

SPIS TREŚCI

Wstęp	15
Wprowadzenie	
1. Wielkości fizyczne i jednostki	17
1.1. Układy jednostek CGS i MKS. Międzynarodowy układ jednostek miar SI	18
1.1.1. Definicje jednostek podstawowych układu SI	20
1.1.2. Jednostki uzupełniające	23
1.2. Pomiar długości, masy i czasu	25
1.2.1. Pomiar długości	25
1.2.2. Pomiar masy	26
1.2.3. Pomiar czasu	28
2. Elementy analizy matematycznej	29
2.1. Funkcje	29
2.2. Pochodna funkcji	30
2.2.1. Podstawowe wzory rachunku różniczkowego	31
2.3. Rachunek całkowy	34
2.3.1. Całka nieoznaczona	34
2.3.2. Podstawowe twierdzenia i wzory rachunku całkowego	35
2.3.3. Całka oznaczona	36
2.3.4. Całka krzywoliniowa	37
2.3.5. Całka powierzchniowa po rzucie płata	38
2.3.6. Całka objętościowa	39
2.4. Liczby zespolone	40
2.4.1. Działania algebraiczne na liczbach zespolonych	41
3. Elementy rachunku wektorowego	43
3.1. Algebra wektorowa	43
3.1.1. Dodawanie i odejmowanie wektorów	43
3.1.2. Mnożenie wektora przez skalar	45
3.1.3. Składowe i współrzędne wektora	45
3.1.4. Iloczyn skalarny dwóch wektorów	46
3.1.5. Iloczyn wektorowy dwóch wektorów	47
3.1.6. Iloczyn trzech wektorów	48
3.2. Analiza wektorowa	50
3.2.1. Pochodna wektora względem argumentu skalarnego	50
3.2.2. Pole skalarne	51
3.2.3. Pole wektorowe	51
3.2.4. Gradient pola skalarnego	51
3.2.5. Operator nabra. Dywergencja i rotacja pola wektorowego	52
3.2.6. Twierdzenie Stokesa i twierdzenie Gaussa-Ostrogradskiego	54
3.3. Tensor	55
I. Mechanika	
4. Kinematyka punktu materialnego	57
4.1. Ruch bezwzględny i względny. Równania ruchu. Układy współrzędnych	57
4.2. Ruch prostoliniowy	60
4.2.1. Prędkość i przyspieszenie ruchu. Ruch jednostajny	60

SPIS TREŚCI

4.2.2.	Prędkość i droga w ruchu jednostajnie zmiennym	62
4.3.	Ruch krzywoliniowy	64
4.3.1.	Ruch jednostajny po okręgu	65
4.3.2.	Przyspieszenie styczne i normalne w ruchu krzywoliniowym. Przyspieszenie w ruchu po okręgu	67
5.	Dynamika punktu materialnego	69
5.1.	Pojęcie siły. Zasady dynamiki	69
5.2.	Druga zasada dynamiki	70
5.2.1.	Pęd. Popęd siły	70
5.2.2.	Siła ciężkości	71
5.3.	O sile	71
5.3.1.	Jednostki siły. Ciężarowy układ jednostek	71
5.3.2.	Pomiar siły	72
5.3.3.	Równoczesne działanie kilku sił na punkt materialny	73
5.3.4.	Moment siły	74
5.3.5.	Moment pary sił	75
5.3.6.	Rodzaje sił	76
5.4.	Trzecia zasada dynamiki. Siły wymuszone	77
5.5.	Kręt punktu materialnego	77
5.5.1.	Siła centralna. Prędkość połowa	78
5.6.	Ruch punktu materialnego po okręgu	79
5.6.1.	Kręt punktu materialnego w ruchu po okręgu	79
5.6.2.	Siła dośrodkowa	80
5.7.	Ruchome układy odniesienia. Układy inercjalne	81
5.8.	Przyspieszony układ odniesienia w ruchu postępowym. Siła bezwładności	83
5.9.	Nieinercjalny układ odniesienia przy równoczesnym ruchu postępowym i obrotowym	85
5.9.1.	Siły bezwładności w wirującym układzie odniesienia: siła odśrodkowa i siła Coriolisa	88
5.10	Praca. Moc	93
5.11.	Energia mechaniczna	95
5.11.1.	Energia kinetyczna	95
5.11.2.	Energia potencjalna	95
5.11.3.	Zasada zachowania energii. Układ odosobniony	96
6.	Dynamika układu punktów materialnych i ciała sztywnego	97
6.1.	Stopnie swobody ruchu	97
6.1.1.	Ruch postępowy i obrotowy ciała sztywnego	98
6.2.	Ciężar właściwy i gęstość	99
6.3.	Środek masy	100
6.3.1.	Ruch środka masy	101
6.4.	Zasada zachowania pędu dla układu punktów materialnych	102
6.5.	Zastosowanie zasady zachowania pędu do procesu zderzenia	103
6.5.1.	Centralne zderzenie niesprężyste	104
6.5.2.	Centralne zderzenie sprężyste	105
6.6.	Napęd odrzutowy	107
6.6.1.	Napęd rakietowy	108
6.7.	Ruch obrotowy układu punktów materialnych ciała sztywnego wokół osi stałej	110
6.7.1.	Kręt w ruchu obrotowym wokół osi stałej	110
6.7.2.	Moment bezwładności ciała sztywnego. Twierdzenie Steinera	111
6.7.3.	Druga zasada dynamiki dla ruchu obrotowego wokół osi stałej	115
6.7.4.	Zasada zachowania krętu	117
6.7.5.	Energia kinetyczna w ruchu obrotowym wokół osi stałej	119
6.7.6.	Analogie między wielkościami fizycznymi ruchu postępowego i obrotowego	120
6.8.	Ruch złożony swobodnego ciała sztywnego	120
6.8.1.	Układ sił działających na ciało sztywne	120
6.8.2.	Ruch ciała sztywnego pod działaniem układu sił	123
6.8.3.	Energia kinetyczna ciała sztywnego w dowolnym ruchu	124
6.9.	Ruch obrotowy ciała sztywnego wokół osi swobodnej	126
6.9.1.	Elipsoida bezwładności. Główne osie bezwładności	128
6.9.2.	Bąk symetryczny i bąk symetryczny swobodny	130

6.10	Ruch precesyjny	132
6.10.1.	Precesja pod wpływem siły ciężkości. Precesja żyroskopu	132
6.10.2.	Precesja wymuszona	134
6.10.3.	Precesja kuli ziemskiej	134
6.10.4.	Nutacja	135
6.11.	Ciążenie powszechne (gravitacja)	135
6.11.1.	Prawo powszechnego ciężenia	135
6.11.2.	Pomiar stałej grawitacji	136
6.11.3.	Ciążenie powszechne na powierzchni Ziemi	136
6.11.4.	Prawa Keplera	137
6.11.5.	Pole potencjalne sił grawitacyjnych	138
6.12.	Tarcie	142
6.12.1.	Tarcie przy poślizgu	142
6.12.2.	Tarcie przy toczeniu	145
7.	Własności sprężyste ciał	146
7.1.	Prawo Hooke'a. Ciśnienie	146
7.2.	Własności sprężyste izotropowych ciał stałych	147
7.2.1.	Odształcenia objętości	148
7.2.2.	Odształcenia postaci	148
7.2.3.	Rozciąganie i ściskanie	150
7.2.4.	Ugięcie belek	151
7.2.5.	Granica proporcjonalności, sprężystości i wytrzymałości. Odształcenie plastyczne	152
7.3.	Własności kryształów	153
7.4.	Sprężystość cieczy i gazów	154
8.	Mechanika cieczy i gazów	155
8.1.	Hydrostatyka i aerostatyka	156
8.1.1.	Prawo Pascala	156
8.1.2.	Ciśnienie hydrostatyczne	158
8.1.3.	Ciśnienie atmosferyczne. Barometry. Manometry	160
8.1.4.	Prawo Archimedes'a. Pływanie ciał. Aerometr	164
8.2.	Dynamika cieczy doskonałej	167
8.2.1.	Prawo ciągłości	167
8.2.2.	Równanie Bernoulliego	168
8.2.3.	Doświadczenia ilustrujące równanie Bernoulliego	170
8.2.4.	Wzór Torricellego	172
8.3.	Dynamika cieczy rzeczywistej	173
8.3.1.	Współczynnik lepkości cieczy	174
8.3.2.	Przepływ strumienia laminarnego przez rurę. Prawo Hagena-Poiseuille'a	175
8.3.3.	Prawo Stókesa	177
8.3.4.	Opór tarcia i opór ciśnienia	178
8.3.5.	Prawo podobieństwa hydrodynamicznego. Liczba Reynoldsa	180
8.4.	Przepływ potencjalny, cyrkulacja, wiry	182
8.4.1.	Przepływ potencjalny	183
8.4.2.	Stała cyrkulacja	183
8.4.3.	Ruch wirowy. Wiry	184
8.4.4.	Parcie aerodynamiczne. Płat lotniczy	185
9.	Ruch drgający	188
9.1.	Ruch harmoniczny	188
9.1.1.	Energia w ruchu harmonicznym	191
9.1.2.	Wahadło matematyczne	192
9.1.3.	Wahadło fizyczne, wahadło torsyjne i wahadło rewersyjne	194
9.2.	Superpozycja drgań harmonicznnych liniowych	198
9.2.1.	Superpozycja drgań o jednakowym okresie	198
9.2.2.	Superpozycja drgań o różnych okresach	199
9.2.3.	Superpozycja drgań o mało różniących się okresach. Dudnienia	200
9.2.4.	Superpozycja drgań o kierun. wzajemnie prostopadłych. Krzywe Lissajous	202
9.3.	Ruch drgający tłumiony. Drgania wymuszone. Rezonans	204
9.3.1.	Ruch drgający tłumiony	204
9.3.2.	Drgania wymuszone. Rezonans	206

SPIS TREŚCI

10. Ruch falowy	209
10.1. Równanie falowe. Fale harmoniczne	210
10.2. Prędkość rozchodzenia się fal sprężystych	212
10.3. Równanie różniczkowe fali	215
10.4. Interferencja fal	217
10.4.1. Fale stojące. Częstotliwości własne	219
10.4.2. Fale koherentne	222
10.4.3. Prędkość grupowa.	222
10.5. Zjawisko Dopplera	223
10.6. Zasada Huygensa	226
10.7. Prawa odbicia i załamania	229
10.8. Zasada Fermata	230
11. Akustyka	231
11.1. Charakterystyka dźwięków. Analiza Fouriera	231
11.2. Liniowe źródło dźwięku	235
11.2.1. Drganie struny	235
11.2.2. Drgania prętów	237
11.2.3. Drgania słupów powietrza	239
11.3. Drgania własne. Dwuwymiarowe źródła dźwięku: membrany i płyty	241
11.4. Ultradźwięki, ich wytwarzanie i zastosowanie	242
11.5. Natężenie dźwięku	244
11.5.1. Czułość ucha ludzkiego	244
11.6. Odbieranie wrażeń dźwiękowych. Budowa ucha ludzkiego	246
11. Nauka o ciepłe	
12. Termometria, rozszerzalność ciał, kalorymetria	249
12.1. Temperatura i jej pomiar	249
12.1.1. Termometr gazowy i skala bezwzględna temperatur	251
12.1.2. Inne rodzaje termometrów	253
12.2. Rozszerzalność ciał stałych i ciekłych	253
12.2.1. Rozszerzalność liniowa	253
12.2.2. Rozszerzalność powierzchniowa i objętościowa	256
12.2.3. Rozszerzalność cieczy	257
12.3. Kalorymetria	258
12.4. Przemiany gazowe	260
12.4.1. Równanie stanu gazu doskonałego. Wzór barometryczny	260
12.4.2. Gaz rzeczywisty. Równanie van der Waalsa	263
12.4.3. Izotermy pary i gazu	266
13. Molekularno-kinetyczna teoria gazów	268
13.1. Podstawowe pojęcia fizyki molekularnej	268
13.2. Podstawowe równanie kinetycznej teorii gazów	268
13.3. Maxwellowski rozkład prędkości cząsteczek	272
13.3.1. Pomiar prędkości cząsteczek gazu	273
13.4. Ruchy Browna	274
13.5. Wyznaczanie liczby Avogadra	275
13.6. Rozkład Boltzmanna	276
13.7. Średnia liczba zderzeń i średnia droga swobodna	277
13.8. Podstawy teorii transportu	279
13.8.1. Lepkość gazu	279
13.8.2. Przewodnictwo cieplne gazu	282
13.8.3. Dyfuzja gazu	284
13.9. Zjawiska wysokiej próżni	288
13.9.1. Dyfuzja gazów silnie rozrzedzonych przez ścianę porowatą	288
13.9.2. Efektywność transportu gazu rozrzedzonego przez cienki przewód i prawo Ohma dla układów wysokiej próżni	290
13.9.3. Osiąganie stanu wysokiej próżni	291
13.9.4. Pomiar wysokiej próżni	294
14. Pierwsza zasada termodynamiki	296
14.1. Wstępne sformułowanie I zasady termodynamiki	296
14.2. Energia wewnętrzna układu	299

14.2.1.	Energia wewnętrzna gazu doskonałego. Ciepło właściwe gazu w stałej objętości	301
14.3.	Praca ciśnienia przy zmianie objętości gazu.	302
14.3.1.	Ciepło właściwe gazu doskonałego przy stałym ciśnieniu	302
14.3.2.	Praca przy izotermicznym sprężaniu lub rozprężaniu gazu doskonałego	304
14.3.3.	Praca przy adiabatycznym sprężaniu i rozprężaniu gazu doskonałego	305
14.4.	Energia wewnętrzna gazu rzeczywistego	305
14.4.1.	Doświadczenie Joule'a	305
14.4.2.	Zjawisko Joule'a-Thomsona	307
14.5.	Równanie Poissona	309
14.6.	Entalpia. Proces dławikowy	310
14.7.	Skraplanie gazów i osiąganie niskich temperatur	311
14.7.1.	Metoda kaskadowa	311
14.7.2.	Metoda Lindego	312
14.7.3.	Metoda rozprężania adiabatycznego z wykonaniem pracy	313
14.7.4.	Osiąganie najniższych temperatur	314
15.	Druga i trzecia zasada termodynamiki	314
15.1.	Procesy odwracalne i nieodwracalne. Procesy quasistatyczne	314
15.2.	Sformułowanie drugiej zasady termodynamiki	315
15.3.	Cykl Carnota	316
15.4.	Twierdzenie Carnota	320
15.5.	Entropia	321
15.5.1.	Przykłady obliczania entropii	323
15.5.2.	Zmiana entropii w procesach nieodwracalnych	323
15.5.3.	Sformułowanie II zasady termodynamiki na podstawie pojęcia entropii	325
15.5.4.	Entropia a prawdopodobieństwo termodynamiczne stanu	325
15.6.	Obiegi techniczne	326
15.6.1.	Silniki spalinowe z zapłonem iskrowym	326
15.6.2.	Silnik spalinowy wysokoprężny (Diesla)	327
15.6.3.	Cykl parowej maszyny tłokowej	328
15.6.4.	Maszyna chłodząca	329
15.7.	Trzecia zasada termodynamiki	330
16.	Ciała stałe, ciecze, roztwory	330
16.1.	Zmiany stanu skupienia	330
16.1.1.	Topnienie	331
16.1.2.	Parowanie i wrzenie	331
16.1.3.	Sublimacja	332
16.1.4.	Zmiana siatki krystalicznej	333
16.1.5.	Ciepło przemiany. Temperatura zmiany stanu skupienia	333
16.1.6.	Punkt potrójny. Wykres fazowy	333
16.1.7.	Przechłodzenie i przegrzanie	334
16.1.8.	Ciała bezpostaciowe	334
16.2.	Para nasycona	335
16.2.1.	Zależność temperatury wrzenia od ciśnienia zewnętrznego	338
16.2.2.	Równanie Clausiusa-Clapeyrona	339
16.3.	Napięcie powierzchniowe	341
16.3.1.	Ciśnienie błon zakrzywionych	343
16.3.2.	Krople oliwy na powierzchni wody	345
16.3.3.	Kształt powierzchni swobodnej cieczy	345
16.3.4.	Ciecz w naczyniach włoskowatych	346
16.4.	Fizyczne własności roztworów	347
16.4.1.	Krzepnięcie roztworów. Prawo Raoult'a	348
16.4.2.	Stopy o niskiej temperaturze topnienia	349
16.4.3.	Ciśnienie pary nasyconej nad roztworem, wrzenie roztworów	350
16.4.4.	Osmoza, kohezja, adhezja	350
III. Nauka o elektryczności		
17.	Elektrostatyka	353
17.1.	Elektryzowanie ciał przez potarcie	353
17.2.	Prawo zachowania ładunku. Ładunek elementarny	354
17.3.	Elektroskopy	355
17.4.	Gęstość powierzchniowa ładunku	356

17.5.	Prawo Coulomba. Układy jednostek. Przenikalność elektryczna próżni	358
17.6.	Pole elektrostatyczne. Natężenie pola	361
17.6.1.	Pole ładunku punktowego	362
17.6.2.	Przestrzenny obraz pola elektrostatycznego	363
17.6.3.	Twierdzenie Gaussa-Ostrogradskiego	364
17.6.4.	Pole wewnątrz przewodnika i w jego pobliżu	365
17.6.5.	Pole nieskończenie wielkiej równomiernie naładowanej płaszczyzny	366
17.6.6.	Zestawienie wzorów w układzie CGS	368
17.7.	Potencjał elektryczny	368
17.7.1.	Podstawowe twierdzenie pola elektrostatycznego	368
17.7.2.	Napięcie i potencjał	370
17.7.3.	Potencjał pola wytworzonego przez kilka ładunków punktowych oraz przez ładunek na powierzchni przewodnika	372
17.7.4.	Opis wektorowy i skalarny pola elektrostatycznego	373
17.7.5.	Powierzchnie ekwipotencjalne	374
17.7.6.	Dipol elektryczny	375
17.7.7.	Zestawienie wzorów w układzie CGS	376
17.8.	Pomiar potencjału	376
17.9.	Indukcja elektrostatyczna	377
17.9.1.	Doświadczenia z puszką Faradaya	379
17.9.2.	Elektrofor	380
17.10.	Pole elektrostatyczne w dielektrykach	381
17.10.1.	Prawa załamania wektorów E i D na granicy dwóch dielektryków	383
17.10.2.	Pomiar wektorów E i D wewnątrz dielektryka (cieczy lub gazu)	385
17.11.	Pojemność elektryczna	386
17.11.1.	Kondensator płaski	388
17.11.2.	Kondensator kulisty	389
17.11.3.	Kondensator cylindryczny	390
17.11.4.	Łączenie równoległe i szeregowe kondensatorów	390
17.11.5.	Zestawienie wzorów w układzie CGS	391
17.12.	Polaryzacja dielektryków	391
17.12.1.	Gęstość ładunków indukowanych	392
17.12.2.	Wektor polaryzacji	396
17.12.3.	Prąd polaryzacji	397
17.12.4.	Zestawienie wzorów w układzie CGS	397
17.13.	Energia pola elektrostatycznego	398
17.13.1.	Siła działająca między dwiema płytami kondensatora płaskiego	399
17.13.2.	Zestawienie wzorów w układzie CGS	400
17.14.	Zjawisko piezoelektryczne	400
17.15.	Zjawisko piroelektryczne	402
17.16.	Napięcie kontaktowe	402
17.16.1.	Napięcie kontaktowe na powierzchni granicznej dielektryków	402
17.16.2.	Napięcie kontaktowe w przewodnikach	403
17.16.3.	Ogniwa galwaniczne	404
18.	Stacjonarny prąd elektryczny	406
18.1.	Prąd elektryczny. Natężenie i gęstość prądu	406
18.2.	Prawo Ohma	408
18.3.	Zależność oporu od temperatury	411
18.3.1.	Nadprzewodnictwo	412
18.3.2.	Termistory	413
18.4.	Prawa Kirchhoffa	414
18.4.1.	Łączenie równoległe oporów	415
18.4.2.	Łączenie szeregowe oporów	416
18.5.	Ciepło Joule'a-Lentza	417
18.6.	Termoelektryczność. Zjawisko Peltiera i Thomsona	418
19.	Pole magnetyczne prądu elektrycznego	421
19.1.	Doświadczenie Oersteda	421
19.2.	Siła Lorentza. Indukcja magnetyczna	422
19.3.	Prawo Biota-Savarta	423
19.3.1.	Pole magnetyczne długiego przewodu prostoliniowego	425
19.3.2.	Siła działająca między dwoma równoległymi przewodami z prądem	426

19.3.3.	Pole magnetyczne obwodu kołowego	427
19.3.4.	Pole magnetyczne solenoidu	428
19.3.5.	Pole magnetyczne toroidu. Natężenie pola magnetycznego	429
19.4.	Własności magnetyczne ciał	431
19.4.1.	Ferromagnetyki	431
19.4.2.	Teoria magnetyzmu Ampère'a	433
19.4.3.	Załamanie się wektorów B i H na granicy dwóch ośrodków	434
19.5.	Prawo Ohma dla obwodu magnetycznego	435
19.6.	Moment magnetyczny zamkniętego obwodu płaskiego	437
19.7.	Moment magnetyczny magnesu. Prawo Coulomba dla magnesów	438
19.8.	Elektryczne przyrządy pomiarowe	440
19.8.1.	Przyrządy do pomiarów prądu stałego	440
19.8.2.	Przyrządy do pomiarów prądu zmiennego	441
19.8.3.	Pomiar ładunku przepływającego podczas krótkotrwałych impulsów prądu: galwanometr balistyczny	442
20.	Indukcja elektromagnetyczna	442
20.1.	Zjawisko indukcji elektromagnetycznej	442
20.1.1.	Prądy wirowe	445
20.1.2.	Współczynnik indukcji wzajemnej	446
20.1.3.	Współczynnik indukcji własnej (samoindukcji)	447
20.2.	Energia magnetyczna cewki	447
20.3.	Zasada działania prądnicy	448
20.4.	Obwód prądu zmiennego	451
20.4.1.	Natężenie i napięcie skuteczne prądu zmiennego	451
20.4.2.	Moc prądu zmiennego	452
20.4.3.	Elementy R , L , C w obwodzie prądu stałego i prądu zmiennego. Impedancja	453
20.4.4.	Opór indukcyjny, pojemnościowy i opór omowy w obwodzie prądu zmiennego	456
20.4.5.	Metoda wektorowego sumowania napięć w obwodzie RLC	459
20.4.6.	Transformatory	460
20.5.	Prąd trójfazowy	462
20.5.1.	Wytwarzanie prądu trójfazowego	462
20.5.2.	Wirujące pole magnetyczne. Silnik prądu trójfazowego	463
20.6.	Podstawowe prawa elektrodynamiki	465
20.6.1.	Równania Maxwella w postaci całkowitej	465
20.6.2.	Drugie uogólnione prawo Kirchhoffa	468
20.7.	Drgania elektryczne. Fale elektromagnetyczne	469
20.7.1.	Obwód drgający. Drgania zanikające	469
20.7.2.	Obwód RC . Drgania relaksacyjne	471
20.7.3.	Drgania elektryczne niezanikające w obwodzie RLC	473
20.7.4.	Drgania wymuszone. Rezonans	474
20.7.5.	Prędkość rozchodzenia się drgań elektrycznych wzdłuż przewodów. Fale stojące	475
20.7.6.	Rozchodzenie się fal elektromagnetycznych. Oscylator Hertza	477
20.8.	Równania Maxwella	480
20.8.1.	Równania Maxwella w postaci różniczkowej	480
20.8.2.	Rozwiązanie równań Maxwella dla fali płaskiej	482
20.9.	Jednostki i wymiary wielkości elektromagnetycznych	484
21.	Prąd elektryczny w elektrolitach i gazach	492
21.1.	Prawa elektrolizy Faradaya	492
21.2.	Prąd elektryczny w gazach	494
IV. Optyka		
22.	Optyka geometryczna	499
22.1.	Podstawowe prawa optyki geometrycznej	499
22.2.	Źródła światła. Zjawisko odbicia	500
22.3.	Powstawanie obrazu	501
22.3.1.	Otrzymywanie obrazu przy użyciu zwierciadła płaskiego	502
22.3.2.	Otrzymywanie obrazu przy użyciu zwierciadła sferycznego	503
22.4.	Zjawisko załamania światła	508

22.4.1.	Załamanie światła w pryzmacie	509
22.4.2.	Rozszczenie światła w pryzmacie	511
22.4.3.	Zjawisko całkowitego odbicia światła	511
22.4.4.	Załamanie światła przy przejściu przez płytkę płasko-równoległą	513
22.4.5.	Załamanie światła na powierzchni kulistej	514
22.4.6.	Otrzymywanie obrazów przy użyciu soczewek	520
22.5.	Wady odwzorowania soczewek	526
22.6.	Przyrządy optyczne	529
22.6.1.	Aparat projekcyjny	529
22.6.2.	Aparat fotograficzny	530
22.6.3.	Oko	531
22.6.4.	Lupa	534
22.6.5.	Luneta	535
22.6.6.	Mikroskop	537
22.6.7.	Spektroskop	539
22.6.8.	Refraktometr	540
23.	Dyspersja, interferencja i dyfrakcja światła	542
23.1.	Dyspersja światła	542
23.2.	Absorpcja światła	544
23.3.	Widma	545
23.3.1.	Widma emisyjne	545
23.3.2.	Widma absorpcyjne	545
23.4.	Widzenie barwne	545
23.5.	Interferencja światła	548
23.6.	Interferencja w cienkich warstwach	551
23.6.1.	Doświadczenia Pohl'a	552
23.6.2.	Pierścienie Newtona	553
23.7.	Interferometry	555
23.7.1.	Interferometry Jamina i Michelsona	555
23.7.2.	Interferencja dużej liczby wiązek światła	557
23.8.	Dyfrakcja światła. Strefy Fresnela	560
23.8.1.	Dyfrakcja na przesłonie kołowej	560
23.8.2.	Dyfrakcja na prostoliniowym brzegu przesłony	561
23.8.3.	Spirala Cornu	562
23.8.4.	Dyfrakcja w szczelinie	563
23.8.5.	Siatka dyfrakcyjna	566
23.9.	Zdolność rozdzielcza przyrządów optycznych	566
23.9.1.	Zdolność rozdzielcza mikroskopu	567
23.9.2.	Zdolność rozdzielcza teleskopu	568
24.	Polaryzacja i podwójne załamanie światła	568
24.1.	Polaryzacja światła przy odbiciu i załamaniu	568
24.1.1.	Światło spolaryzowane	570
24.1.2.	Wzory Fresnela. Prawo Brewstera	572
24.1.3.	Polaryzacja światła przy rozproszeniu	573
24.2.	Polaryzacja światła przy podwójnym załamaniu	573
24.2.1.	Kryształy podwójnie łamiące	575
24.2.2.	Polaryzatory	578
24.3.	Interferencja światła spolaryzowanego	578
24.3.1.	Płytką z kryształu podwójnie łamiącego wyciętą równolegle do osi, wstawioną między polaroidy równoległe albo skrzyżowane	580
24.3.2.	Klin wycięty równoległe do osi optycznej kryształu podwójnie łamiącego	580
24.3.3.	Płytką wyciętą prostopadle do osi optycznej kryształu podwójnie łamiącego wstawioną między polaroidy	582
24.4.	Zjawisko Kerra i Cottona-Moutona	583
24.5.	Skęćanie płaszczyzny polaryzacji	584
24.5.1.	Efekt Faradaya	584
25.	Promieniowanie elektromagnetyczne. Teoria promieniowania	584
25.1.	Widmo fal elektromagnetycznych	586
25.1.1.	Fale radiowe	587
25.1.2.	Promieniowanie podczerwone	587
25.1.3.	Promieniowanie widzialne	587
25.1.4.	Promieniowanie nadfioletowe	588

25.1.5.	Promieniowanie rentgenowskie	588
25.2.	Promieniowanie ciepłe	588
25.3.	Prawo Kirchhoffa	589
25.4.	Ciało doskonale czarne	590
25.4.1.	Promieniowanie ciała doskonale czarnego	590
25.4.2.	Prawo Stefana-Boltzmana	592
25.4.3.	Prawo przesunięć Wiena	592
25.4.4.	Prawo promieniowania Wiena	592
25.4.5.	Wzór Rayleigha-Jeansa	593
25.5.	Prawo Plancka	594
26.	Fotometria	596
26.1.	Fotometria energetyczna	596
26.2.	Fotometria wizualna	598
27.	Teoria względności	601
27.1.	Niezmienniczość prędkości światła	601
27.2.	Transformacja Lorentza	603
27.2.1.	Względność równoczesności	604
27.2.2.	Dylatacja (wydłużenie) czasu	604
27.2.3.	Kontrakcja (skrócenie) długości	604
27.2.4.	Twierdzenie relatywistyczne o składaniu prędkości	605
27.3.	Niezmienniczość praw fizycznych	606
27.4.	Równoważność masy i energii	607
27.4.1.	Energia i pęd cząstki relatywistycznej	609
27.5.	Przykłady zjawisk relatywistycznych	610
27.5.1.	Paradoks bliźniąt	610
27.5.2.	Optyczne zjawisko Dopplera	611
27.5.3.	Powstawanie magnetyzmu	612
Literatura		616
Skorowidz rzeczowy		617