

# Spis rzeczy

Przedmowa . . . . .	V
Spis tabel zamieszczonych w tekście . . . . .	XXVIII

## MECHANIKA

<b>1. KINEMATYKA . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Opis ruchu . . . . .</b>	<b>3</b>
1.1.1. Układy odniesienia . . . . .	3
1.1.2. Czas . . . . .	8
1.1.3. Długość, powierzchnia, objętość . . . . .	9
1.1.4. Kąt . . . . .	11
1.1.5. Układy mechaniczne . . . . .	13
<b>1.2. Ruch w jednym wymiarze . . . . .</b>	<b>14</b>
1.2.1. Prędkość . . . . .	15
1.2.1.1. Prędkość średnia . . . . .	15
1.2.1.2. Prędkość chwilowa . . . . .	16
1.2.2. Przyspieszenie . . . . .	17
1.2.3. Proste ruchy w jednym wymiarze . . . . .	19
<b>1.3. Ruch w wielu wymiarach . . . . .</b>	<b>22</b>
1.3.1. Wektor prędkości . . . . .	23
1.3.2. Wektor przyspieszenia . . . . .	25
1.3.3. Spadek swobodny i rzut ukośny . . . . .	29
<b>1.4. Ruch obrotowy . . . . .</b>	<b>31</b>
1.4.1. Prędkość kątowna . . . . .	31
1.4.2. Przyspieszenie kątowe . . . . .	33
1.4.3. Prędkość liniowa . . . . .	34
<b>2. DYNAMIKA . . . . .</b>	<b>36</b>
<b>2.1. Podstawowe prawa dynamiki . . . . .</b>	<b>36</b>
2.1.1. Masa i pęd . . . . .	36
2.1.1.1. Masa . . . . .	36
2.1.1.2. Pęd . . . . .	38
2.1.2. Zasady dynamiki Newtona . . . . .	38
2.1.2.1. Zasada bezwładności . . . . .	38
2.1.2.2. Podstawowe prawo dynamiki (druga zasada dynamiki Newtona)	39
2.1.2.3. Siła . . . . .	40
2.1.2.4. Zasada równej akcji i reakcji (trzecia zasada dynamiki Newtona)	41
2.1.2.5. Siły bezwładności . . . . .	42
2.1.2.6. Zasada d'Alemberta . . . . .	43
2.1.2.7. Składanie sił . . . . .	44
2.1.2.8. Rozkład sił na składowe . . . . .	45

2.1.3. Moment pędu . . . . .	47
2.1.4. Moment siły . . . . .	48
2.1.5. Zasady dynamiki dla ruchu obrotowego . . . . .	51
<b>2.2. Siły . . . . .</b>	<b>52</b>
2.2.1. Siła ciężkości . . . . .	52
2.2.2. Siły sprężystości i siły skrętne . . . . .	53
2.2.3. Tarcie . . . . .	55
2.2.3.1. Tarcie statyczne . . . . .	55
2.2.3.2. Tarcie kinetyczne . . . . .	56
2.2.3.3. Tarcie toczne . . . . .	57
2.2.3.4. Tarcie liny . . . . .	58
<b>2.3. Siły bezwładności w obracającym się układzie odniesienia . . . . .</b>	<b>59</b>
2.3.1. Siła dośrodkowa i odśrodkowa . . . . .	59
2.3.2. Siła Coriolisa . . . . .	61
<b>2.4. Praca i energia . . . . .</b>	<b>62</b>
2.4.1. Praca . . . . .	62
2.4.2. Energia . . . . .	64
2.4.3. Energia kinetyczna . . . . .	65
2.4.4. Energia potencjalna . . . . .	66
2.4.4.1. Praca wykonana przez siłę ciężkości . . . . .	66
2.4.4.2. Praca wykonana przy odkształceniu sprężystym . . . . .	67
2.4.5. Praca wykonana przeciwko sile tarcia kinetycznego . . . . .	69
<b>2.5. Moc . . . . .</b>	<b>69</b>
2.5.1. Sprawność . . . . .	70
<b>2.6. Zderzenia . . . . .</b>	<b>71</b>
2.6.1. Zderzenia sprężyste, centralne, proste . . . . .	73
2.6.2. Zderzenia sprężyste, centralne, skośne . . . . .	74
2.6.3. Zderzenie sprężyste skośne (niecentralne) z ciałem pozostającym w spoczynku . . . . .	75
2.6.4. Zderzenia niesprężyste . . . . .	76
2.6.4.1. Zderzenie częściowo niesprężyste . . . . .	76
2.6.4.2. Zderzenie całkowicie niesprężyste . . . . .	77
<b>2.7. Rakiety . . . . .</b>	<b>77</b>
2.7.1. Siła ciągu . . . . .	77
2.7.2. Równanie ruchu rakiety . . . . .	79
<b>2.8. Układ punktów materialnych . . . . .</b>	<b>80</b>
2.8.1. Równania ruchu . . . . .	80
2.8.2. Zasada zachowania pędu . . . . .	82
2.8.3. Zasada zachowania momentu pędu . . . . .	83
2.8.4. Zasada zachowania energii . . . . .	84
<b>2.9. Równania Lagrange'a i Hamiltona . . . . .</b>	<b>85</b>
2.9.1. Równania Lagrange'a i zasada Hamiltona . . . . .	85
2.9.2. Równania Hamiltona . . . . .	87
<b>3. CIAŁA SZTYWNE . . . . .</b>	<b>90</b>
<b>3.1. Kinematyka . . . . .</b>	<b>90</b>
3.1.1. Gęstość . . . . .	90
3.1.2. Środek ciężkości . . . . .	90
3.1.3. Kinematyczne wielkości podstawowe . . . . .	92
<b>3.2. Statyka . . . . .</b>	<b>94</b>

3.2.1. Wektory siły . . . . .	94
3.2.2. Moment siły . . . . .	96
3.2.3. Para sił . . . . .	98
3.2.4. Warunki równowagi statycznej . . . . .	99
3.2.5. Mechanika techniczna . . . . .	101
3.2.5.1. Reakcja podpory . . . . .	101
3.2.5.2. Kratownica . . . . .	102
3.2.6. Maszyny . . . . .	102
3.2.6.1. Dźwignia . . . . .	103
3.2.6.2. Kliny i śruby . . . . .	104
3.2.6.3. Krążki . . . . .	104
<b>3.3. Dynamika ciała sztywnego . . . . .</b>	<b>107</b>
<b>3.4. Moment bezwładności i moment pędu . . . . .</b>	<b>108</b>
3.4.1. Moment bezwładności . . . . .	108
3.4.1.1. Twierdzenie Steinera . . . . .	110
3.4.1.2. Momenty bezwładności brył . . . . .	111
3.4.2. Moment pędu . . . . .	113
3.4.2.1. Równowaga w ruchach obrotowych . . . . .	115
<b>3.5. Praca, energia i moc . . . . .</b>	<b>115</b>
3.5.1. Energia kinetyczna . . . . .	116
3.5.2. Energia potencjalna skręcenia . . . . .	118
<b>3.6. Teoria żyroskopu . . . . .</b>	<b>118</b>
3.6.1. Tensor momentu bezwładności . . . . .	119
3.6.2. Nutacja i precesja . . . . .	121
3.6.2.1. Nutacja . . . . .	121
3.6.2.2. Precesja . . . . .	123
3.6.2.3. Momenty żyroskopowe . . . . .	124
3.6.3. Zastosowania żyroskopów . . . . .	125
<b>4. MIKROMECHANIKA . . . . .</b>	<b>126</b>
4.1. Technologia cienkowarstwowa . . . . .	126
4.2. Technika naświetlania i wytrawiania . . . . .	127
4.3. Zastosowania . . . . .	129
4.3.1. Czujniki . . . . .	129
4.3.2. Elementy wykonawcze (siłowniki) . . . . .	131
4.3.3. Zastosowania techniczne . . . . .	132
<b>5. GRAWITACJA I TEORIA WZGLĘDNOŚCI . . . . .</b>	<b>133</b>
<b>5.1. Pole grawitacyjne . . . . .</b>	<b>133</b>
5.1.1. Prawo powszechnego ciężenia . . . . .	133
5.1.2. Ruchy planet . . . . .	135
5.1.3. Układ Słoneczny . . . . .	137
5.1.3.1. Słońce i planety . . . . .	137
5.1.3.2. Satelity . . . . .	140
<b>5.2. Szczególna teoria względności . . . . .</b>	<b>141</b>
5.2.1. Zasada względności . . . . .	142
5.2.2. Przekształcenie Lorentza . . . . .	144
5.2.2.1. Składanie prędkości . . . . .	147
5.2.3. Efekty relatywistyczne . . . . .	148
5.2.3.1. Skrócenie podłużne . . . . .	148
5.2.3.2. Dylatacja czasu . . . . .	149

5.2.4.	Dynamika relatywistyczna . . . . .	150
5.2.4.1.	Relatywistyczny przyrost masy . . . . .	150
5.2.4.2.	Relatywistyczna energia kinetyczna . . . . .	152
<b>5.3.</b>	<b>Ogólna teoria względności i kosmologia . . . . .</b>	<b>154</b>
5.3.1.	Gwiazdy i galaktyki . . . . .	155
5.3.1.1.	Ewolucja gwiazd . . . . .	156
<b>6.</b>	<b>MECHANIKA CIAŁ ODKSZTAŁCALNYCH . . . . .</b>	<b>158</b>
<b>6.1.</b>	<b>Teoria sprężystości . . . . .</b>	<b>158</b>
6.1.1.	Naprężenie . . . . .	158
6.1.1.1.	Rozciąganie, zginanie, ścinanie, skręcanie . . . . .	160
6.1.2.	Odkształcenie sprężyste . . . . .	161
6.1.2.1.	Wydłużenie . . . . .	161
6.1.2.2.	Odkształcenie poprzeczne . . . . .	163
6.1.2.3.	Wszechstronne ściskanie . . . . .	164
6.1.2.4.	Zginanie pręta (belki) . . . . .	166
6.1.2.5.	Ścinanie . . . . .	170
6.1.2.6.	Skręcanie . . . . .	170
6.1.2.7.	Energia sprężysta . . . . .	172
6.1.3.	Odkształcenie plastyczne . . . . .	173
6.1.3.1.	Zakresy odkształceń przy naprężeniu rozciągającym . . . . .	174
6.1.3.2.	Wyboczenie . . . . .	175
6.1.3.3.	Twardość . . . . .	176
<b>6.2.</b>	<b>Hydrostatyka . . . . .</b>	<b>178</b>
6.2.1.	Ciecze i gazy . . . . .	178
6.2.2.	Ciśnienie . . . . .	178
6.2.2.1.	Ciśnienie wywierane przez tłok . . . . .	180
6.2.2.2.	Ciśnienie hydrostatyczne . . . . .	181
6.2.2.3.	Ścisłość . . . . .	183
6.2.2.4.	Ciśnienie aerostatyczne . . . . .	184
6.2.2.5.	Pompy . . . . .	185
6.2.3.	Wypór . . . . .	188
6.2.4.	Spójność, przyczepność, napięcie powierzchniowe . . . . .	191
6.2.4.1.	Włoskowatość . . . . .	193
<b>6.3.</b>	<b>Dynamika cieczy i gazów . . . . .</b>	<b>194</b>
6.3.1.	Pole przepływu . . . . .	194
6.3.2.	Równania podstawowe przepływu doskonałego . . . . .	195
6.3.2.1.	Równanie ciągłości . . . . .	196
6.3.2.2.	Równanie Eulera . . . . .	199
6.3.2.3.	Prawo Bernoulliego . . . . .	200
6.3.2.4.	Prawo wypływu Torricellego . . . . .	202
6.3.2.5.	Zjawisko zasysania . . . . .	204
6.3.2.6.	Siły działające na ciała opływane . . . . .	205
6.3.3.	Przepływy rzeczywiste . . . . .	207
6.3.3.1.	Lepkość . . . . .	207
6.3.3.2.	Równanie Naviera–Stokesa . . . . .	209
6.3.3.3.	Przepływ laminarny cieczy w nurze . . . . .	210
6.3.3.4.	Opływ kuli . . . . .	212
6.3.3.5.	Równanie Bernoulliego . . . . .	213

6.3.4.	Przepływy burzliwe . . . . .	213
6.3.4.1.	Współczynnik oporu . . . . .	214
6.3.5.	Prawa podobieństwa . . . . .	216
6.3.5.1.	Przepływ w rurach . . . . .	218
6.3.6.	Przepływy ze zmianą gęstości . . . . .	219
<b>7.</b>	<b>DYNAMIKA NIELINIOWA, CHAOS I FRAKTALE . . . . .</b>	<b>221</b>
<b>7.1.</b>	<b>Układy dynamiczne i chaos . . . . .</b>	<b>222</b>
7.1.1.	Układy dynamiczne . . . . .	222
7.1.1.1.	Przestrzeń stanów i przestrzeń fazowa . . . . .	224
7.1.2.	Układy zachowawcze . . . . .	228
7.1.2.1.	Twierdzenie Liouville'a . . . . .	229
7.1.2.2.	Całkowalność . . . . .	229
7.1.3.	Układy dyssypatywne . . . . .	230
7.1.3.1.	Dziwne atraktory, chaos deterministyczny . . . . .	231
<b>7.2.</b>	<b>Bifurkacje . . . . .</b>	<b>232</b>
7.2.1.	Odwzorowanie logistyczne . . . . .	233
7.2.2.	Uniwersalność . . . . .	236
<b>7.3.</b>	<b>Fraktale . . . . .</b>	<b>237</b>
	<b>OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIAŁE MECHANIKA . . . . .</b>	<b>240</b>
<b>8.</b>	<b>TABELE DO DZIAŁU MECHANIKA . . . . .</b>	<b>242</b>
<b>8.1.</b>	<b>Gęstości . . . . .</b>	<b>242</b>
8.1.1.	Ciała stałe . . . . .	242
8.1.1.1.	Stopy metaliczne . . . . .	243
8.1.1.2.	Niemetale . . . . .	244
8.1.2.	Ciecze . . . . .	247
8.1.3.	Gazy . . . . .	249
<b>8.2.</b>	<b>Właściwości sprężyste . . . . .</b>	<b>249</b>
<b>8.3.</b>	<b>Właściwości dynamiczne . . . . .</b>	<b>253</b>
8.3.1.	Współczynniki tarcia . . . . .	253
8.3.2.	Ścisłość . . . . .	255
8.3.2.1.	Gazy . . . . .	255
8.3.2.2.	Ciecze i ciała stałe . . . . .	258
8.3.3.	Lepkość . . . . .	258
8.3.4.	Opór przepływu . . . . .	261
8.3.5.	Napięcie powierzchniowe . . . . .	262
	<b>DRGANIA, FALE, AKUSTYKA I OPTYKA</b>	
<b>9.</b>	<b>DRGANIA . . . . .</b>	<b>265</b>
<b>9.1.</b>	<b>Swobodne drgania nietłumione . . . . .</b>	<b>267</b>
9.1.1.	Wahadło sprężynowe . . . . .	267
9.1.2.	Wahadło . . . . .	270
9.1.2.1.	Drgania i ruch po okręgu . . . . .	272
9.1.3.	Wahadło fizyczne . . . . .	273
9.1.4.	Drgania torsyjne . . . . .	275
9.1.5.	Wahadło cieczowe . . . . .	276
9.1.6.	Elektryczny obwód drgający . . . . .	278

<b>9.2. Drgania tłumione</b> . . . . .	279
9.2.1. Tarcie . . . . .	279
9.2.1.1. Tarcie poślizgowe i tarcie toczne . . . . .	279
9.2.1.2. Opór ośrodka . . . . .	281
9.2.1.3. Tarcie proporcjonalne do kwadratu prędkości . . . . .	283
9.2.2. Tłumiony elektryczny obwód drgający . . . . .	283
<b>9.3. Drgania wymuszone</b> . . . . .	285
<b>9.4. Nakładanie się drgań</b> . . . . .	287
9.4.1. Nakładanie się drgań o tej samej częstotliwości . . . . .	287
9.4.2. Nakładanie się drgań o różnej częstotliwości . . . . .	289
9.4.3. Nakładanie się drgań o różnych kierunkach i różnej częstotliwości . . . . .	290
9.4.4. Analiza fourierowska, rozkład drgań . . . . .	292
<b>9.5. Drgania sprzężone</b> . . . . .	293
<b>10. FALE</b> . . . . .	296
<b>10.1. Podstawowe własności fal</b> . . . . .	296
<b>10.2. Polaryzacja</b> . . . . .	302
<b>10.3. Interferencja</b> . . . . .	303
10.3.1. Spójność . . . . .	303
10.3.2. Interferencja . . . . .	303
10.3.3. Fale stojące . . . . .	305
10.3.3.1. Fale stojące w jednostronnie umocowanym przecięciu . . . . .	306
10.3.3.2. Fale stojące w strunach . . . . .	306
10.3.3.3. Fale stojące w rurze Kundta . . . . .	307
10.3.4. Fale o różnych częstotliwościach . . . . .	308
<b>10.4. Zjawisko Dopplera</b> . . . . .	309
10.4.1. Fala Macha i fale uderzeniowe . . . . .	311
<b>10.5. Załamanie fali</b> . . . . .	311
<b>10.6. Odbicie</b> . . . . .	312
10.6.1. Zależności fazowe . . . . .	313
<b>10.7. Dyspersja</b> . . . . .	313
<b>10.8. Ugięcie</b> . . . . .	314
10.8.1. Ugięcie na szczelinie . . . . .	314
10.8.2. Siatka dyfrakcyjna . . . . .	316
<b>10.9. Modulacja fal</b> . . . . .	317
<b>10.10. Fale na powierzchni cieczy</b> . . . . .	318
<b>11. AKUSTYKA</b> . . . . .	320
<b>11.1. Fale dźwiękowe</b> . . . . .	320
11.1.1. Prędkość dźwięku . . . . .	320
11.1.2. Charakterystyczne wielkości akustyczne . . . . .	322
11.1.2.1. Wychylenie akustyczne . . . . .	323
11.1.2.2. Prędkość akustyczna i opór falowy . . . . .	324
11.1.2.3. Gęstość energii . . . . .	325
11.1.2.4. Natężenie dźwięku i moc akustyczna . . . . .	325
11.1.3. Wielkości niemianowane (bezwymiarowe) . . . . .	326
<b>11.2. Źródła i odbiorniki dźwięku</b> . . . . .	328
11.2.1. Mechaniczne źródła dźwięku . . . . .	328
11.2.1.1. Drgające słupy powietrza . . . . .	329

11.2.2.	Przetworniki elektroakustyczne . . . . .	330
11.2.2.1.	Odbiorniki dźwięku . . . . .	332
11.2.3.	Absorpcja dźwięku . . . . .	334
11.2.4.	Tłumienie dźwięku . . . . .	336
11.2.4.1.	Pogłos . . . . .	337
11.2.5.	Szum przepływu . . . . .	338
<b>11.3.</b>	<b>Ultradźwięki . . . . .</b>	<b>338</b>
<b>11.4.</b>	<b>Akustyka fizjologiczna i słuch . . . . .</b>	<b>339</b>
11.4.1.	Percepcja dźwięku . . . . .	340
11.4.2.	Równoważny poziom dźwięku . . . . .	341
<b>11.5.</b>	<b>Akustyka muzyczna . . . . .</b>	<b>341</b>
<b>12.</b>	<b>OPTYKA . . . . .</b>	<b>345</b>
<b>12.1.</b>	<b>Optyka geometryczna . . . . .</b>	<b>346</b>
12.1.1.	Powstawanie obrazu – podstawowe pojęcia . . . . .	348
12.1.2.	Odbicie . . . . .	351
12.1.2.1.	Zwierciadło płaskie . . . . .	352
12.1.2.2.	Zwierciadło wklęsłe . . . . .	352
12.1.2.3.	Zwierciadło wypukłe . . . . .	355
12.1.3.	Załamanie . . . . .	355
12.1.3.1.	Współczynnik załamania . . . . .	356
12.1.3.2.	Prawo załamania . . . . .	356
12.1.3.3.	Wzory Fresnela . . . . .	357
12.1.3.4.	Tęcza . . . . .	358
12.1.3.5.	Całkowite wewnętrzne odbicie . . . . .	359
12.1.3.6.	Światłowód . . . . .	360
12.1.3.7.	Załamanie w pryzmacie . . . . .	365
12.1.3.8.	Załamanie w płytkach płasko-równoległych . . . . .	367
12.1.3.9.	Załamanie na powierzchniach kulistych . . . . .	368
<b>12.2.</b>	<b>Soczewki . . . . .</b>	<b>369</b>
12.2.1.	Grube soczewki . . . . .	370
12.2.2.	Cienkie soczewki . . . . .	375
<b>12.3.</b>	<b>Układy soczewek . . . . .</b>	<b>376</b>
12.3.1.	Soczewki z przysłonami . . . . .	377
12.3.2.	Wady układu optycznego . . . . .	377
12.3.2.1.	Soczewki gradientowe . . . . .	379
<b>12.4.</b>	<b>Przyrządy optyczne . . . . .</b>	<b>380</b>
12.4.1.	Kamera otworkowa . . . . .	380
12.4.2.	Aparat fotograficzny . . . . .	381
12.4.3.	Oko . . . . .	382
12.4.4.	Oko i przyrządy optyczne . . . . .	383
12.4.4.1.	Lupa . . . . .	383
12.4.4.2.	Mikroskop . . . . .	384
12.4.4.3.	Luneta . . . . .	385
<b>12.5.</b>	<b>Optyka falowa . . . . .</b>	<b>388</b>
12.5.1.	Rozpraszanie . . . . .	388
12.5.2.	Dyfrakcja i ograniczenie zdolności rozdzielczej . . . . .	389
12.5.3.	Załamanie w obrazie falowym . . . . .	392
12.5.4.	Interferencja . . . . .	392
12.5.5.	Dyfrakcyjne elementy optyczne . . . . .	397

12.5.5.1.	Siatka dyfrakcyjna . . . . .	397
12.5.5.2.	Płytką strefowa Fresnela . . . . .	397
12.5.5.3.	Soczewka Fresnela . . . . .	398
12.5.5.4.	Hologramy . . . . .	399
12.5.5.5.	Hologramy komputerowe . . . . .	400
12.5.6.	Dyspersja . . . . .	402
12.5.7.	Przyrządy spektralne . . . . .	403
12.5.8.	Polaryzacja światła . . . . .	404
12.5.8.1.	Polaryzacja przez odbicie . . . . .	405
12.5.8.2.	Polaryzacja przez załamanie . . . . .	406
<b>12.6.</b>	<b>Fotometria . . . . .</b>	<b>409</b>
12.6.1.	Wielkości fotometryczne . . . . .	409
12.6.1.1.	Promiennik . . . . .	411
12.6.1.2.	Wielkości widmowe . . . . .	413
12.6.1.3.	Odbicie, absorpcja, transmisja . . . . .	414
12.6.2.	Wielkości fotometryczne wizualne . . . . .	416
<b>OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIALE DRGANIA, FALE, AKU- STYKA I OPTYKA . . . . .</b>		<b>420</b>
<b>13.</b>	<b>TABELE DO DZIAŁU DRGANIA, FALE, AKUSTYKA I OPTYKA . . . . .</b>	<b>422</b>
13.1.	Drgania i akustyka . . . . .	422
13.2.	Optyka . . . . .	427
<b>ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM</b>		
<b>14.</b>	<b>ŁADUNKI I PRĄDY . . . . .</b>	<b>433</b>
14.1.	Ładunek elektryczny . . . . .	433
14.1.1.	Prawo Coulomba . . . . .	435
14.2.	Gęstość ładunku elektrycznego . . . . .	436
14.3.	Prąd elektryczny . . . . .	438
14.3.1.	Prawo Ampère'a . . . . .	440
14.4.	Gęstość prądu elektrycznego . . . . .	440
14.4.1.	Pole powodowane przepływem prądu elektrycznego . . . . .	442
14.5.	Opór elektryczny i przewodność elektryczna . . . . .	443
14.5.1.	Opór elektryczny . . . . .	443
14.5.2.	Przewodność elektryczna . . . . .	444
14.5.3.	Opór właściwy i przewodność elektryczna właściwa . . . . .	444
14.5.4.	Ruchliwość nośników ładunku . . . . .	446
14.5.5.	Zależność oporu elektrycznego od temperatury . . . . .	446
14.5.6.	Oporniki o zmiennym oporze . . . . .	448
14.5.7.	Łączenie oporników . . . . .	448
<b>15.</b>	<b>POLE ELEKTRYCZNE I POLE MAGNETYCZNE . . . . .</b>	<b>450</b>
15.1.	Pole elektryczne . . . . .	450
15.2.	Indukcja elektrostatyczna . . . . .	451
15.2.1.	Linie pola elektrycznego . . . . .	452
15.2.2.	Natężenie pola elektrycznego ładunków punktowych . . . . .	454
15.3.	Siła . . . . .	456
15.4.	Napięcie elektryczne . . . . .	456



<b>15.5. Potencjał elektryczny</b> . . . . .	458
15.5.1. Powierzchnie ekwipotencjalne . . . . .	459
15.5.2. Natężenie pola i potencjał niektórych rozkładów ładunku . . . . .	459
15.5.3. Strumień elektryczny . . . . .	463
15.5.4. Indukcja elektrostatyczna . . . . .	464
<b>15.6. Polaryzacja elektryczna</b> . . . . .	466
15.6.1. Dielektryk . . . . .	467
<b>15.7. Pojemność</b> . . . . .	468
15.7.1. Kondensator płaski . . . . .	469
15.7.2. Równoległe połączenie kondensatorów . . . . .	470
15.7.3. Szeregowe połączenie kondensatorów . . . . .	470
15.7.4. Pojemność prostych układów przewodników . . . . .	471
<b>15.8. Energia i gęstość energii pola elektrycznego</b> . . . . .	472
<b>15.9. Pole elektryczne na powierzchni granicznej</b> . . . . .	473
<b>15.10. Pole magnetyczne</b> . . . . .	474
<b>15.11. Magnetyzm</b> . . . . .	474
15.11.1. Linie pola magnetycznego . . . . .	475
<b>15.12. Indukcja magnetyczna</b> . . . . .	477
<b>15.13. Strumień magnetyczny</b> . . . . .	479
<b>15.14. Natężenie pola magnetycznego</b> . . . . .	480
<b>15.15. Obwód magnetyczny</b> . . . . .	482
15.15.1. Prawo Ampère'a . . . . .	484
15.15.2. Prawo Biota–Savarta . . . . .	485
15.15.3. Pole magnetyczne prostoliniowego przewodnika z prądem . . . . .	487
15.15.4. Pola magnetyczne niektórych rozkładów prądu . . . . .	488
<b>15.16. Materia w polu magnetycznym</b> . . . . .	490
15.16.1. Diamagnetyzm . . . . .	491
15.16.2. Paramagnetyzm . . . . .	492
15.16.3. Ferromagnetyzm . . . . .	492
15.16.4. Antyferromagnetyzm . . . . .	495
15.16.5. Ferrimagnetyzm . . . . .	496
<b>15.17. Pola magnetyczne na powierzchniach granicznych</b> . . . . .	496
<b>15.18. Indukcja elektromagnetyczna</b> . . . . .	497
15.18.1. Siła elektromotoryczna indukcji dla ruchomego przewodnika . . . . .	497
15.18.2. Siła elektromotoryczna indukcji . . . . .	499
<b>15.19. Samoindukcja</b> . . . . .	499
15.19.1. Indukcyjności geometrycznych układów przewodników . . . . .	501
15.19.2. Przewodność magnetyczna . . . . .	502
<b>15.20. Indukcja wzajemna</b> . . . . .	503
15.20.1. Transformator . . . . .	504
<b>15.21. Energia i gęstość energii pola magnetycznego</b> . . . . .	505
<b>15.22. Równania Maxwella</b> . . . . .	507
15.22.1. Prąd przesunięcia . . . . .	508
15.22.2. Fale elektromagnetyczne . . . . .	509
15.22.3. Wektor Poyntinga . . . . .	511
<b>16. ELEKTROTECHNIKA</b> . . . . .	512
<b>16.1. Obwód prądu stałego</b> . . . . .	513
16.1.1. Prawa Kirchhoffa w obwodzie prądu stałego . . . . .	514
16.1.2. Oporniki w obwodzie prądu stałego . . . . .	514

16.1.3.	Rzeczywiste źródło napięcia . . . . .	516
16.1.4.	Moc i praca w obwodzie prądu stałego . . . . .	517
16.1.5.	Dopasowanie energetyczne . . . . .	519
16.1.6.	Pomiar natężenia prądu i napięcia . . . . .	519
16.1.6.1.	Pomiar natężenia prądu . . . . .	519
16.1.6.2.	Pomiar napięcia . . . . .	520
16.1.6.3.	Pomiar mocy . . . . .	520
16.1.7.	Wyznaczanie oporu metodą kompensacyjną . . . . .	521
16.1.8.	Ładowanie i rozładowywanie kondensatorów . . . . .	522
16.1.9.	Włączanie i wyłączanie prądu w obwodzie <i>RL</i> . . . . .	523
<b>16.2.</b>	<b>Obwód prądu zmiennego . . . . .</b>	<b>525</b>
16.2.1.	Wielkości zmienne . . . . .	525
16.2.1.1.	Wartości średnie wielkości zmiennych okresowo . . . . .	526
16.2.2.	Przedstawienie wielkości sinusoidalnych na wykresie wskazowym . . . . .	527
16.2.3.	Reguły rachunków dla wielkości wskazowych . . . . .	529
16.2.4.	Podstawowe pojęcia techniki prądu zmiennego . . . . .	532
16.2.4.1.	Impedancja . . . . .	532
16.2.4.2.	Prawo Ohma w dziedzinie zespolonej . . . . .	533
16.2.4.3.	Admitancja . . . . .	534
16.2.4.4.	Moc w obwodzie prądu zmiennego . . . . .	535
16.2.4.5.	Moc zespolona . . . . .	536
16.2.4.6.	Prawa Kirchhoffa dla obwodów prądu zmiennego . . . . .	537
16.2.4.7.	Szeregowe połączenie impedancji . . . . .	538
16.2.4.8.	Równoległe połączenie impedancji . . . . .	538
16.2.5.	Podstawowe elementy w obwodzie prądu przemiennego . . . . .	538
16.2.5.1.	Opornik . . . . .	539
16.2.5.2.	Kondensator . . . . .	540
16.2.5.3.	Cewka . . . . .	541
16.2.5.4.	Impedancja najprostszyc dwójników . . . . .	542
16.2.6.	Szeregowe połączenie opornika i kondensatora . . . . .	543
16.2.7.	Równoległe połączenie opornika i kondensatora . . . . .	543
16.2.8.	Równoległe połączenie opornika i cewki . . . . .	544
16.2.9.	Szeregowe połączenie opornika i cewki . . . . .	545
16.2.10.	Szeregowy obwód drgający . . . . .	546
16.2.11.	Równoległy obwód drgający . . . . .	548
16.2.12.	Równoważność połączenia szeregowego i równoległego . . . . .	550
16.2.13.	Fale radiowe . . . . .	551
<b>16.3.</b>	<b>Maszyny elektryczne . . . . .</b>	<b>553</b>
16.3.1.	Zasada działania maszyn elektrycznych . . . . .	554
16.3.2.	Maszyna prądu stałego . . . . .	555
16.3.3.	Maszyna trójfazowa . . . . .	557
16.3.3.1.	Maszyna synchroniczna . . . . .	557
16.3.3.2.	Maszyna asynchroniczna . . . . .	559
<b>17.</b>	<b>PRZEWODZENIE PRĄDU W CIECZACH, W GAZACH I W PRÓŻNI . . . . .</b>	<b>561</b>
<b>17.1.</b>	<b>Elektroliza . . . . .</b>	<b>561</b>
17.1.1.	Liczność materii . . . . .	561
17.1.2.	Jony . . . . .	561
17.1.3.	Elektrody . . . . .	562
17.1.4.	Elektrolity . . . . .	562

17.1.4.1.	Przewodność elektryczna elektrolitu . . . . .	562
17.1.4.2.	Prawa elektrolizy Faradaya . . . . .	564
17.1.4.3.	Elektryczna warstwa podwójna . . . . .	565
17.1.4.4.	Równanie Nernsta . . . . .	566
17.1.5.	Ogniwa galwaniczne . . . . .	567
17.1.5.1.	Polaryzacja elektrolityczna . . . . .	567
17.1.5.2.	Ogniwa paliwowe . . . . .	568
17.1.5.3.	Akumulatory . . . . .	569
17.1.5.4.	Łączenie ogniw galwanicznych . . . . .	569
17.1.6.	Zjawiska elektrokinetyczne . . . . .	570
17.1.6.1.	Elektroforeza . . . . .	570
17.1.6.2.	Elektroosmoza . . . . .	570
17.1.6.3.	Potencjał przepływu . . . . .	570
<b>17.2.</b>	<b>Prąd elektryczny w gazach . . . . .</b>	<b>571</b>
17.2.1.	Niesamoistne wyładowanie w gazie . . . . .	571
17.2.1.1.	Prędkość dryfu jonów w gazach . . . . .	571
17.2.1.2.	Przewodność właściwa gazów . . . . .	572
17.2.1.3.	Rekombinacja . . . . .	572
17.2.1.4.	Charakterystyka prądowo-napięciowa przepływu prądu w gazach . . . . .	573
17.2.2.	Samoistne wyładowanie w gazie . . . . .	574
17.2.2.1.	Rodzaje wyładowań samoistnych w gazie . . . . .	574
17.2.2.2.	Charakterystyka prądowo-napięciowa wyładowania w gazie . . . . .	575
<b>17.3.</b>	<b>Emisja elektronów . . . . .</b>	<b>575</b>
17.3.1.	Termoemisja . . . . .	576
17.3.2.	Fotoemisja . . . . .	576
17.3.3.	Emisja polowa . . . . .	577
17.3.4.	Emisja elektronów wtórnych . . . . .	577
<b>17.4.</b>	<b>Lampy elektronowe . . . . .</b>	<b>578</b>
17.4.1.	Dioda . . . . .	579
17.4.2.	Trioda . . . . .	579
17.4.2.1.	Wartości charakterystyczne . . . . .	580
17.4.3.	Tetroda . . . . .	582
17.4.4.	Promienie katodowe . . . . .	582
17.4.5.	Promieniowanie kanalikowe . . . . .	582
<b>18.</b>	<b>FIZYKA PLAZMY . . . . .</b>	<b>584</b>
<b>18.1.</b>	<b>Własności plazmy . . . . .</b>	<b>584</b>
18.1.1.	Wielkości charakterystyczne plazmy . . . . .	584
18.1.1.1.	Stopień jonizacji . . . . .	584
18.1.1.2.	Funkcja rozkładu energii w plazmie . . . . .	585
18.1.1.3.	Energia plazmy . . . . .	587
18.1.1.4.	Przewodność elektryczna plazmy . . . . .	587
18.1.1.5.	Przewodność cieplna plazmy . . . . .	589
18.1.1.6.	Ekranowanie i długość Debye'a . . . . .	589
18.1.1.7.	Częstotliwość drgań plazmy . . . . .	590
18.1.2.	Promieniowanie plazmy . . . . .	590
18.1.3.	Plazma w polach magnetycznych . . . . .	591
18.1.3.1.	Ruch cząstek naładowanych w polach zewnętrznych . . . . .	591

18.1.3.2.	Ruch nośników ładunku w polu magnetycznym przy uwzględnieniu zderzeń . . . . .	593
18.1.3.3.	Drift w zewnętrznym polu elektrycznym . . . . .	593
18.1.3.4.	Teorie kontinuum . . . . .	593
18.1.4.	Fale plazmowe . . . . .	594
18.1.4.1.	Fale elektroakustyczne w plazmie . . . . .	594
18.1.4.2.	Fale magnetohydrodynamiczne . . . . .	595
18.1.4.3.	Fale elektromagnetyczne w plazmie . . . . .	595
18.1.4.4.	Tłumienie Landaua . . . . .	596
<b>18.2.</b>	<b>Wytwarzanie plazmy . . . . .</b>	<b>596</b>
18.2.1.	Termiczne wytwarzanie plazmy . . . . .	597
18.2.2.	Wytwarzanie plazmy przez kompresję . . . . .	597
18.2.2.1.	Skurcz magnetyczny . . . . .	597
<b>18.3.</b>	<b>Wytwarzanie energii za pomocą plazmy . . . . .</b>	<b>599</b>
18.3.1.	Generator MHD . . . . .	599
18.3.2.	Reaktory termojądrowe . . . . .	600
18.3.3.	Reakcja termojądrowa w pułapce magnetycznej . . . . .	601
18.3.4.	Reakcje termojądrowe w zamknięciu bezwładnościowym . . . . .	602
<b>OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIALE ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM . . . . .</b>		<b>604</b>
<b>19.</b>	<b>TABELE DO DZIAŁU ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM . . . . .</b>	<b>606</b>
<b>19.1.</b>	<b>Metale i stopy . . . . .</b>	<b>606</b>
19.1.1.	Opór elektryczny właściwy (oporność) . . . . .	606
19.1.2.	Szereg napięciowy . . . . .	608
<b>19.2.</b>	<b>Dielektryki . . . . .</b>	<b>611</b>
<b>19.3.</b>	<b>Praktyczne tabele elektrotechniki . . . . .</b>	<b>617</b>
<b>19.4.</b>	<b>Własności magnetyczne . . . . .</b>	<b>619</b>
<b>19.5.</b>	<b>Własności ferromagnetyczne . . . . .</b>	<b>622</b>
19.5.1.	Anizotropia magnetyczna . . . . .	624
<b>19.6.</b>	<b>Ferryty . . . . .</b>	<b>626</b>
<b>19.7.</b>	<b>Antyferromagnetyki . . . . .</b>	<b>626</b>
<b>19.8.</b>	<b>Ruchliwość jonów . . . . .</b>	<b>627</b>
<b>TERMODYNAMIKA</b>		
<b>20.</b>	<b>RÓWNOWAGA TERMODYNAMICZNA I RÓWNANIA STANU . . . . .</b>	<b>631</b>
<b>20.1.</b>	<b>Układy, fazy i równowaga . . . . .</b>	<b>631</b>
20.1.1.	Układy . . . . .	631
20.1.1.1.	Układy izolowane . . . . .	631
20.1.1.2.	Układy zamknięte . . . . .	632
20.1.1.3.	Układy otwarte . . . . .	632
20.1.2.	Fazy . . . . .	632
20.1.3.	Równowaga . . . . .	633
20.1.3.1.	Warunki równowagi . . . . .	634
<b>20.2.</b>	<b>Parametry termodynamiczne . . . . .</b>	<b>635</b>
20.2.1.	Parametr termodynamiczny, czyli parametr stanu: definicja pojęcia . . . . .	635

20.2.1.1.	Ekstensywne parametry stanu . . . . .	636
20.2.1.2.	Intensywne parametry stanu . . . . .	636
20.2.1.3.	Wielkości właściwe i molowe . . . . .	637
20.2.2.	Temperatura . . . . .	637
20.2.2.1.	Jednostki temperatury . . . . .	638
20.2.2.2.	Punkty wzorcowe . . . . .	639
20.2.2.3.	Pomiar temperatury . . . . .	639
20.2.2.4.	Skala Kelvina i zero bezwzględne . . . . .	641
20.2.3.	Ciśnienie . . . . .	642
20.2.3.1.	Jednostki ciśnienia . . . . .	643
20.2.3.2.	Pomiar ciśnienia . . . . .	645
20.2.4.	Liczba cząstek, liczność materii i liczba Avogadra . . . . .	646
20.2.5.	Entropia . . . . .	649
<b>20.3.</b>	<b>Potencjały termodynamiczne . . . . .</b>	<b>651</b>
20.3.1.	Zasada maksymalnej entropii — zasada minimalnej energii . . . . .	651
20.3.2.	Energia wewnętrzna jako potencjał termodynamiczny . . . . .	651
20.3.2.1.	Energia wewnętrzna gazu doskonałego . . . . .	652
20.3.3.	Entropia jako potencjał termodynamiczny . . . . .	652
20.3.3.1.	Entropia gazu doskonałego . . . . .	652
20.3.4.	Energia swobodna . . . . .	653
20.3.5.	Entalpia . . . . .	654
20.3.5.1.	Entalpia gazu doskonałego . . . . .	655
20.3.5.2.	Entalpia i przemiany fazowe . . . . .	655
20.3.5.3.	Entalpia reakcji i prawo Hessa . . . . .	656
20.3.6.	Entalpia swobodna . . . . .	656
20.3.6.1.	Reakcje chemiczne . . . . .	657
20.3.6.2.	Reguła Le Chateliera–Brauna . . . . .	658
20.3.7.	Relacje Maxwella . . . . .	658
20.3.8.	Stabilność termodynamiczna . . . . .	659
<b>20.4.</b>	<b>Gaz doskonały . . . . .</b>	<b>660</b>
20.4.1.	Prawo Boyle’a–Mariotte’a . . . . .	660
20.4.2.	Prawo Gay-Lussaca . . . . .	661
20.4.3.	Równanie stanu . . . . .	663
<b>20.5.</b>	<b>Kinetyczna teoria gazów doskonałych . . . . .</b>	<b>663</b>
20.5.1.	Ciśnienie i temperatura . . . . .	663
20.5.1.1.	Prędkość średnia kwadratowa . . . . .	664
20.5.2.	Rozkład Maxwella–Boltzmann . . . . .	665
20.5.3.	Stopnie swobody . . . . .	667
20.5.4.	Zasada ekwipartycji energii . . . . .	668
20.5.5.	Zjawiska transportu w gazach . . . . .	668
<b>20.6.</b>	<b>Równania stanu . . . . .</b>	<b>671</b>
20.6.1.	Równanie stanu gazu doskonałego . . . . .	671
20.6.1.1.	Stale gazowe . . . . .	672
20.6.1.2.	Mieszanki gazów . . . . .	674
20.6.1.3.	Obliczanie poszczególnych parametrów z równania stanu gazu doskonałego . . . . .	674
20.6.1.4.	Wzór barometryczny . . . . .	675
20.6.2.	Równanie stanu gazów rzeczywistych . . . . .	675
20.6.2.1.	Rozwinięcie wirałne równania stanu gazu rzeczywistego . . . . .	676
20.6.2.2.	Równanie van der Waalsa . . . . .	676

20.6.2.3.	Obszar współlistnienia faz . . . . .	678
20.6.2.4.	Punkt krytyczny . . . . .	679
20.6.2.5.	Zredukowane równanie van der Waalsa . . . . .	680
20.6.2.6.	Rozwinięcie wirtualne równania van der Waalsa . . . . .	680
20.6.3.	Równania stanu dla ciał stałych i cieczy . . . . .	681
20.6.3.1.	Anomalna rozszerzalność wody . . . . .	683
<b>21.</b>	<b>CIEPŁO I PRZEMIANY TERMODYNAMICZNE . . . . .</b>	<b>685</b>
<b>21.1.</b>	<b>Formy energii . . . . .</b>	<b>685</b>
21.1.1.	Jednostki energii . . . . .	685
21.1.1.1.	Jednostki poza układem SI . . . . .	685
21.1.2.	Praca . . . . .	686
21.1.3.	Potencjał chemiczny . . . . .	687
21.1.4.	Ciepło . . . . .	688
21.1.4.1.	Ciepło właściwe . . . . .	689
<b>21.2.</b>	<b>Przemiany energii . . . . .</b>	<b>689</b>
21.2.1.	Przemiana energii w ciepło . . . . .	689
21.2.1.1.	Energia elektryczna . . . . .	689
21.2.1.2.	Energia mechaniczna . . . . .	690
21.2.1.3.	Ciepło spalania . . . . .	691
21.2.1.4.	Energia słoneczna . . . . .	692
21.2.2.	Przemiana ciepła w inne formy energii . . . . .	693
21.2.3.	Egzergia i anergia . . . . .	693
<b>21.3.</b>	<b>Pojemność cieplna . . . . .</b>	<b>694</b>
21.3.1.	Całkowita pojemność cieplna . . . . .	694
21.3.1.1.	Pojemność cieplna mieszaniny substancji . . . . .	695
21.3.1.2.	Równoważnik wodny . . . . .	695
21.3.2.	Ciepło molowe . . . . .	696
21.3.3.	Ciepło właściwe . . . . .	697
21.3.3.1.	Inne własności ciepła właściwego . . . . .	698
21.3.3.2.	Ciepło właściwe mieszanin substancji . . . . .	698
21.3.3.3.	Ciepło właściwe gazów . . . . .	699
21.3.3.4.	Ciepło właściwe gazu doskonałego . . . . .	699
21.3.3.5.	Wykładnik adiabaty . . . . .	701
21.3.3.6.	Ciepło właściwe cieczy i ciał stałych . . . . .	701
<b>21.4.</b>	<b>Przemiany termodynamiczne . . . . .</b>	<b>701</b>
21.4.1.	Procesy odwracalne i nieodwracalne . . . . .	701
21.4.2.	Przemiana izotermiczna . . . . .	703
21.4.3.	Przemiana izobaryczna . . . . .	704
21.4.4.	Przemiana izochoryczna . . . . .	705
21.4.5.	Przemiana adiabatyczna (izentropowa) . . . . .	706
21.4.5.1.	Przemiana politropowa . . . . .	707
21.4.6.	Stany równowagowe . . . . .	708
<b>21.5.</b>	<b>Zasady termodynamiki . . . . .</b>	<b>709</b>
21.5.1.	Zasada zerowa . . . . .	709
21.5.2.	Pierwsza zasada termodynamiki . . . . .	709
21.5.2.1.	Równoważne sformułowania pierwszej zasady termodynamiki . . . . .	711
21.5.2.2.	Aspekty mikroskopowe pierwszej zasady termodynamiki . . . . .	711
21.5.3.	Druga zasada termodynamiki . . . . .	712
21.5.4.	Trzecia zasada termodynamiki . . . . .	713

<b>21.6. Cykl Carnota</b> . . . . .	713
21.6.1. Zasada i zastosowanie . . . . .	713
21.6.1.1. Etapy cyklu Carnota . . . . .	714
21.6.1.2. Bilans energetyczny i sprawność cyklu Carnota . . . . .	716
21.6.2. Ciepło zredukowane . . . . .	717
<b>21.7. Silniki cieplne</b> . . . . .	718
21.7.1. Cykl prosty i cykl odwrrotny . . . . .	718
21.7.2. Pompa ciepła i chłodziarka . . . . .	718
21.7.3. Cykl Stirlinga . . . . .	720
21.7.4. Maszyna parowa (silnik parowy) . . . . .	721
21.7.5. Układy otwarte . . . . .	722
21.7.6. Silniki: Otta i Diesla . . . . .	723
21.7.6.1. Cykl Otta . . . . .	723
21.7.6.2. Cykl (obieg) Diesla . . . . .	724
21.7.7. Turbiny gazowe (spalinowe) . . . . .	725
<b>21.8. Skraplanie gazów</b> . . . . .	726
21.8.1. Wytwarzanie niskich temperatur . . . . .	726
21.8.1.1. Mieszaniny chłodzące . . . . .	726
21.8.1.2. Ciepło rozpuszczania . . . . .	726
21.8.1.3. Pompa ciepła . . . . .	727
21.8.2. Efekt Joule'a-Thomsona . . . . .	727
21.8.2.1. Obieg Lindego . . . . .	728
21.8.2.2. Obieg Claude'a . . . . .	729
<b>22. PRZEMIANY FAZOWE</b> . . . . .	730
<b>22.1. Fazy i stany skupienia</b> . . . . .	730
22.1.1. Faza . . . . .	730
22.1.2. Stany skupienia . . . . .	730
22.1.3. Zmiany stanu skupienia . . . . .	731
22.1.4. Para . . . . .	732
<b>22.2. Rodzaj przemiany fazowej</b> . . . . .	733
22.2.1. Przemiana fazowa pierwszego rodzaju . . . . .	734
22.2.2. Przemiana fazowa drugiego rodzaju . . . . .	734
22.2.3. Przejścia typu lambda . . . . .	735
22.2.4. Obszar współlistnienia faz . . . . .	735
22.2.5. Wykładniki (indeksy) krytyczne . . . . .	735
<b>22.3. Przemiany fazowe i gaz van der Waalsa</b> . . . . .	737
22.3.1. Równowaga faz . . . . .	737
22.3.2. Konstrukcja Maxwella . . . . .	737
22.3.3. Przegrzanie cieczy, zahamowanie wrzenia i zahamowanie skraplania . . . . .	739
22.3.4. Zasada stanów zgodnych . . . . .	740
<b>22.4. Przykłady przemian fazowych</b> . . . . .	741
22.4.1. Magnetyczne przemiany fazowe . . . . .	741
22.4.2. Przemiany fazowe typu porządek–nieporządek . . . . .	741
22.4.3. Przemiany struktury krystalicznej . . . . .	742
22.4.4. Ciekłe kryształy . . . . .	744
22.4.5. Nadprzewodnictwo . . . . .	744
22.4.6. Nadciekłość (nadpłynność) . . . . .	745
<b>22.5. Mieszaniny gazów</b> . . . . .	745

22.5.1.	Ciśnienie cząstkowe i prawo Daltona . . . . .	746
22.5.2.	Równanie Eulera i równanie Gibbsa–Duhema . . . . .	747
<b>22.6.</b>	<b>Układy wielofazowe</b> . . . . .	748
22.6.1.	Równowaga faz . . . . .	748
22.6.2.	Reguła faz Gibbsa . . . . .	748
22.6.3.	Równanie Clausiusa–Clapeyrona . . . . .	749
<b>22.7.</b>	<b>Prężność pary nad roztworem</b> . . . . .	750
22.7.1.	Prawo Raoult’a . . . . .	750
22.7.2.	Podwyższenie temperatury wrzenia i obniżenie temperatury krzepnięcia . . . . .	750
22.7.3.	Prawo Henry’ego–Daltona . . . . .	752
22.7.4.	Mieszanki powietrza i pary (wilgotne powietrze) . . . . .	753
<b>22.8.</b>	<b>Reakcje chemiczne</b> . . . . .	757
22.8.1.	Stechiometria . . . . .	757
22.8.2.	Reguła faz w reakcjach chemicznych . . . . .	759
22.8.3.	Prawo działania mas . . . . .	759
22.8.4.	Wartość pH i iloczyn rozpuszczalności . . . . .	761
<b>22.9.</b>	<b>Wyrównywanie temperatur</b> . . . . .	762
22.9.1.	Temperatura końcowa . . . . .	763
22.9.2.	Odwracalny i nieodwracalny przebieg procesu . . . . .	764
<b>22.10.</b>	<b>Przenoszenie ciepła</b> . . . . .	765
22.10.1.	Strumień ciepła . . . . .	765
22.10.2.	Wnikanie ciepła . . . . .	766
22.10.3.	Przewodnictwo cieplne . . . . .	768
22.10.4.	Opór cieplny . . . . .	772
22.10.5.	Przenikanie ciepła . . . . .	774
22.10.6.	Promieniowanie cieplne . . . . .	779
22.10.7.	Przejście promieniowania przez ośrodek . . . . .	779
<b>22.11.</b>	<b>Transport ciepła i masy</b> . . . . .	781
22.11.1.	Prawo Fouriera . . . . .	782
22.11.2.	Równanie ciągłości . . . . .	782
22.11.3.	Równanie przewodnictwa cieplnego . . . . .	783
22.11.4.	Prawo Ficka i prawo dyfuzji . . . . .	784
22.11.5.	Rozwiązanie równania przewodnictwa cieplnego i równania dyfuzji . . . . .	785
<b>OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIALE TERMODYNAMIKA . . . . .</b>		787
<b>23.</b>	<b>TABELE DO DZIAŁU TERMODYNAMIKA . . . . .</b>	790
<b>23.1.</b>	<b>Temperatury charakterystyczne</b> . . . . .	790
23.1.1.	Jednostki i temperatury charakterystyczne . . . . .	790
23.1.2.	Temperatury topnienia i wrzenia . . . . .	791
23.1.3.	Temperatury Curie i Néela . . . . .	800
<b>23.2.</b>	<b>Własności gazów rzeczywistych</b> . . . . .	802
<b>23.3.</b>	<b>Własności cieplne materiałów</b> . . . . .	804
23.3.1.	Lepkość . . . . .	804
23.3.2.	Współczynnik rozszerzalności liniowej, ciepło właściwe i współczynnik przewodzenia ciepła . . . . .	804
<b>23.4.</b>	<b>Przenikanie ciepła</b> . . . . .	811
<b>23.5.</b>	<b>Praktyczne dane korekcyjne</b> . . . . .	813
23.5.1.	Pomiar ciśnienia . . . . .	813
23.5.1.1.	Przeliczenie pomiarów w odniesieniu do poziomu morza . . . . .	813



23.5.1.2. Pomiarzy za pomocą barometru rtęciowego (korekcja temperatury) . . . . .	816
23.5.2. Pomiarzy objętości — przeliczanie w odniesieniu do temperatury standardowej . . . . .	817
23.5.2.1. Pomiarzy dokonywane objętościomierzem szklanym . . . . .	817
<b>23.6. Wytwarzanie ciekłych kąpieli niskotemperaturowych . . . . .</b>	<b>818</b>
<b>23.7. Środki suszące . . . . .</b>	<b>818</b>
<b>23.8. Prężność pary . . . . .</b>	<b>819</b>
23.8.1. Roztwory . . . . .	819
23.8.2. Wilgotność względna . . . . .	820
23.8.3. Prężność pary wodnej . . . . .	820
<b>23.9. Entalpie właściwe . . . . .</b>	<b>822</b>

## FIZYKA KWANTOWA

<b>24. FOTONY — PROMIENIOWANIE ELEKTROMAGNETYCZNE ORAZ KWANTY ŚWIATŁA . . . . .</b>	<b>827</b>
24.1. Prawo promieniowania Plancka . . . . .	827
24.2. Zjawisko fotoelektryczne . . . . .	830
24.3. Zjawisko Comptona . . . . .	832
<b>25. FALE MATERII — MECHANIKA FAŁOWA CZĄSTEK . . . . .</b>	<b>834</b>
25.1. Natura fałowa cząstek . . . . .	834
25.1.1. Podstawowe założenia mechaniki kwantowej . . . . .	834
25.1.2. Dualizm fałowo-korpuskularny . . . . .	835
25.2. Zasada nieoznaczoności Heisenberga . . . . .	836
25.3. Funkcja fałowa i obserwable . . . . .	836
25.4. Równanie Schrödingera . . . . .	844
25.4.1. Potencjały schodkowe . . . . .	846
25.4.2. Oscylator harmoniczny . . . . .	851
25.4.3. Zasada Pauliego . . . . .	853
25.5. Spin i moment magnetyczny . . . . .	854
25.5.1. Spin . . . . .	854
25.5.2. Momenty magnetyczne . . . . .	856
<b>26. FIZYKA ATOMÓW I CZĄSTECZEK . . . . .</b>	<b>860</b>
26.1. Podstawowe pojęcia spektroskopii . . . . .	861
26.2. Atom wodoru . . . . .	863
26.2.1. Postulaty Bohra . . . . .	864
26.3. Stany stacjonarne i liczby kwantowe w polu siły centralnej . . . . .	869
26.4. Atomy wieloelektronowe . . . . .	873
26.5. Promieniowanie rentgenowskie . . . . .	877
26.5.1. Zastosowania promieniowania rentgenowskiego . . . . .	880
26.6. Widma cząsteczkowe . . . . .	881
26.7. Atomy w polach zewnętrznych . . . . .	885
26.8. Układ okresowy pierwiastków . . . . .	888
26.9. Oddziaływanie fotonów z atomami i cząsteczkami . . . . .	891
26.9.1. Emisja spontaniczna i wymuszona . . . . .	891

<b>27. FIZYKA CZĄSTEK ELEMENTARNYCH — MODEL STANDARDOWY</b>	894
<b>27.1. Unifikacja opisu oddziaływań</b>	894
27.1.1. Model Standardowy	894
27.1.1.1. Oddziaływanie grawitacyjne	895
27.1.1.2. Oddziaływanie elektromagnetyczne	895
27.1.1.3. Oddziaływanie słabe	896
27.1.1.4. Oddziaływanie silne	897
27.1.2. Bozony cechowania	898
27.1.3. Fermiony i bozony	900
<b>27.2. Leptony, kwarki i bozony wektorowe</b>	902
27.2.1. Leptony	902
27.2.2. Kwarki	903
27.2.3. Hadrony	905
27.2.4. Akceleratory i detektory	910
<b>27.3. Symetrie a prawa zachowania</b>	912
27.3.1. Zachowanie parzystości a oddziaływania słabe	912
27.3.2. Zachowanie ładunku i tworzenie się par	914
27.3.3. Sprzężenie ładunkowe a antycząstki	915
27.3.4. Niezmienniczość względem przekształcenia odwrócenia czasu i reakcje odwrotne	915
27.3.5. Prawa zachowania	916
27.3.6. Poza Modelem Standardowym	917
<b>28. FIZYKA JĄDROWA</b>	919
<b>28.1. Elementy strukturalne jądra atomowego</b>	919
<b>28.2. Podstawowe elementy opisu jądra atomowego</b>	922
<b>28.3. Oddziaływanie nukleon–nukleon</b>	925
28.3.1. Fenomenologiczne postaci potencjału oddziaływania nukleon–nukleon	925
28.3.2. Mezonowe potencjały wymiany	926
<b>28.4. Modele jądra atomowego</b>	927
28.4.1. Model gazu Fermiego	927
28.4.2. Materia jądrowa	928
28.4.3. Model kroplowy	928
28.4.4. Model powłokowy	930
28.4.5. Model kolektywny	933
<b>28.5. Reakcje jądrowe</b>	935
28.5.1. Kanały reakcji i przekroje czynne	935
28.5.2. Prawa zachowania w reakcjach jądrowych	939
28.5.2.1. Zachowanie energii i pędu	939
28.5.2.2. Zachowanie momentu pędu	940
28.5.3. Rozpraszanie sprężyste	941
28.5.4. Reakcje z udziałem jąder złożonych	942
28.5.5. Model optyczny	944
28.5.6. Reakcja bezpośrednia	945
28.5.7. Reakcje ciężkojonowe	946
28.5.8. Rozszczepienie jądra	950

<b>28.6. Rozpad jądra</b> . . . . .	952
28.6.1. Prawo rozpadu promieniotwórczego . . . . .	953
28.6.2. Rozpad $\alpha$ . . . . .	957
28.6.3. Rozpad $\beta$ . . . . .	958
28.6.4. Rozpad $\gamma$ . . . . .	961
28.6.5. Emisja nukleonów i gron . . . . .	962
<b>28.7. Reaktor jądrowy</b> . . . . .	963
28.7.1. Typy reaktorów . . . . .	965
<b>28.8. Synteza jąder</b> . . . . .	967
<b>28.9. Oddziaływanie promieniowania z materią</b> . . . . .	970
28.9.1. Cząstki jonizujące . . . . .	970
28.9.2. Promieniowanie $\gamma$ . . . . .	973
<b>28.10. Dozymetria</b> . . . . .	975
28.10.1. Metody pomiaru dawki . . . . .	979
28.10.2. Promieniotwórczość środowiska . . . . .	981
<b>29. FIZYKA CIAŁA STAŁEGO</b> . . . . .	984
<b>29.1. Struktura ciała stałego</b> . . . . .	984
29.1.1. Niektóre podstawowe pojęcia fizyki ciała stałego . . . . .	984
29.1.2. Budowa kryształów . . . . .	985
29.1.3. Sieci Bravais'go . . . . .	987
29.1.3.1. Proste struktury krystalograficzne . . . . .	990
29.1.4. Metody badań strukturalnych . . . . .	991
29.1.5. Porównanie wiązań w kryształach . . . . .	994
<b>29.2. Defekty sieci krystalicznej</b> . . . . .	998
29.2.1. Defekty punktowe . . . . .	998
29.2.2. Defekty jednowymiarowe . . . . .	999
29.2.3. Defekty powierzchniowe . . . . .	1001
29.2.4. Amorficzne ciała stałe . . . . .	1002
<b>29.3. Mechaniczne właściwości materiałów</b> . . . . .	1003
29.3.1. Wielkocząsteczkowe ciała stałe . . . . .	1003
29.3.1.1. Polimery . . . . .	1004
29.3.1.2. Termoplasty . . . . .	1006
29.3.1.3. Elastomery . . . . .	1006
29.3.1.4. Duroplasty . . . . .	1006
29.3.2. Tworzywa wielowarstwowe . . . . .	1007
29.3.3. Stopy . . . . .	1007
29.3.4. Ciekłe kryształy . . . . .	1010
<b>29.4. Fonony i drgania sieci</b> . . . . .	1011
29.4.1. Fale sprężyste . . . . .	1011
29.4.2. Fonony i ciepło właściwe . . . . .	1015
29.4.3. Model Einsteina . . . . .	1016
29.4.4. Model Debye'a . . . . .	1017
29.4.5. Przewodzenie ciepła . . . . .	1019
<b>29.5. Elektrony w ciele stałym</b> . . . . .	1021
29.5.1. Swobodny gaz elektronowy . . . . .	1021
29.5.2. Model pasmowy . . . . .	1027
<b>29.6. Półprzewodniki</b> . . . . .	1032
29.6.1. Przewodnictwo niesamoistne . . . . .	1035

29.6.2.	Dioda półprzewodnikowa . . . . .	1038
29.6.3.	Tranzystor . . . . .	1046
29.6.3.1.	Tranzystory bipolarne . . . . .	1046
29.6.3.2.	Układy podstawowe . . . . .	1048
29.6.3.3.	Tranzystor Darlingтона . . . . .	1053
29.6.4.	Tranzystory polowe . . . . .	1053
29.6.4.1.	Tranzystor polowy złączowy (Junction FET) . . . . .	1053
29.6.4.2.	Tranzystory polowe z izolowaną bramką (Insulated Gate FET – IGFET, MOSFET) . . . . .	1055
29.6.5.	Tyrystor . . . . .	1056
29.6.5.1.	Triak (tyrystor dwukierunkowy) . . . . .	1057
29.6.5.2.	Tyrystor wyłączany bramką (GTO) . . . . .	1058
29.6.5.3.	Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) . . . . .	1058
29.6.6.	Układy scalone (IC) . . . . .	1059
29.6.6.1.	Wytwarzanie właściwości układów scalonych . . . . .	1059
29.6.6.2.	Wytwarzanie struktur połączeń . . . . .	1059
29.6.7.	Wzmacniacz operacyjny . . . . .	1061
29.6.7.1.	Wzmacniacz operacyjny z ujemnym sprzężeniem zwrotnym . . . . .	1063
29.6.7.2.	Wzmacniacz odwracający . . . . .	1063
29.6.7.3.	Wzmacniacz sumujący . . . . .	1064
29.6.7.4.	Integrator . . . . .	1065
29.6.7.5.	Wzmacniacz różniczkujący . . . . .	1065
29.6.7.6.	Wtórnik napięciowy . . . . .	1066
29.6.7.7.	Wzmacniacz operacyjny z dodatnim sprzężeniem zwrotnym . . . . .	1066
29.6.7.8.	Przerzutnik Schmitta . . . . .	1066
<b>29.7.</b>	<b>Nadprzewodnictwo . . . . .</b>	<b>1067</b>
29.7.1.	Podstawowe właściwości nadprzewodników . . . . .	1068
29.7.2.	Nadprzewodniki wysokotemperaturowe . . . . .	1072
<b>29.8.</b>	<b>Właściwości magnetyczne . . . . .</b>	<b>1074</b>
29.8.1.	Ferromagnetyzm . . . . .	1076
29.8.2.	Antyferromagnetyzm i ferrimagnetyzm . . . . .	1079
<b>29.9.</b>	<b>Właściwości dielektryczne . . . . .</b>	<b>1080</b>
29.9.1.	Paraelektryki . . . . .	1084
29.9.2.	Ferroelektryki . . . . .	1085
<b>29.10.</b>	<b>Właściwości optyczne kryształów . . . . .</b>	<b>1086</b>
29.10.1.	Ekscytony i ich właściwości . . . . .	1086
29.10.2.	Fotoprzewodnictwo . . . . .	1088
29.10.3.	Luminescencja . . . . .	1089
29.10.4.	Właściwości optoelektryczne . . . . .	1089
<b>OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIALE FIZYKA KWANTOWA . . . . .</b>		<b>1091</b>
<b>30.</b>	<b>TABELE DO DZIAŁU FIZYKA KWANTOWA . . . . .</b>	<b>1096</b>
<b>30.1.</b>	<b>Potencjały jonizacji . . . . .</b>	<b>1096</b>
30.1.1.	Energie jonizacji pierwiastków . . . . .	1096
<b>30.2.</b>	<b>Promienie atomów i jonów pierwiastków . . . . .</b>	<b>1101</b>
<b>30.3.</b>	<b>Emisja elektronów . . . . .</b>	<b>1104</b>
<b>30.4.</b>	<b>Promieniowanie rentgenowskie . . . . .</b>	<b>1108</b>
<b>30.5.</b>	<b>Reakcje jądrowe . . . . .</b>	<b>1108</b>

<b>30.6. Oddziaływanie promieniowania z materią</b> . . . . .	1109
<b>30.7. Zjawisko Halla</b> . . . . .	1110
<b>30.8. Nadprzewodniki</b> . . . . .	1111
<b>30.9. Półprzewodniki</b> . . . . .	1113
30.9.1. Ciepłne, magnetyczne i elektryczne właściwości półprzewodników . . .	1113
<b>DODATEK</b>	
<b>31. POMIAR I BŁĄD POMIARU</b> . . . . .	1117
<b>31.1. Opis pomiaru</b> . . . . .	1117
31.1.1. Wielkości i jednostki SI . . . . .	1117
<b>31.2. Rachunek błędów i statystyka</b> . . . . .	1120
31.2.1. Rodzaje błędów . . . . .	1120
31.2.1.1. Wynik pomiaru . . . . .	1120
31.2.2. Błąd pomiaru . . . . .	1120
31.2.2.1. Propagacja błędów . . . . .	1122
31.2.3. Wartości średnie serii pomiarowych . . . . .	1122
31.2.4. Rozrzut . . . . .	1124
31.2.5. Korelacja . . . . .	1125
31.2.6. Rachunek wyrównawczy, regresja . . . . .	1125
31.2.7. Rozkłady częstości zdarzeń . . . . .	1126
31.2.7.1. Szczególne rozkłady dyskretne . . . . .	1128
31.2.7.2. Szczególne rozkłady ciągłe . . . . .	1129
31.2.8. Niezawodność . . . . .	1131
<b>32. RACHUNEK WEKTOROWY</b> . . . . .	1134
<b>32.1. Wektory i skalary</b> . . . . .	1134
<b>32.2. Mnożenie wektora przez skalar</b> . . . . .	1135
<b>32.3. Dodawanie i odejmowanie wektorów</b> . . . . .	1135
<b>32.4. Mnożenie wektorów</b> . . . . .	1136
<b>33. RACHUNEK RÓŻNICZKOWY I CAŁKOWY</b> . . . . .	1139
<b>33.1. Rachunek różniczkowy</b> . . . . .	1139
33.1.1. Reguły różniczkowania . . . . .	1139
<b>33.2. Rachunek całkowy</b> . . . . .	1140
33.2.1. Reguły całkowania . . . . .	1141
33.2.2. Pochodne i całki funkcji elementarnych . . . . .	1142
<b>34. UKŁAD SI</b> . . . . .	1143
<b>Skorowidz</b> . . . . .	1149