

Odabrana poglavlja Fizike

Optika i Toplota

Predrag Marinković i Peđa Mihailović

Četvrti izdanje
Septembar 2017.

Dr Predrag Marinković i dr Peđa Mihailović

ODABRANA POGLAVLJA FIZIKE

Optika i Toplota

Recenzenti

Dr Milan Tadić

Dr Jovan Cvetić

Izdavač

AKADEMSKA MISAO

Beograd

Odlukom Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu ova knjiga je odobrena kao nastavni materijal na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu.

Štampa

Akademski misao, Beograd

Tiraž

300 primeraka

ISBN 978-86-7466-708-8

NAPOMENA: Fotokopiranje ili umnožavanje na bilo koji način ili ponovno objavljivanje ove knjige u celini ili u delovima - nije dozvoljeno bez saglasnosti i pismenog odobrenja izdavača.

Sadržaj

1 Umesto predgovora	3
2 Optika	5
2.1 Maksimalne jednačine	6
2.2 Svetlost kao transverzalni talas	9
2.3 Pointingov vektor i iradijansa	11
2.4 Elektromagnetni spektar	12
2.5 Sferni i cilindrični talasi	14
2.6 Svetlost kao skup fotona	15
2.7 Svetlost u dielektricima i indeks prelamanja	17
2.8 Fermaov princip i geometrijska optika	18
2.9 Tanka sočiva i ogledala	21
2.10 Polarizacija svetlosti	29
2.11 Frenelovi koeficijenti	31
2.12 Talasna optika	35
2.13 Interferencija	36
2.14 Difrakcija	41
3 Temperatura i toplota	49
3.1 Temperatura i termička ravnoteža	49
3.1.1 Temperatura	49
3.1.2 Termička ravnoteža i nulti zakon termodinamike	50
3.1.3 Termometri i skala temperature	52
3.2 Termičko širenje	55
3.2.1 Površinsko širenje	57
3.2.2 Zapreminsko širenje	58
3.2.3 Termičko naprezanje materijala	59
3.2.4 Širenje tečnih tela pri zagrevanju	61
3.3 Količina toplote	62
3.3.1 Definisanje pojma količine toplote	62

3.3.2	Specifična toplota	63
3.3.3	Pravilo Dilong-Prta	65
3.4	Kalorimetrija	65
3.4.1	Promena faze	66
3.4.2	Isparavanje	69
3.4.3	Pritisak pare	70
3.4.4	Ključanje	72
3.5	Zadaci	74
3.6	Rešenja	75
4	Veličine stanja i jednačine stanja	77
4.1	Veličine stanja	77
4.1.1	Zapremina	77
4.1.2	Pritisak	78
4.2	Gej-Lisakov i Šarlov zakon	79
4.3	Bojl-Mariotov zakon	80
4.4	Jednačina stanja idealnog gasa	81
4.5	p-V dijagrami i realni gasovi	82
4.6	Van der Valsova jednačina stanja	84
4.7	Zadaci	88
4.8	Rešenja	89
5	Kinetička teorija idealnog gasa	91
5.1	Pritisak gasa na zidove suda	92
5.2	Daltonov zakon	96
5.3	Efektivna brzina molekula	98
5.4	Maksvelova raspodela brzina molekula	100
5.5	Bolcmanova raspodela	110
5.6	Sudari molekula	113
5.7	Difuzija	118
5.8	Viskoznost	120
5.9	Specifična toplota	120
5.9.1	Specifična toplota gasova i princip ekviparticije	120
5.9.2	Specifična toplota čvrstih tela	123
5.10	Zadaci	124
5.11	Rešenja	126
6	Prvi princip termodinamike	133
6.1	Osnovni pojmovi	133
6.1.1	Rad gasa tokom promene zapremine sistema	135
6.1.2	Put	137

6.1.3	Prenos toplote tokom promene zapremine	138
6.1.4	Unutrašnja energija i prvi princip termodinamike	139
6.1.5	Unutrašnja energija u kružnom procesu	143
6.1.6	Specifična toplota idealnog gasa	144
6.1.7	Termodinamički procesi	147
6.1.8	Entalpija	153
6.2	Zadaci	156
6.3	Rešenja	157
7	Drugi princip termodinamike	159
7.1	Smer termodinamičkog procesa	159
7.1.1	Reverzibilni i nereverzibilni procesi	160
7.2	Toplotne mašine	161
7.3	Formulacija drugog zakona termodinamike	164
7.3.1	Karnoov ciklus	165
7.3.2	Karnoov rashladni uređaj	167
7.3.3	Toplotna pumpa	169
7.3.4	Karnoov ciklus i drugi princip termodinamike	170
7.3.5	Ostale formulacije drugog principa termodinamike	171
7.3.6	Redukovana količina toplote	172
7.4	Entropija	172
7.4.1	Entropija i kružni ciklus	175
7.4.2	Entropija kod ireverzibilnog procesa	176
7.4.3	Entropija i drugi princip termodinamike	177
7.4.4	Statistički pogled na entropiju	178
7.4.5	Treći princip termodinamike	182
7.5	Primeri toplotnih motora	183
7.5.1	Motori sa unutrašnjim sagorevanjem	183
7.5.2	Turbine	185
7.5.3	Rankinov ciklus	186
7.5.4	Ciklus gasne turbine	191
7.6	Zadaci	194
7.7	Rešenja	197
8	Prenošenje toplote	205
8.1	Mehanizmi prenošenja toplote	205
8.2	Kondukcija	205
8.2.1	Furijev zakon	205
8.2.2	Furijeova jednačina	213
8.2.3	Puasonova jednačina	213

8.2.4	Laplasova jednačina	213
8.2.5	Stacionarno provođenje toplote kroz ravan zid	213
8.2.6	Termička otpornost	219
8.3	Konvekcija	219
8.3.1	Njutnov zakon za konvekciju	220
8.3.2	Prolaženje toplote	221
8.4	Zračenje	222
8.4.1	Štefan-Bolzmannov zakon	223
8.5	Zadaci	227
8.6	Rešenja	229

Poglavlje 1

Umesto predgovora

Onaj ko pretenduje da bude inženjer, intelektualac, i ima potrebu da pročita ovu knjigu, uvek mora da ima na umu:

VASA VACUA MAXIME SONANT

(Prazne posude najjače zvone)

VIVERE TOTA VITA DISCENDUM EST

(Čovek uči dok je živ)

SCIO NIHIL SCIO

(Znam da ništa ne znam)

QUI SCRIBIT, BIS LEGIT

(Ko piše, dva puta čita)

TUTUM OMNIA LEGERE, NON OMNIBUS CREDERE

(Sigurno je sve čitati, ali ne i svemu verovati)

Literatura

- [1] L.D. Landau, E. M. Lifshitz. *Electrodynamics of continuous media*. Pergamon Press Inc., New York, 1960.
- [2] Eugene Hecht. *Optics*. Addison Wesley Longman, Inc., Reading, Massachusetts, 1998.
- [3] Konstantin Nikolić, Predrag Marinković, Jovan Cvetić. *Fizika - zbirka rešenih zadataka*. DN centar, Beograd, 2001.
- [4] Predrag Marinković *Fizika 1 - skripta*. Autorsko izdanje, Beograd, 2012.
- [5] V. Georgijević, J. Cvetić, B. Stanić, J. Ilić, P. Marinković, Lj. Brajović, Z. Trifković, J. Jovanović, K. Nikolić, S. Kočinac, B. Lončar, P. Osmokrović, S. Ostojić, D. Stanković, R. Šašić, A. Vasić, J. Georgijević, T. Konjajev-Mihajlidi, M. Mitri-nović, *Predavanja iz Fizike*. Građevinski fakultet, Beograd, 2005.
- [6] B. E. A. Saleh, M. C. Teich. *Fundamentals of photonics*. John Wiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2007.
- [7] David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker. *Fundamentals of Physics*. Wiley India Pvt. Limited, 2008.

Indeks

- $\kappa = c_p/c_V$, 146
- $p - V$ dijagram, 82
- Šarlov zakon, 79
- Širenje
 - tečnih tela, 61
 - linearno, 55
 - površinsko, 57
 - zapreminsko, 58
- Šnelov zakon, 19, 20, 33, 35
- Štefan Bolcmanov zakon, 14
- Štefan-Bolzmanov zakon, 223
- Žiža, 23, 25
- Žižna daljina, 23–25

- Amperov zakon, 7
- Anomalija vode, 61
- Apsoluta skala temperature, 55
- Apsolutni pritisak, 78
- Apsolutno
 - belo telo, 224
 - crno telo, 224

- Babineov princip, 44
- Barometarska formula, 110
- Belo usijanje, 223
- Blcmanova raspodela, 112
- Bojl-Mariotov zakon, 80
- Broj stepeni slobode kretanja molekula, 147
- Brusterov ugao, 35

- Celzijusova skala, 53
- Cirkularna polarizacija, 30
- Crveno usijanje, 223

- Daltonov zakon, 97
- Difuziona jednačina, 211
 - u cilindričnoj geometriji, 211
 - u Dekartovim koordinatma, 211
 - u sfernoj geometriji, 212
- Diskrena Bolcmanova raspodela, 113
- Disperzija, 17, 27
- Disperziona relacija, 17
- Donja granična linija, 83
- Drugi Fikov zakon, 119

- Efektivna žižna daljina, 26
- Efektivna brzina molekula, 99
- Ejrijev disk, 46
- Ekviparticioni princip, 122
- Entalpija, 153
- Entalpija idealnog gasa, 155
- Entropija, 173
- Entropija i drugi princip termodinamike, 177
- Entropija i kružni ciklus, 175
- Entropija kod ireverzibilnog procesa, 176

- Faradejev zakon, 7, 10
- Farenhajtova skala, 53
- Faza, 13
- Fluks sudara, 117
- Fotoelektrični efekat, 16
- Foton, 5, 6, 15–18, 30
- Fraunhoferova difrakcija, 42
- Frekvencija sudara, 114

- Frenelova difrakcija, 42
 Furijeov zakon za kondukciju, 208
 Furijeova jednačina, 213

 Gasna konstanta, 81
 Gasna turbina sa zatvorenim ciklusom, 193
 Gasni termometar, 50, 54
 Gausov zakon, 7, 9
 Gausov zakon za magnetnu indukciju, 7
 Gej-Lisakov zakon, 80
 Gornja granična linija, 83
 Grahamov zakon, 118

 Hajgens Frenelov princip, 42
 Harmonijski talas, 9–12, 15, 31, 36
 Hokov zakon, 59

 Idealni gas, 79, 81
 Isparavanje, 69

 Jednačina adijabate
 u $p - V$ koordinatama, 149
 u $T - p$ koordinatama, 149
 u $T - V$ koordinatama, 148
 Jednačina politrope
 u $p - V$ koordinatama, 151
 u $T - p$ koordinatama, 151
 Jednačina stanja, 78
 Jednačina stanja idealnog gasa, 81
 Jednačina tankog sočiva, 25, 27
 Jungov experiment, 39

 Kalorija, 63
 Kalorimetrija, 65
 Kapilarni termometar, 50
 Kelvinova skala temperature, 55
 Kirkofov zakon, 224
 Klauzijusov integral za reverzibilni ciklus, 175
 Klauzijusova jednačina stanja, 85

 Ključanje, 72
 Košijeva jednačina, 17
 Koeficijent
 linearnog širenja, 56
 površinskog širenja, 58
 prelaska toplote, 220
 zapreminskog širenja, 59
 Koeficijent viskoznosti gasova, 120
 Količina toplote, 62
 Kondukcija, 205
 Konkavno, 25
 Konvekcija, 219
 Konveksno, 25
 Koordinate stanja, 77
 Kritična
 tačka, 82
 temperatura, 83
 Kritična temperatura, 83
 Kritični pritisak, 83
 Kružna učestanost, 13

 Laplasova jednačina, 213
 Latentna toplota
 isparavanja, 67
 topljenja, 66
 Linearna polarizacija, 29, 30, 35

 Majerova jednačina, 145
 Majkelsonov interferometar, 38
 Makrostanje sistema, 178
 Maksvelova raspodela brzina, 106
 Maksvelove jednačine, 7
 Malusov zakon, 31
 Mehanički ekvivalent toplote, 62
 Mikrostanje sistema, 178
 Molarna specifična toplota, 64
 politropskog procesa, 152
 pri konstantnom pritisku, 154
 Molarna specifična toplota pri konstantnoj zapremini, 121
 Monohromatske aberacije, 27, 28

- Monohromatski, 13, 30, 37
- Najverovatnija brzina molekula, 107
- Neto snaga zračenja između dva tela, 226
- Neuniformno i nestacionarno provođene toplote, 209
- Njutnov zakon za konvekciju, 220
- Optička dužina puta, 18
- Optička moć sočiva, 25
- Optičko vlakno, 20
- Otov motor, 183
- Para
 - nezasićena, 70
 - prezasićena, 71
 - zasićena, 70
- Parametar haosa, 180
- Parna turbina, 186
- Početna faza, 13
- Polarizator, 30
- Pothlađena vodena para, 68
- Pravilo Dilong-Ptja, 65, 123
- Prenos toplote kroz sferan zid, 218
- Prinudna konvekcija, 220
- Prirodna konvekcija, 220
- Pritisak, 78
- Pritisak zasićene pare, 70
- Prolaženje toplote, 221
- Promena faze, 66
- Promena unutrašnje energije, 144
- Provođenje toplote kroz cilindričnu cev, 216
- Provođenje toplote kroz višeslojni ravani zid, 215
- Prvi Fikov zakon, 118
- Puasonova jednačina, 213
- Rankinov ciklus, 186
- Rankinov ciklus sa suvo-zasićenom vodenom parom, 187
- Ravanski talas, 9, 11–14, 23, 30, 31, 36, 44, 45
- Redukovana količina toplote, 174
- Refleksija, 5, 18, 27, 28, 35, 40
- Reflektansa, 33
- Selimerova jednačina, 17
- Solarna konstanta, 15
- Specifična toplota, 64
 - pri konstantnoj zapremini, 64
 - pri konstantnom pritisku, 64
- Specifična toplota čvrstih tela, 123
- Specifična zapremina, 77, 81
- Srednja dužina slobodnog puta, 115
- Srednja kinetička energija translacionog kretanja, 96
- Srednje vreme između dva sudara molekula, 115
- Stacionarno provođenje toplote kroz ravan zid, 213
- Statistički pogled na entropiju, 178
- Stepen politrope, 151
- Strelna vremena, 178
- Suva para, 84
- Tačka ključanja, 72
- Talasna dužina, 13, 14, 17, 18, 27, 31, 35, 37, 38, 40, 41, 44
- Talasni broj, 12, 46
- Talasni front, 13, 18, 23, 28, 36, 39, 41, 42
- Tehnički rad, 189
- Tehnički rad kod adijabatskog procesa, 190
- Tehnički rad kod politropskog procesa, 190
- Tehnički rad pumpe, 191
- Tehnički rad turbine, 190

- Temperatura, 49
- Termička otpornost, 219, 222
- Termička ravnoteža, 51
- Termička smrt vasiona, 177
- Termički koeficijent gasova, 80
- Termički stepen korisnog dejstva
Brajtonovog ciklusa, 192
parnog postrojenja, 188
- Termički stepen korisnog dejstva
parnog postrojenja
koje radi po Rankinovom
ciklusu, 188
- Termički stepen korisnog dejstva
Rankinovog ciklusa, 187
- Termičko
širenje, 57
naprezanje, 59
naprezanje, 60
- Termodinamička verovatnoća, 180
- Tomson-Džulov efekat, 155
- Toplota, 63
sublimacije, 68
- Totalna unutrašnja reflexija, 20
- Transmisija, 18, 19, 28
- Transmitansa, 34
- Transverzalni električni mod, 32
- Transverzalni magnetni mod, 32
- Treći princip termodinamike, 182
- Trojna tačka, 84
- Van der Valsova jednačina stanja,
86
- Veličine stana, 77
- Veza između stepeni Farenhajta i
stepeni Celzijusa, 53
- Vidljivost interferentnih pruga, 37
- Vinov zakon, 14
- Vlažna para, 83
- Zakon odbijanja, 18
- Zapremina, 77
- Zračenje, 222

Izdavač

Akademski misao

Primorska 21, Beograd

Tel./Fax: +381 11 3218 354

Marko Vujadinović dipl. el. inž.
+381 63 30 10 75
marko.vujadinovic@akademski-misao.rs

Aleksandar Rašković, dipl. el. inž.
+381 63 30 10 65
sasa.raskovic@akademski-misao.rs

www.akademski-misao.rs

office@akademski-misao.rs

СР – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

535(075.8)
536(075.8)

МАРИНКОВИЋ, Предраг, 1951-

Odabrana poglavlja fizike : optika i toplota /
Predrag Marinković i Peđa Mihailović. - Beograd :
Akademski misao, 2017 (Beograd : Akademski
misao). - 237 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 300. - Bibliografija: str. 233. - Registar.

ISBN 978-86-7466-708-8

1. Михаиловић, Пеђа, 1973- [аутор]
а) Оптика б) Топлота
COBISS.SR-ID 250636300
