Mexico • Singapore • Spain • United Kingdom • United States

**Physics for Scientists and Engineers,
Eighth Edition****John W. Jewett, Jr. and Raymond A. Serway**Vice President, Editor-in-Chief, Sciences:
Michelle Julet

Publisher: Mary Finch

Development Editor: Ed Dodd

Associate Developmental Editor: Brandi Kirksey

Editorial Assistant: Joshua Duncan

Senior Media Editor: Rebecca Berardy Schwartz

Marketing Manager: Nicole Mollica

Marketing Communications Manager:
Belinda Krohmer

Marketing Coordinator: Kevin Carroll

Project Manager, Editorial Production:
Cathy L. Brooks

Creative Director: Bruce Bond

Senior Art Directors: Jill Haber Atkins and
Cate Rickard Barr

Print Buyer: Diane Gibbons

Permissions Editor: Timothy Sisler

Senior Permissions Account Manager, Images:
Robyn Young

Text Designer: Brian Salisbury

Copy Editors: Kathleen M. Lafferty and
Sara BlackIllustrators: Dartmouth Publishing, Inc.;
Lachina Publishing Services

Cover Designer: Brian Salisbury

Cover image: © Stirling Energy Systems,
SunCatcher™

Compositor: Lachina Publishing Services

***We dedicate this book to
our wives, Elizabeth and
Lisa, and all our children
and grandchildren for
their loving understanding
when we spent time
on writing instead of
being with them.***

.....

Printed in Canada
1 2 3 4 5 6 7 14 13 12 11 10

© 2010 by Raymond A. Serway.

ALL RIGHTS RESERVED. No part of this work covered by the copyright herein may be reproduced, transmitted, stored or used in any form or by any means graphic, electronic, or mechanical, including but not limited to photocopying, recording, scanning, digitizing, taping, Web distribution, information networks, or information storage and retrieval systems, except as permitted under Section 107 or 108 of the 1976 United States Copyright Act or applicable copyright act of another jurisdiction without the prior written permission of the publisher.

For permission to use material from this text or product, submit all requests
online at **cengage.com/permissions**.

Further permissions questions can be emailed to
permissionrequest@cengage.com.

Library of Congress Control Number: 2009923972

International Student Edition

ISBN-13: 978-1-4390-4846-7

ISBN-10: 1-4390-4846-0

Cengage Learning International Offices**Asia**cengageasia.com
tel: (65) 6410 1200**Australia/New Zealand**cengage.com.au
tel: (61) 3 9685 4111**Brazil**cengage.com.br
tel: (011) 3665 9900**India**cengage.co.in
tel: (91) 11 30484837/38**Latin America**cengage.com.mx
tel: +52 (55) 1500 6000**UK/Europe/Middle East/Africa**cengage.co.uk
tel: (44) 207 067 2500**Represented in Canada by Nelson Education, Ltd.**tel: (416) 752 9100 / (800) 668 0671
nelson.com

Cengage Learning is a leading provider of customized learning solutions with office locations around the globe, including Singapore, the United Kingdom, Australia, Mexico, Brazil, and Japan. Locate your local office at:
www.cengage.com/global

Cengage Learning products are represented in Canada by Nelson Education, Ltd.

For product information: **www.cengage.com/international**Visit your local office: **www.cengage.com/global**Visit our corporate website: **www.cengage.com**

ავტორების შესახებ ix

წინასიტყვაობა x

სტუდენტებისათვის xi

ნაწილი 3

თერმოდინამიკა 1

19 ტემპერატურა 2

- 19.1 ტემპერატურა და თერმოდინამიკის ნულოვანი კანონი 2
- 19.2 თერმომეტრი და ტემპერატურის ცელციუსის სკალა 4
- 19.3 ფიქსირებული მოცულობის აირის თერმომეტრი და ტემპერატურის აბსოლუტური სკალა 5
- 19.4 სითხეებისა და მყარი სხეულების თერმული გაფართოება 7
- 19.5 ადეალური აირის მაკროსკოპული აღწერა 12

20 თერმოდინამიკის პირველი კანონი 17

- 20.1 სითბო და შინაგანი ენერგია 18
- 20.2 ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობა და კალორიმეტრი 20
- 20.3 ლატენტური (ფარული) სითბო 24
- 20.4 მუშაობა და სითბო თერმოდინამიკულ პროცესებში 28
- 20.5 თერმოდინამიკის პირველი კანონი 30
- 20.6 თერმოდინამიკის პირველი კანონის გამოყენება 31
- 20.7 ენერგიის გაცვლის მექანიზმები თერმულ პროცესებში 35

21 აირების კინეტიკური თეორია 45

- 21.1 იდეალური აირის მოლეკულური მოდელი 46
- 21.2 იდეალური აირის მოლური სითბოტევადობა 50
- 21.3 ადიაბატური პროცესი იდეალური აირისთვის 53
- 21.4 ენერგიის თანაბარი განაწილება 55
- 21.5 მოლეკულების სიჩქარის განაწილება 58

22 სითბური ძრავა, ენტროპია და თერმოდინამიკის მეორე კანონი 65

- 22.1 სითბური ძრავა და თერმოდინამიკის მეორე კანონი 66
- 22.2 სითბური ტუმბოები და მაცივრები 68
- 22.3 შექცევადი და შეუქცევადი პროცესები 71
- 22.4 კარნოს ძრავა 72
- 22.5 ბენზინისა და დიზელის ძრავები 76
- 22.6 ენტროპია 78
- 22.7 ენტროპია და თერმოდინამიკის მეორე კანონი 81
- 22.8 ენტროპია მიკროსკოპული თვალსაზრისით 83

ნაწილი 4

ელექტროობა და მაგნიტიზმი 91

23 ელექტრული ველები 92

- 23.1 ელექტრული მუხტის თვისებები 92
- 23.2 სხეულების დამუხტვა ინდუქციით 94
- 23.3 კულონის კანონი 95
- 23.4 ელექტრული ველი 101
- 23.5 უწყვეტი განაწილების მქონე მუხტის ელექტრული ველი 104
- 23.6 ელექტრული ველის წირები 109
- 23.7 დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობა ერთგვაროვან ელექტრულ ველში 111

24 გაუსის კანონი 118

- 24.1 ელექტრული ნაკადი 118
- 24.2 გაუსის კანონი 121
- 24.3 გაუსის კანონის გამოყენება მუხტის სხვადასხვა განაწილებისთვის 124
- 24.4 გამტარები ელექტრულ წონასწორობაში 127

25 ელექტრული პოტენციალი 134

- 25.1 ელექტრული პოტენციალი და პოტენციალთა სხვაობა 135
- 25.2 პოტენციალთა სხვაობა ერთგვაროვან ელექტრულ ველში 136
- 25.3 წერტილოვანი მუხტების ელექტრული პოტენციალი და პოტენციალური ენერგია 139
- 25.4 ელექტრული პოტენციალით ელექტრული ველის განსაზღვრა 143
- 25.5 მუხტების უწყვეტი განაწილებით გამოწვეული ელექტრული პოტენციალი 145
- 25.6 დამუხტული გამტარით გამოწვეული ელექტრული პოტენციალი 149
- 25.7 მილიკანის ექსპერიმენტი დამუხტული ზეთის წვეთებით 152
- 25.8 ელექტროსტატიკის გამოყენება 153

26 ტევადობა და დიელექტრიკები 158

- 26.1 ტევადობის განმარტება 158
- 26.2 ტევადობის გამოთვლა 160
- 26.3 კონდენსატორების შეერთება 163
- 26.4 ენერგიის შენახვა დამუხტულ კონდენსატორში 167
- 26.5 კონდენსატორი დიელექტრიკებით 171

26.6 ელექტრულ ველში მოთავსებული ელექტრული დიპოლი 174

26.7 დიელექტრიკის ატომური აღწერა 176

27 დენი და წინაღობა 183

27.1 ელექტრული დენი 184

27.2 რეზისტორი (წინაღობა) 186

27.3 ელექტროგამტარობის მოდელი 191

27.4 რეზისტორი (წინაღობა) და

ტემპერატურა 192

27.5 ზეგამტარობა 193

27.6 ელექტრული სიმძლავრე 194

28 მუდმივი დენის წრედები 200

28.1 ელექტრო მამოძრავებელი ძალა 200

28.2 პარალელურად და მიმდევრობით შეერთებული წინაღობები 203

28.3 კირპოფის კანონები 210

28.4 RC წრედები 213

28.5 საყოფაცხოვრებო ელექტროგაყვანილობა და ელექტრო უსაფრთხოება 219

29 მაგნიტური ველები 225

29.1 მაგნიტური ველები და ძალები 226

29.2 დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობა ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში 231

29.3 მაგნიტურ ველში დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობა 235

29.4 მაგნიტური ძალის მოქმედება დენიან გამტარზე 237

29.5 ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში, დენის ჩაკეტილ კონტურზე მოქმედი ძალის მომენტი 239

29.6 ჰოლის ეფექტი 243

30 მაგნიტური ველის წყაროები 250

30.1 ბიო-სავარის კანონი 250

30.2 ორ პარალელურ გამტარს შორის არსებული მაგნიტური ძალა 255

30.3 ამპერის კანონი 257

30.4 სოლენოიდის მაგნიტური ველი 261

30.5 გაუსის კანონი მაგნეტიზმში 263

30.6 მაგნეტიზმი ნივთიერებებში 265

31 ფარადეის კანონები 273

31.1 ფარადეის ინდუქციის კანონი 273

31.2 მოძრავი ემძ 278

31.3 ლენცის წესი 282

31.4 ინდუცირებული ემძ და ელექტრონული ველები 285

31.5 გენერატორები და ძრავები 287

31.6 გრიგალური დენები 291

32 ინდუქციურობა 297

32.1 თვითინდუქცია და ინდუქციურობა 297

32.2 RL წრედი 299

32.3 მაგნიტური ველის ენერგია 303

32.4 ურთიერთინდუქციურობა 305

32.5 ოსცილაციები LC წრედებში 306

32.6 RLC წრედი 311

33 ცვლადი დენის წრედები 317

33.1 ცვლადი დენის წყაროები 318

33.2 წინაღობა ცვლადი დენის წრედში 318

33.3 ინდუქტორი ცვლადი დენის წრედში 321

33.4 კონდენსატორი ცვლადი დენის წრედში 323

33.5 მიმდევრობით შეერთებული წინააღობის, ინდუქტორის და კონდენსატორის (RLC) წრედი 326

33.6 სიმძლავრე ცვლადი დენის წრედში 329

33.7 რეზონანსი RLC წრედში 331

33.8 ტრანსფორმატორი და სიმძლავრის

გადაცემა 333

33.9 გამმართველები და ფილტრები 336

34 ელექტრომაგნიტური ტალღები 341

34.1 წანაცვლების დენი და ამპერის კანონის ზოგადი სახე 342

34.2 მაქსველის განტოლებები და ჰერცის ექსპერიმენტი 344

34.3 ბრტყელი ელექტრომაგნიტური ტალღები 346

34.4 ელექტრომაგნიტური ტალღების მიერ გადატანილი ენერგია 350

34.5 იმპულსი და რადიოაქტიური წნევა 352

34.6 ელექტრომაგნიტური ტალღების წარმოქმნა ანტენების გამოყენებით 354

34.7 ელექტრომაგნიტური ტალღების სპექტრი 355

ავტორების შესახებ



ჯონ ვ. ჯევეტი მიიღო ფიზიკის ბაკალავრის დიპლომი დრექსელის უნივერსიტეტში და დოქტორის ხარისხი ოჰაიოს სახელმწიფო უნივერსიტეტში, სპეციალობით მყარი სხეულების მაგნიტური და ოპტიკური თვისებები. დოქტორმა ჯევეტმა თავისი აკადემიური კარიერა დაიწყო რიჩარდ სტოკტონის კოლეჯში, ნიუ ჯერსი, სადაც იგი ასწავლიდა 1974–1984 წლებში. ამჟამად იგი კალიფორნიის სახელმწიფო პოლიტექნიკური უნივერსიტეტის, პომონა, ემერიტუს პროფესორია. მისი აკადემიური კარიერის განმავლობაში დოქტორი ჯევეტი აქტიურად იყო ჩართული საბუნებისმეტყველო განათლების განვითარების საკითხებში. იგი არის ოთხი ეროვნული სამეცნიერო გრანტის მფლობელი. ამის გარდა, მისი დახმარებით და ხელმძღვანელობით დაფუძნდა სამხრეთ კალიფორნიის რეგიონის თანამედროვე ფიზიკის ინსტიტუტი (SCAMPI) და საბუნებისმეტყველო ინსტიტუტი IMPACT (თანამედროვე პედაგოგიკისა და კრეტიული სტავლების ინსტიტუტი), რომლებიც თანამშრომლობენ პედაგოგებთან და სკოლებთან საბუნებისმეტყველო მეცნიერების ეფექტური სასწავლო პროგრამების შემუშავების საკითხებში. დოქტორი ჯევეტის ჯილდოები მოიცავს ოთხ დამსახურებული მოღვაწის და პროფესიული განვითარების ჯილდოებს, სტოკტონ მერიტ ჯილდოს რიჩარდ სტოკტონის კოლეჯში 1980 წელს, 1991/1992 წლებში კალიფორნიის სახელმწიფო პოლიტექნიკური უნივერსიტეტის დამსახურებული პროფესორის წოდებას, და 1998 წელს ამერიკის ფიზიკის პედაგოგთა ასოციაციის (AAPT) ჯილდო საბაკალავრო საფეხურის საუკეთესო ფიზიკის პედაგოგი. მას შესრულებული აქვს 90–ზე მეტი საჯარო გამოსვლა როგორც ამერიკის შეერთებულ შტატებში, ასევე მის ფარგლებს გარეთ, მათ შორის რამდენიმე მოხსენება ეროვნულ შეკრებაზე AAPT–ში. დოქტორი ჯევეტი არის ავტორი წიგნის *“The World of Physics: Mysteries, Magic, and Myth,”* რომელიც აკავშირებს ფიზიკას ყოველდღიურ გამოცდილებებთან. იგი თანაავტორია: წიგნის *“Physics for Scientists and Engineers”*, ასევე წიგნის *“Principles of Physics: A Calculus-Based Text”*, ოთხტომეულის უმაღლესი სკოლებში საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების ინტეგრირების დამხმარე ინსტრუქციების სახელმძღვანელო. დოქტორ ჯევეტის ჰობია ელექტრონულ სინთეზატორზე დაკვრა თავის ფიზიკოს ბენდთან ერთად, მოგზაურობა, წყალქვეშა ფოტოგრაფია, სირბილი, და უნიკალური ანტიკური სამედიცინო ხელსაწყოების შეგროვება, რომელიც შეისაძლებელია ფიზიკის ლექციებზე სადემონსტრაციო ჩვენებებისთვის. ყველაზე მნიშვნელოვანი, იგი სიამოვნებით ატარებს თავისუფალ დროს მეუღლესთან ლიზასთან, შვილებთან და შვილიშვილებთან ერთად.



რეიმონდ ა. სერვეი მიენიჭა დოქტორის ხარისხი ილინოისის ტექნოლოგიურ ინსტიტუტში. ამჟამად იგი არის ჯეიმს მედისონის უნივერსიტეტის ემერიტუსი პროფესორი. მან 1990 წელს მიიღო მედისონის სამეცნიერო ჯილდო ჯეიმს მედისონის უნივერსიტეტში, სადაც იგი ასწავლიდა 17 წლის განმავლობაში. დოქტორმა სერვეიმ თავისი პედაგოგიური კარიერა დაიწყო კლარკსონის უნივერსიტეტში, სადაც იგი 1967–1980 წლებში ეწეოდა როგორც პედაგოგიურ, ასევე სამეცნიერო მოღვაწეობას. 1977 წელს კლარკსონის უნივერსიტეტში მას გადაეცა დამსახურებული პედაგოგის ჯილდო, 1985 წელს კურსდამთავრებულთა მიღწევებისთვის უტიკას კოლეჯის ჯილდო. IBM–ის კვლევით ლაბორატორიაში, ციურიხი, შვეიცარია, მოწვეული მეცნიერის სტატუსით იგი მუშაობდა 1987 წლის ნობელის პრემიის ლაურეატ, ალექს მიულერთან ერთად. დოქტორი სერვეი ასევე იყო მოწვეული მეცნიერი არგონის ნაციონალურ ლაბორატორიაში, სადაც იგი თანამშრომლობდა თავის პედაგოგთან და შემდეგ უკვე მეგობართან დოქტორ სემ მარშალთან. დოქტორი სერვეი არის მრავალი წიგნის თანაავტორი: *“College Physics”*, *“Principles of Physics: A Calculus-Based Text”*, *“Essentials of College Physics”*, *“Modern Physics”*, და უმაღლესი სკოლების ფიზიკის სახელმძღვანელო. ასევე, დოქტორ სერვეის გამოქვეყნებული აქვს 40–ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომი მყარი სხეულების ფიზიკაში და წარმოდგენილი აქვს 60–ზე მეტი პროფესიული მოხსენება. დოქტორ სერვეის და მის მეუღლეს ელიზაბეტს მოსწონთ მოგზაურობა, გოლფის თამაში, თევზაობა, მებაღეობა, საეკლესიო სიმღერა, და რატქმანუნდა განსაკუთრებით დროის გატარება თავიანთ ოთხ შვილთან და ცხრა შვილიშვილთან ერთად.

წინამდებარე წიგნის მერვე გამოცემის მომზადებისას შევეცადეთ მეტი სიცხადით წარმოგვეჩნა მასალა და ჩავვერთო ახალი პედაგოგიური ელემენტები, რაც ჩვენი აზრით როგორც სტუდენტებს, ასევე პროფესორებს დაეხმარება სწავლის და სწავლების პროცესებში. მეშვიდე გამოცემის მომხმარებლების, პროფესორების, სტუდენტების, რეცენზენტების გამოხმაურებებისა და წინადადებების გათვალისწინებით გავაუმჯობესეთ ტექსტი სტუდენტების და პედაგოგების მოთხოვნების უკეთ დასაკმაყოფილებლად.

ეს სახელმძღვანელო განკუთვნილია ფიზიკის საფუძვლების შესასწავლად საბუნებისმეტყველო მეცნიერებისა და ინჟინერიის სპეციალობის სტუდენტებისთვის. წიგნის სრული მოცულობა შესაძლებელია წარმოდგენილი იყოს სამსემესტრიანი კურსის სახით, ასევე შესაძლებელია დაიყოს უფრო მცირე ნაწილებად, ზოგიერთ თავების და პარაგრაფების გამოტოვებით. კურსზე დარეგისტრირებული სტუდენტების მათმატიკური ცოდნა უნდა მოიცავდეს მათემატიკური აღრიცხვის (კალკულუსი) საფუძვლებს. თუ ეს არ არის შესაძლებელი, სტუდენტმა უნდა აირჩიოს მათემატიკური აღრიცხვის საფუძვლების შესაბამისი კურსები.

შენიშვნა წინამდებარე სახელმძღვანელო წარმოადგენს სრული წიგნის პირველი ნაწილის, მექანიკის თარგმანს და შესაძლებელია სტუდენტებსთვის შეთავაზებული იყოს ერთ სემესტრის განმავლობაში (ქართული რედ.)

მიზნები

ფიზიკის საფუძვლების ამ სახელმძღვანელოს გააჩნია ორი ძირითადი მიზანი: სტუდენტს მისცეს ფიზიკის ძირითადი ცნებებისა და კანონების მკაფიო და ლოგიკური ცოდნა და განუვითაროს ფიზიკის კანონების გაცნობიერება მრავალფეროვანი და საინტერესო პრაქტიკული მაგალითების დემონსტრირებით. ამ მიზნის მისაღწევად გამოკვეთილად ვიყენებთ სტუდენტის საკუთარ გამოცდილებაზე დაფუძნებული ცოდნის და ამოცანის ამოხსნის მეთოდოლოგიას. ამავდროულად, ვცდილობთ გავზარდოთ სტუდენტის მოტივაცია პრაქტიკული მაგალითების დემონსტრირებით, რომლებიც უკეთ გამოხატავენ ფიზიკის როლს სხვადასხვა დარგებში, როგორიცაა მაგალითად ინჟინერია, ქიმია და მედიცინა.

შინაარსი

ეს სახელმძღვანელო წარმოადგენს სრული წიგნის პირველი ნაწილის, მექანიკის ქართულ თარგმანს და მოიცავს კლასიკური მექანიკის საკითხებს.

ტექსტის თავისებურებები

ბევრი პედაგოგი თვლის, რომ კურსისთვის შერჩეული სახელმძღვანელო უნდა წარმოადგენდეს მოცემული საგნის შესასწავლად სტუდენტის ძირითად სასწავლო ლიტერატურას. ამის გარდა, სახელმძღვანელო უნდა იყოს ადვილად ხელმისაწვდომი, უნდა იყოს სწავლებისა და სწავლისთვის მაქსიმალურად მოხერხებულად შედგენილი და გაფორმებული. ამ მოსაზრებების გათვალისწინებით ტექსტში მრავლადაა ჩართული პედაგოგიური თავისებურებები, რომლებიც განკუთვნილია როგორც სტუდენტებისთვის, ასევე პედაგოგებისთვის მასალის ათვისებისა და წარმოჩენის ეფექტურობის გასაუმჯობესებლად.

რამოდენიმე სიტყვით ვისაუბრებთ სტუდენტებისთვის სასარგებლო რჩევებზე, რომელიც წიგნის მასალის უკეთ ათვისებაში დაგეხმარებათ.

როგორ ვისწავლოთ

სტუდენტები პედაგოგებს ხშირად ეკითხებიან “როგორ უნდა ვისწავლოთ ფიზიკა და როგორ უნდა მოვემზადოთ გამოცდებისათვის?” ამ კითხვაზე მარტივი პასუხი არ არსებობს, მაგრამ ჩვენ შეგვიძლია მოგცეთ რამოდენიმე რეკომენდაცია, რომელიც დაფუძნებულია ფიზიკის სწავლისა და სწავლების ჩვენს მრავალწლიანი გამოცდილებაზე.

პირველი და უმნიშვნელოვანესი ფაქტორია ფიზიკის საგნის მიმართ დადებითი განწყობის შენარჩუნება და იმის გაცნობიერება, რომ ფიზიკა არის საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებს შორის ყველაზე ფუნდამენტური. სხვა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებები ძირითადად იყენებენ იგივე ფიზიკის კანონებს. ამიტომ, მნიშვნელოვანია კარგად გაერკვეთ ამ სახელმძღვანელოში მოყვანილ სხვადასხვა ცნებებსა და თეორიებში და შეძლოთ მათი გამოყენება ამოცანების ამოხსნისას.

ცნებები და კანონები

სანამ შეუდგებით კონკრეტული ამოცანების ამოხსნას, თავდაპირველად მნიშვნელოვანია საფუძვლიანად გაერკვეთ ფიზიკის ცნებებისა და კანონები. უკეთესი შედეგი გექნებათ თუ ლექციაზე დასწრებამდე ყურადღებით წაიკითხავთ სალექციო თემის შესაბამის ტექსტს. მასალის კითხვისას უნდა მონიშნოთ ის ადგილები, რომლებიც თქვენთვის გაუგებარია. არ გამოტოვოთ ტექსტში ჩართული შეკითხვები. ჩვენ შევეცადეთ შეგვედგინა ისეთი შეკითხვები, რომლებიც დაგეხმარებათ თვითშეფასებაში, თუ რამდენად კარგად გაიგეთ კონკრეტული მასალა. ყურადღებით შეისწავლეთ “რა მოხდებოდა თუ?” შემთხვევები, რომლებიც ხშირად შეგხვდებათ მაგალითებში. ეს დაგეხმარებათ რიცხვითი შედეგის მისაღებად მარტივი გამოთვლების მიღმა კიდევ უფრო მეტად გაიფართოვოთ თქვენი ცოდნა. გაფრთხილებები ასევე დაგეხმარებათ თავი აარიდოთ ფიზიკის შესახებ გავრცელებულ მცდარ წარმოდგენებს. ლექციაზე ჩაინიშნეთ და დასვით შეკითხვები იმ თემების ირგვლივ, რომლებიც თქვენთვის გაუგებარია. გახსოვდეთ, რომ იშვიათად თუ ვინმეს შეუძლია აითვისოს სამეცნიერო მასალა სრულად მხოლოდ ერთი წაკითხვით. აუცილებლად დაგჭრდებათ მასალის რამდენჯერმე წაკითხვა და თქვენი შენიშვნების გაკეთება. წიგნის თანმდევი ლექციები და ლაბორატორიული სამუშაოები დაგეხმარებათ მასალის უკეთ ათვისებასა და რთულ საკითხებში გარკვევაში.

მინიმუმამდე დაიყვანეთ მასალის დაზეპირება. ტექსტის ნაწყვეტების, განტოლებების, და შედეგების მხოლოდ დამახსოვრება არ განსაზღვრავს, რომ თქვენ მასალა შეისწავლეთ. თქვენს ცოდნას გააძლიერებს სწავლის ეფექტური ჩვევები, სხვა სტუდენტებთან და პედაგოგთან დისკუსიები, და სახელმძღვანელოში მოცემული სავარჯიშოების ამოხსნა. დასვით შეკითხვები ყოველთვის, როცა თვლით, რომ რომელიმე საკითხი საჭიროებს უფრო მეტ დაზუსტებას და გარკვევას.

სწავლის განრიგი

მნიშვნელოვანია შეადგინოთ რეგულარული სწავლის განრიგი, უკეთესია ყოველდღიური. აუცილებლად გაეცანით კურსის სილაბუსს და გაითვალისწინეთ პედაგოგის მიერ შედგენილი განრიგი. ლექციაზე მიღებული ცოდნა ცაცილებით ეფექტური იქნება, თუ თქვენ ლექციაზე დასწრებამდე წინასწარ გაეცნობით მასალას. როგორც წესი, აუდიტორიაში გატარებულ ყოველ ერთ საათზე თქვენ უდნა იანგარიშით მინიმუმ ორი საათი სწავლის დრო. თუ გექნებათ გარკვეული პრობლემები კურსთან დაკავშირებით, აუცილებლად მიმართეთ პედაგოგს კონსულტაციებისთვის ან სხვა სტუდენტებს, რომლებსაც უკვე გავლილი აქვთ ეს კურსი. შეიძლება დაგჭირდეთ უფრო მეტი კონსულტაციები გამოცდილ სტუდენტებთან. ხშირად პედაგოგები სტუდენტებს სთავაზობენ დამატებით კურსის მოკლე მიმოხილვას ლექციებს მიღმა. ერიდეთ გამოცდამდე ერთ ან ორი დღით ადრე სწავლის დაწყებას. ასეთ მიდგომას ხშირად ძალიან ცუდი შედეგი მოაქვს. სესიების წინ მთელი ღამის მეცადინეობის ნაცვლად თქვენ შეგიძლიათ მხოლოდ გადაიმეოროთ ძირითადი ცნებები, კანონები და გამოცდის წინ უბრალოდ დაისვენოთ. თუ თქვენ დარწმუნებული ხართ, რომ გჭირდებათ დამატებითი დახმარება თეორიულ საკითხებში ან ამოცანების ამოხსნაში ჩვენ გთავაზობთ დამატებით შეიძინოთ სტუდენტების სახელმძღვანელო წიგნი Student Solutions Manual/Study Guide რომელიც ამ სახელმძღვანელოს დამატებაა.

ეწვიეთ Physics for Scientists and Engineers ვებ გვერდს www.cengage.com/physics/serway რათა იხილოთ სტუდენტებისთვის ზოგიერთი დამატებით მაგალითები.

შესაძლებლობების გამოყენება

მაქსიმალურად უნდა გამოიყენოთ წინასიტყვაობაში აღნიშნული ტექსტის შესაძლებლობები. მაგალითად, ტექსტის კიდეებში მოთავსებული შენიშვნები გამოგადგებათ სწრაფად მოიძიოთ მნიშვნელოვანი ცნებები და კანონები. **მსხვილი** შრიფტით მოცემული ტექსტი მიგანიშნავთ მნიშვნელოვან განსაზღვრებებზე. ტექსტში ჩართულია ბევრი მნიშვნელოვანი ცხრილური მონაცემები, რომელიც შემდეგ გამოიყენება ამოცანებში.

კონკრეტული თავის წაკითხვის შემდეგ უნდა შეძლოთ ამ თავში შემოტანილი ნებისმიერი ახალი სიდიდის განსაზღვრა, და იმ პრინციპების და ვარაუდების გარჩევა, რომელსაც ვიყენებდით კონკრეტული განტოლების მისაღებად.

თავის ბოლოს მოცემულია შეჯამება, რომელიც დაგეხმარებათ გაიმეოროთ თავში მოცემული ძირითადი ცნებები და კანონები. თქვენ უნდა შეძლოთ ყოველი ფიზიკური სიდიდისთვის იხმართოთ ის კონკრეტული სიმბოლო, რომელიც ამ სიდიდის გამოსახატავად გამოიყენება და ის განზომილება, რომლითაც ეს სიდიდე ხასიათდება. გარდა ამისა, უნდა შეგეძლოთ მნიშვნელოვანი განტოლებები გამოსახოთ ზუსტი და კომპაქტური სახით.

ამოცანების ამოხსნა

ნობელის პრემიის ლაურეატი ფიზიკაში რიჩარდ ფეიმანი ამბობდა „სანამ არ გაქვს გამოცდილება, არაფერი არ იცი“. ამ გამონათქვამის გათვალისწინებით გირჩევთ გამოიმუშაოთ ამოცანების ამოხსნისთვის აუცილებელი უნარ-ჩვევები. ფიზიკის ცოდნის ერთერთი მთავარი შეფასებაც სწორედ ამოცანების ამოხსნის თქვენი უნარი იქნება. შესაბამისად უნდა ეცადოთ ამოხსნათ რაც შეიძლება ბევრი ამოცანა. ამოცანის ამოხსნამდე მთავარია კარგად გესმოდეთ ფიზიკის ის ძირითადი კანონები და პრინციპები, რაც ამ ამოცანის ამოხსნისთვის დაგჭირდებათ. კარგი იქნება თუ შეეცდებით ერთი და იგივე ამოცანის სხვადასხვა გზით ამოხსნას. მაგალითად, მექანიკის ამოცანების ამოხსნა შესაძლებელია ნიუტონის კანონების გამოყენებით, მაგრამ ალტერნატიული მეთოდი ენერგიების გათვალისწინებით შეიძლება უფრო მოხერხებული იყოს. თავი არ უნდა მოიტყუოთ, რომ გესმით ამოცანა, რაკი ის აუდიტორიაში ამოხსენით. თქვენ უნდა შეგეძლოთ იგივე ამოცანის და მსგავსი ამოცანების დამოუკიდებლად ამოხსნა.

ამოცანის ამოხსნისთვის მიდგომა კარგად უნდა დაიგეგმოს. მნიშვნელოვანია სისტემური მიდგომა, განსაკუთრებით როცა ამოცანა მოიცავს რამდენიმე კონცეფციას. უპირველეს ყოვლისა, წაიკითხეთ ამოცანის პირობა რამდენჯერმე, სანამ არ დარწმუნდებით, რომ კარგად გესმით ამოცანის პირობა. დააკვირდით ყველა მანიშნებელ სიტყვას, რომელიც დაგეხმარებათ ამოცანის გააზრებაში. კითხვის სწორი გააზრების უნარი არის ამოცანის ამოხსნის ერთერთი მნიშვნელოვანი ნაწილი. მეორე, უნდა გამოიმუშაოთ უნარი ამოწეროთ ამოცანის პირობაში მოცემული სიდიდეების მნიშვნელობები და საძიებელი ცვლადები. მაგალითად, შეგიძლიათ შეადგინოთ ცხრილი როგორც მოცემული, ასევე საძიებელი სიდიდეებისთვის. ეს პროცედურა წიგნის სავარჯიშოებშია გამოყენებული. და ბოლოს, როცა გადაწყვეტთ, რომ თქვენს მიერ შერჩეული მეთოდი გამოდგება ამოცანის ამოხსნელად დაიწყეთ ამოხსნა. ამოცანის ამოხსნის ზოგადი სტრატეგია დაგეხმარებათ რთული ამოცანების ამოხსნაში. თუ მიყვებით რჩევებს საფეხურების მიხედვით (კონცეფცია, კლასიფიცირება, ანალიზი, დასკვნა) ნახავთ, რომ ადვილად მიხვალთ პასუხამდე. ეს სტრატეგია მოცემულია მეორე თავის ბოლოს და გამოყენებულია წიგნის დანარჩენი თავების ყველა სავარჯიშოში. ამ სავარჯიშოების გარჩევით შეგიძლიათ ამოცანებს ამოხსნის სტრატეგიის გამოყენება. ამოცანის ამოხსნის კერძო სტრატეგიები და მოდელები კონკრეტული თემატური ამოცანებისთვის ასევე მოცემულია ტექსტში შესაბამის თავებში. ეს კერძო სტრატეგიები იმეორებენ ამოცანის ამოხსნის ძირითადი სტრატეგიის ეტაპებს.

ხშირად, სტუდენტებს ეშლებათ რომელიმე კონკრეტული განტოლების ან ფიზიკური კანონის გამოყენების არე და შეზღუდვები. ძალიან მნიშვნელოვანია, რომ გაიაზროთ და დამახსოვროთ ის მიახლოებები, რომლის დროსაც შესაძლებელია კონკრეტული თეორიის ან ფორმალიზმის გამოყენება. მაგალითად, ზოგიერთი კინემატიკური განტოლება გამოიყენება მხოლოდ მუდმივი აჩქარებით მოძრავი ნაწილაკებისთვის. ეს განტოლებები არ გამოდგება იმ შემთხვევაში, როცა ნაწილაკის აჩქარება არ არის მუდმივი, მაგალითისთვის ზამბარაზე მიმაგრებული სხელი მოძრაობა, ან სხეულის მოძრაობა ფლუიდში (სითხესა ან აირში). დავიკრებით შეისწავლეთ ყოველი თავის ბოლოს მოცემული ამოცანის ამოხსნის ანალიზური მოდელები, რათა მომავალში ადვილად შეძლოთ ამ მოდელების გამოყენება კონკრეტული ამოცანის ამოხსნისას. ანალიზური მოდელები შეგიქმნიან ამოცანის ამოხსნის ლოგიკურ სტრუქტურას და თქვენში განავითარებენ როგორც ფიზიკოსის აზროვნების უნარებს. გამოიყენეთ ანალიზური მოდელები საჭირო განტოლების ძიებისთვის დროის დასაზოგად და გახდით უფრო სწრაფი და ეფექტური ამოცანების ამოხსნებში.

ექსპერიმენტი

ფიზიკა არის მეცნიერება, რომელიც ეფუძნება ექსპერიმენტალურ დაკვირვებებს. ამიტომ, გირჩევთ შეავსოთ ტექსტი სხვადასხვა ტიპის მცირე ექსპერიმენტებით სახლში ან ლაბორატორიაში. ეს ექსპერიმენტები შეიძლება გამოიყენოთ აუდიტორიაში განხილული ან ტექსტში მოყვანილი იდეებისა თუ მოდელების სისწორის შესამოწმებლად. მაგალითად, ელასტიკური ზამბარა (Slinky toy) კარგი მაგალითია გამრბენი ტალღების შესასწავლად, გრძელ კანაფის თოვზე ჩამოკიდებული ბურთულა შეიძლება გამოიყენოთ რხევით მოძრაობის შესასწავლად, ვერტიკალურ ზამბარაზე სხვადასხვა სიმძიმეების ჩამოკიდებით დააკვირდებით დრეკადობის თვისებებს, ძველი მზის სათვალეების, ძველი ლინზების და გამადიდებელი შუშების გამოყენება შეიძლება ოპტიკური ცდების ჩასატარებლად, თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მიახლოებით გაზომვა შესაძლებელია ჩვეულებრივი წამშომით რაღაც სიმაღლიდან იატაკამდე ბურთის ჩამოვარდნისათვის საჭირო დროის გაზომვით. ასეთი ექსპერიმენტების სია შეიძლება უსასრულოდ გაგრძელდეს. თუ კონკრეტულ სიტუაციაში ფიზიკური მოდელი არ არსებობს, შეეცადეთ წარმოიდგინოთ და შექმნათ მოდელი თქვენ თვითონ.

მეცნიერი არ შეისწავლის ბუნებას იმიტომ, რომ ეს არის სასარგებლო; იგი სწავლობს, რადგან იგი აღფრთოვანებულია, და იგი აღფრთოვანებულია, რადგან ბუნება ლამაზია. თუ ბუნება არ იქნებოდა ლამაზი, არ ელირებოდა მისი შესწავლა, და თუ არ ელირებოდა ბუნების შესწავლა, არ ელირებოდა არც ცხოვრება.

— ჟიულ ანრი პუანკარე