

Spis rzeczy

Przedmowa	V
Spis tabel zamieszczonych w tekście	XXVIII

MECHANIKA

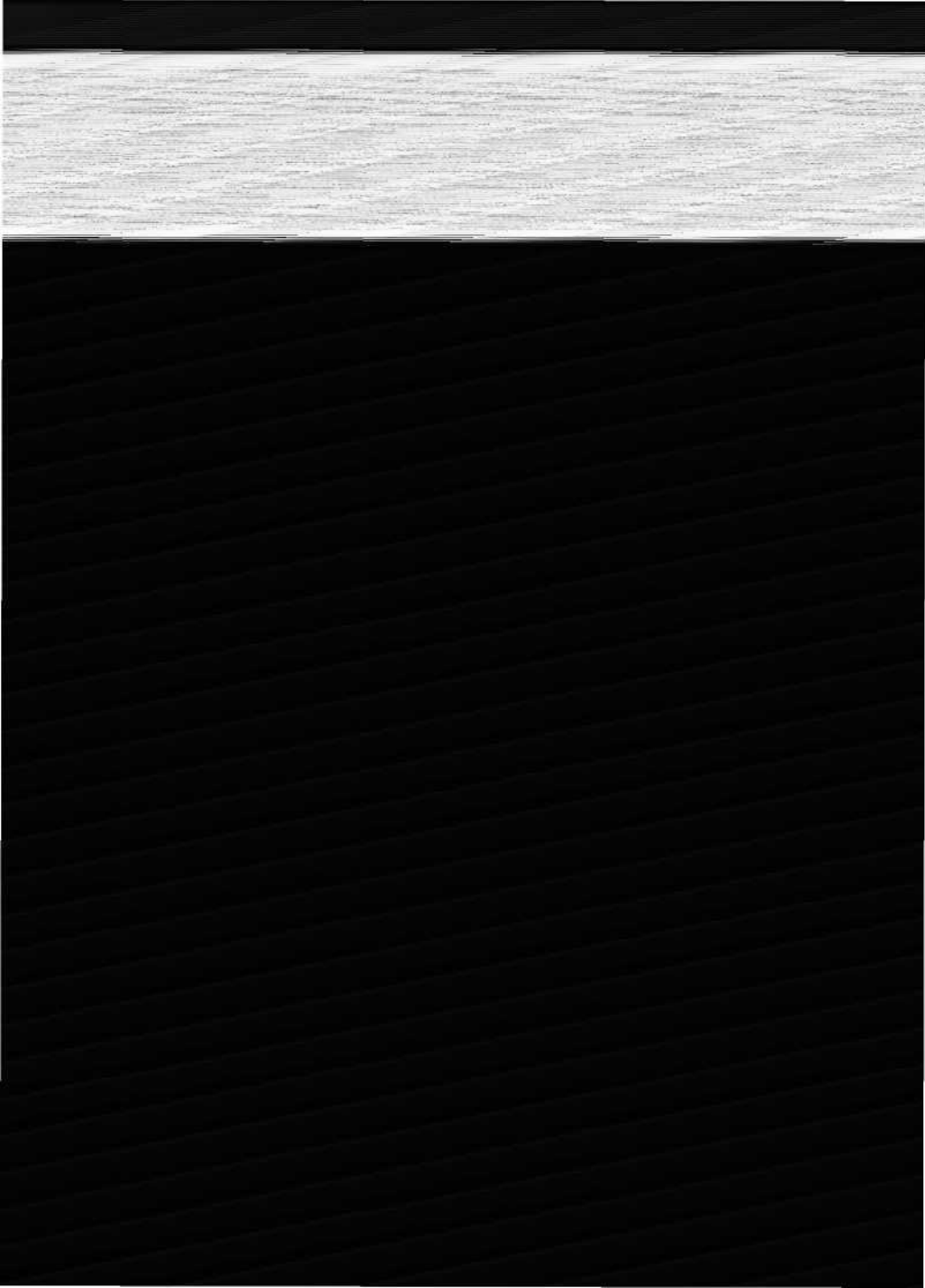
1. KINEMATYKA	3
1.1. Opis ruchu	3
1.1.1. Układy odniesienia	3
1.1.2. Czas	8
1.1.3. Długość, powierzchnia, objętość	9
1.1.4. Kąt	11
1.1.5. Układy mechaniczne	13
1.2. Ruch w jednym wymiarze	14
1.2.1. Prędkość	15
1.2.1.1. Prędkość średnia	15
1.2.1.2. Prędkość chwilowa	16
1.2.2. Przyspieszenie	17
1.2.3. Proste ruchy w jednym wymiarze	19
1.3. Ruch w wielu wymiarach	22
1.3.1. Wektor prędkości	23
1.3.2. Wektor przyspieszenia	25
1.3.3. Spadek swobodny i rzut ukośny	29
1.4. Ruch obrotowy	31
1.4.1. Prędkość kątowa	31
1.4.2. Przyspieszenie kątowe	33
1.4.3. Prędkość liniowa	34
2. DYNAMIKA	36
2.1. Podstawowe prawa dynamiki	36
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
2.2.	Siły	52
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
2.3.	Siły bezwładności w obracającym się układzie odniesienia	59
2.3.1.	Siła dośrodkowa i odśrodkowa	59
2.3.2.	Siła Coriolisa	61
2.4.	Praca i energia	62
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
2.5.	Moc	69
2.5.1.	Sprawność	70
2.6.	Zderzenia	71
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
2.7.	Rakiety	77
2.7.1.	Siła ciągu	77
2.7.2.	Równanie ruchu rakiety	79
2.8.	Układ punktów materialnych	80
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
2.9.	Równania Lagrange'a i Hamiltona	85
2.9.1.	Równania Lagrange'a i zasada Hamiltona	85
2.9.2.	Równania Hamiltona	87
3.	CIAŁA SZTYWNE	90
3.1.	Kinematyka	90
3.1.1.	Gęstość	90
3.1.2.	Środek ciężkości	90
3.1.3.	Kinematyczne wielkości podstawowe	92
3.2.	Statyka	94

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
3.3. Dynamika ciała sztywnego	107
3.4. Moment bezwładności i moment pędu	108
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
3.5. Praca, energia i moc	115
3.5.1. Energia kinetyczna	116
3.5.2. Energia potencjalna skręcenia	118
3.6. Teoria żyroskopu	118
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
4. MIKROMECHANIKA	126
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
5. GRAWITACJA I TEORIA WZGLĘDNOŚCI	133
5.1. Pole grawitacyjne	133
5.1.1. Prawo powszechnego ciążenia	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
5.2. Szczególna teoria względności	141
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
5.3.	Ogólna teoria względności i kosmologia	154
5.3.1.	Gwiazdy i galaktyki	155
5.3.1.1.	Ewolucja gwiazd	156
6.	MECHANIKA CIAŁ ODKSZTAŁCALNYCH	158
6.1.	Teoria sprężystości	158
6.1.1.	Napężenie	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
6.2.	Hydrostatyka	178
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.	Ściśliwość	183
6.2.2.4.	Ciśnienie aerostacyjne	184
6.2.2.5.	Pompy	185
6.2.3.	Wypór	188
6.2.4.	Spójność, przyczepność, napięcie powierzchniowe	191
6.2.4.1.	Właskowatość	193
6.3.	Dynamika cieczy i gazów	194
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 rurze	210
6.3.3.4.	Optyw 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
7. DYNAMIKA NIELINIOWA, CHAOS I FRAKTALE	221
7.1. Układy dynamiczne i chaos	222
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
7.2. Bifurkacje	232
7.2.1. Odwzorowanie logistyczne	233
7.2.2. Uniwersalność	236
7.3. Fraktale	237
OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIALE MECHANIKA	240
8. TABELA DO DZIAŁU MECHANIKA	242
8.1. Gęstości	242
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
8.2. Właściwości sprężyste	249
8.3. Właściwości dynamiczne	253
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
DRGANIA, FALE, AKUSTYKA I OPTYKA	
9. DRGANIA	265
9.1. Swobodne drgania nietłumione	267
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



9.2. Drgania tłumione	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
9.3. Drgania wymuszone	285
9.4. Nakładanie się drgań	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
9.5. Drgania sprzężone	293
10. FALE	296
10.1. Podstawowe własności fal	296
10.2. Polaryzacja	302
10.3. Interferencja	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 pręcie	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
10.4. Zjawisko Dopplera	309
10.4.1. Fala Macha i fale uderzeniowe	311
10.5. Załamanie fali	311
10.6. Odbicie	312
10.6.1. Zależności fazowe	313
10.7. Dyspersja	313
10.8. Ugięcie	314
10.8.1. Ugięcie na szczelinie	314
10.8.2. Siatka dyfrakcyjna	316
10.9. Modulacja fal	317
10.10. Fale na powierzchni cieczy	318
11. AKUSTYKA	320
11.1. Fale dźwiękowe	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 niemiarowane (bezwymiarowe)	326
11.2. Źródła i odbiorniki dźwięku	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
11.3. Ultradźwięki	338
11.4. Akustyka fizjologiczna i słuch	339
11.4.1. Percepcja dźwięku	340
11.4.2. Równoważny poziom dźwięku	341
11.5. Akustyka muzyczna	341
12. OPTYKA	345
12.1. Optyka geometryczna	346
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
12.2. Soczewki	369
12.2.1. Grube soczewki	370
12.2.2. Cienkie soczewki	375
12.3. Układy soczewek	376
12.3.1. Soczewki z przysłonami	377
12.3.2. Wady układu optycznego	377
12.3.2.1. Soczewki gradientowe	379
12.4. Przyrządy optyczne	380
12.4.1. Kamera otwarkowa	380
12.4.2. Aparat fotograficzny	381
12.4.3. Oko	381
12.4.4. Oko i przyrządy optyczne	381
12.4.4.1. Lupa	38
12.4.4.2. Mikroskop	38
12.4.4.3. Luneta	38
12.5. Optyka falowa	38
12.5.1. Rozpraszanie	38
12.5.2. Dyfrakcja i ograniczenie zdolności rozdzielczej	38
12.5.3. Załamanie w obrazie falowym	38
12.5.4. Interferencja	38
12.5.5. Dyfrakcyjne elementy optyczne	38

12.5.5.1.	Siatka dyfrakcyjna	397
12.5.5.2.	Płytką strefową 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
12.6.	Fotometria	409
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
OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIALE DRGANIA, FALE, AKUSTYKA I OPTYKA		420
13.	TABELE DO DZIAŁU DRGANIA, FALE, AKUSTYKA I OPTYKA	422
13.1.	Drgania i akustyka	422
13.2.	Optyka	427
ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM		
14.	ŁADUNKI I PRĄDY	433
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
15.	POLE ELEKTRYCZNE I POLE MAGNETYCZNE	450
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

15.5. Potencjał elektryczny	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
15.6. Polaryzacja elektryczna	466
15.6.1. Dielektryk	467
15.7. Pojemność	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
15.8. Energia i gęstość energii pola elektrycznego	472
15.9. Pole elektryczne na powierzchni granicznej	473
15.10. Pole magnetyczne	474
15.11. Magnetyzm	474
15.11.1. Linie pola magnetycznego	475
15.12. Indukcja magnetyczna	477
15.13. Strumień magnetyczny	479
15.14. Natężenie pola magnetycznego	480
15.15. Obwód magnetyczny	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
15.16. Materia w polu magnetycznym	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
15.17. Pola magnetyczne na powierzchniach granicznych	496
15.18. Indukcja elektromagnetyczna	497
15.18.1. Siła elektromotoryczna indukcji dla ruchomego przewodnika	497
15.18.2. Siła elektromotoryczna indukcji	499
15.19. Samoindukcja	499
15.19.1. Indukcyjności geometrycznych układów przewodników	501
15.19.2. Przewodność magnetyczna	502
15.20. Indukcja wzajemna	503
15.20.1. Transformator	504
15.21. Energia i gęstość energii pola magnetycznego	505
15.22. Równania Maxwella	507
15.22.1. Prąd przesunięcia	508
15.22.2. Fale elektromagnetyczne	509
15.22.3. Wektor Poyntinga	511
16. ELEKTROTECHNIKA	512
16.1. Obwód prądu stałego	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 RL	523
16.2.	Obwód prądu zmiennego	525
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
16.3.	Maszyny elektryczne	553
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
17.	PRZEWODZENIE PRĄDU W CIECZACH, W GAZACH I W PRÓŻNI	561
17.1.	Elektroliza	561
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
17.2.	Prąd elektryczny w gazach	571
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
17.3.	Emisja elektronów	575
17.3.1.	Termoemisja	576
17.3.2.	Fotoemisja	576
17.3.3.	Emisja polowa	577
17.3.4.	Emisja elektronów wtórnych	577
17.4.	Lampy elektronowe	578
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
18.	FIZYKA PLAZMY	584
18.1.	Własności plazmy	584
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.	Thimienie Landaua	596
18.2.	Wytwarzanie plazmy	596
18.2.1.	Termiczne wytwarzanie plazmy	597
18.2.2.	Wytwarzanie plazmy przez kompresję	597
18.2.2.1.	Skurcz magnetyczny	597
18.3.	Wytwarzanie energii za pomocą plazmy	599
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

OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIALE ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM	604
--	-----

19. TABELA DO DZIAŁU ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM	606
19.1. Metale i stopy	606
19.1.1. Opór elektryczny właściwy (oporność)	606
19.1.2. Szereg napięciowy	608
19.2. Dielektryki	611
19.3. Praktyczne tabele elektrotechniki	617
19.4. Własności magnetyczne	619
19.5. Własności ferromagnetyczne	622
19.5.1. Anizotropia magnetyczna	624
19.6. Ferryty	626
19.7. Antyferromagnetyki	626
19.8. Ruchliwość jonów	627

TERMODYNAMIKA

20. RÓWNOWAGA TERMODYNAMICZNA I RÓWNANIA STANU	631
20.1. Układy, fazy i równowaga	631
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
20.2. Parametry termodynamiczne	635
20.2.1. Parametr termodynamiczny, czyli parametr stanu: definicja pojęcia	635

20.6.2.3.	Obszar współistnienia faz	678
20.6.2.4.	Punkt krytyczny	679
20.6.2.5.	Zredukowane równanie van der Waalsa	680
20.6.2.6.	Rozwinięcie wiralne równania van der Waalsa	680
20.6.3.	Równania stanu dla ciał stałych i cieczy	681
20.6.3.1.	Anomalna rozszerzalność wody	683
21.	CIEPŁO I PRZEMIANY TERMODYNAMICZNE	685
21.1.	Formy energii	685
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
21.2.	Przemiany energii	689
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
21.3.	Pojemność cieplna	694
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
21.4.	Przemiany termodynamiczne	701
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
21.5.	Zasady termodynamiki	709
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

21.6. Cykl Carnota	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
21.7. Silniki ciepłne	718
21.7.1. Cykl prosty i cykl odwrótny	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
21.8. Skraplanie gazów	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
22. PRZEMIANY FAZOWE	730
22.1. Fazy i stany skupienia	730
22.1.1. Faza	730
22.1.2. Stany skupienia	730
22.1.3. Zmiany stanu skupienia	731
22.1.4. Para	732
22.2. Rodzaj przemiany fazowej	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 współistnienia faz	735
22.2.5. Wykładniki (indeksy) krytyczne	735
22.3. Przemiany fazowe i gaz van der Waals	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
22.4. Przykłady przemian fazowych	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
22.5. Mieszaniny gazów	745

22.5.1.	Ciśnienie cząstkowe i prawo Daltona	746
22.5.2.	Równanie Eulera i równanie Gibbsa–Duhema	747
22.6.	Układy wielofazowe	748
22.6.1.	Równowaga faz	748
22.6.2.	Reguła faz Gibbsa	748
22.6.3.	Równanie Clausiusa–Clapeyrona	749
22.7.	Prężność pary nad roztworem	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
22.8.	Reakcje chemiczne	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
22.9.	Wyrównywanie temperatur	762
22.9.1.	Temperatura końcowa	763
22.9.2.	Odwracalny i nieodwracalny przebieg procesu	764
22.10.	Przenoszenie ciepła	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
22.11.	Transport ciepła i masy	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
OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIALE TERMODYNAMIKA		787
23.	TABELE DO DZIAŁU TERMODYNAMIKA	790
23.1.	Temperatury charakterystyczne	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
23.2.	Własności gazów rzeczywistych	802
23.3.	Własności cieplne materiałów	804
23.3.1.	Lepkość	804
23.3.2.	Współczynnik rozszerzalności liniowej, ciepło właściwe i współczynnik przewodzenia ciepła	804
23.4.	Przenikanie ciepła	811

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

FIZYKA KWANTOWA

24. FOTONY — PROMIENIOWANIE ELEKTROMAGNETYCZNE ORAZ KWANTY ŚWIATŁA	827
24.1. Prawo promieniowania Plancka	827
24.2. Zjawisko fotoelektryczne	830
24.3. Zjawisko Comptona	832
25. FALE MATERII — MECHANIKA FAŁOWA CZĄSTEK	834
25.1. Natura falowa cząstek	834
25.1.1. Podstawowe założenia mechaniki kwantowej	834
25.1.2. Dualizm falowo-korpuskularny	835
25.2. Zasada nieoznaczoności Heisenberga	836
25.3. Funkcja falowa 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
26. FIZYKA ATOMÓW I CZĄSTECZEK	860
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

27. FIZYKA CZĄSTEK ELEMENTARNYCH — MODEL STANDARDOWY	894
27.1. Unifikacja opisu oddziaływań	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
27.2. Leptony, kwarki i bozony wektorowe	902
27.2.1. Leptony	902
27.2.2. Kwarki	903
27.2.3. Hadrony	905
27.2.4. Akceleratory i detektory	910
27.3. Symetrie a prawa zachowania	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
28. FIZYKA JĄDROWA	919
28.1. Elementy strukturalne jądra atomowego	919
28.2. Podstawowe elementy opisu jądra atomowego	922
28.3. Oddziaływanie nukleon–nukleon	925
28.3.1. Fenomenologiczne postaci potencjału oddziaływania nukleon–nukleon	925
28.3.2. Mezonowe potencjały wymiany	926
28.4. Modele jądra atomowego	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
28.5. Reakcje jądrowe	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

28.6. Rozpad jądra	952
28.6.1. Prawo rozpadu promieniotwórczego	953
28.6.2. Rozpad α	957
28.6.3. Rozpad β	958
28.6.4. Rozpad γ	961
28.6.5. Emisja nukleonów i grom	962
28.7. Reaktor jądrowy	963
28.7.1. Typy reaktorów	965
28.8. Synteza jąder	967
28.9. Oddziaływanie promieniowania z materią	970
28.9.1. Cząstki jonizujące	970
28.9.2. Promieniowanie γ	973
28.10. Dozymetria	975
28.10.1. Metody pomiaru dawki	979
28.10.2. Promieniotwórczość środowiska	981
29. FIZYKA CIAŁA STAŁEGO	984
29.1. Struktura ciała stałego	984
29.1.1. Niektóre podstawowe pojęcia fizyki ciała stałego	984
29.1.2. Budowa kryształów	985
29.1.3. Sieci Bravais'a	987
29.1.3.1. Proste struktury krystalograficzne	990
29.1.4. Metody badań strukturalnych	991
29.1.5. Porównanie wiązań w kryształach	994
29.2. Defekty sieci krystalicznej	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
29.3. Mechaniczne właściwości materiałów	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
29.4. Fonony i drgania sieci	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
29.5. Elektrony w ciele stałym	1021
29.5.1. Swobodny gaz elektronowy	1021
29.5.2. Model pasmowy	1027
29.6. Półprzewodniki	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 Darlingtona	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 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
29.7.	Nadprzewodnictwo	1067
29.7.1.	Podstawowe właściwości nadprzewodników	1068
29.7.2.	Nadprzewodniki wysokotemperaturowe	1072
29.8.	Właściwości magnetyczne	1074
29.8.1.	Ferromagnetyzm	1076
29.8.2.	Antyferromagnetyzm i ferrimagnetyzm	1079
29.9.	Właściwości dielektryczne	1080
29.9.1.	Paraelektryki	1084
29.9.2.	Ferroelektryki	1085
29.10.	Właściwości optyczne kryształów	1086
29.10.1.	Ekscytyny i ich właściwości	1086
29.10.2.	Fotoprzewodnictwo	1088
29.10.3.	Luminescencja	1089
29.10.4.	Właściwości optoelektryczne	1089
	OZNACZENIA LITEROWE UŻYTE W DZIALE FIZYKA KWANTOWA	1091
30.	TABELE DO DZIAŁU FIZYKA KWANTOWA	1096
30.1.	Potencjały jonizacji	1096
30.1.1.	Energie jonizacji pierwiastków	1096
30.2.	Promienie atomów i jonów pierwiastków	1101
30.3.	Emisja elektronów	1104
30.4.	Promieniowanie rentgenowskie	1108
30.5.	Reakcje jądrowe	1108

30.6. Oddziaływanie promieniowania z materią	1109
30.7. Zjawisko Halla	1110
30.8. Nadprzewodniki	1111
30.9. Półprzewodniki	1113
30.9.1. Ciepłe, magnetyczne i elektryczne właściwości półprzewodników	1113

DODATEK

31. POMIAR I BŁĄD POMIARU	1117
31.1. Opis pomiaru	1117
31.1.1. Wielkości i jednostki SI	1117
31.2. Rachunek błędów i statystyka	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
32. RACHUNEK WEKTOROWY	1134
32.1. Wektory i skalary	1134
32.2. Mnożenie wektora przez skalar	1135
32.3. Dodawanie i odejmowanie wektorów	1135
32.4. Mnożenie wektorów	1136
33. RACHUNEK RÓŻNICZKOWY I CAŁKOWY	1139
33.1. Rachunek różniczkowy	1139
33.1.1. Reguły różniczkowania	1139
33.2. Rachunek całkowy	1140
33.2.1. Reguły całkowania	1141
33.2.2. Pochodne i całki funkcji elementarnych	1142
34. UKŁAD SI	1143
Skorowidz	1149