

Spis treści

Przedmowa	11
Wstęp: Czym jest elektrodynamika i jakie jest jej miejsce w fizyce?	13
1. Analiza wektorowa	19
1.1. Algebra wektorów	19
1.1.1. Operacje na wektorach	19
1.1.2. Algebra wektorów: zapis za pomocą współrzędnych	22
1.1.3. Iloczyny wielokrotne	25
1.1.4. Wektory położenia, przesunięcia i różnice położeni	27
1.1.5. Własności transformacyjne wektorów	28
1.2. Rachunek różniczkowy	31
1.2.1. „Zwykłe” pochodne	31
1.2.2. Gradient	32
1.2.3. Operator ∇	34
1.2.4. Dywergencja	35
1.2.5. Rotacja	37
1.2.6. Reguły obliczania pochodnych iloczynów funkcji	39
1.2.7. Drugie pochodne	41
1.3. Rachunek całkowy	43
1.3.1. Całki krzywoliniowe, powierzchniowe i objętościowe	43
1.3.2. Podstawowe twierdzenia rachunku różniczkowego i całkowego	48
1.3.3. Podstawowe twierdzenie dla gradientów	49
1.3.4. Podstawowe twierdzenie dla dywergencji	51
1.3.5. Podstawowe twierdzenie dla rotacji	54
1.3.6. Całkowanie przez części	57
1.4. Współrzędne krzywoliniowe	58
1.4.1. Współrzędne kuliste	58
1.4.2. Współrzędne walcowe	64
1.5. Funkcja delta Diraca	65
1.5.1. Dywergencja funkcji δ/r^2	65
1.5.2. Funkcja delta Diraca w jednym wymiarze	67
1.5.3. Funkcja delta Diraca w trzech wymiarach	70
1.6. Teoria pól wektorowych	73
1.6.1. Twierdzenie Helmholtza	73
1.6.2. Potencjały	74
2. Elektrostatyka	79
2.1. Pole elektryczne	79
2.1.1. Wstęp	79

2.1.2. Prawo Coulomba	80
2.1.3. Pole elektryczne	81
2.1.4. Ciągłe rozkłady ładunku	82
2.2. Dywergencja i rotacja pola elektrostatycznego	86
2.2.1. Linie pola, strumień i prawo Gaussa	86
2.2.2. Dywergencja E	91
2.2.3. Zastosowania prawa Gaussa	92
2.2.4. Rotacja E	98
2.3. Potencjał elektryczny	100
2.3.1. Wstępne uwagi o potencjale	100
2.3.2. Uwagi dotyczące potencjału	102
2.3.3. Równanie Poissona i równanie Laplace'a	105
2.3.4. Potencjał zlokalizowanego rozkładu ładunku	106
2.3.5. Podsumowanie; warunki brzegowe (graniczne) w elektrostatyce	110
2.4. Praca i energia w elektrostatyce	113
2.4.1. Praca wykonana przy przesunięciu ładunku	113
2.4.2. Energia układu ładunków punktowych	114
2.4.3. Energia ciągłego rozkładu ładunku	116
2.4.4. Komentarze na temat energii elektrostatycznej	118
2.5. Przewodniki	120
2.5.1. Podstawowe właściwości	120
2.5.2. Ładunki indukowane	122
2.5.3. Ładunki powierzchniowe i siła działająca na przewodnik	125
2.5.4. Kondensatory	127
3. Specjalne metody elektrostatyki	134
3.1. Równanie Laplace'a	134
3.1.1. Wprowadzenie	134
3.1.2. Równanie Laplace'a w jednym wymiarze	135
3.1.3. Równanie Laplace'a w dwóch wymiarach	136
3.1.4. Równanie Laplace'a w trzech wymiarach	138
3.1.5. Warunki brzegowe i twierdzenie o jednoznaczności	140
3.1.6. Przewodniki i drugie twierdzenie o jednoznaczności	142
3.2. Metoda obrazów	146
3.2.1. Klasyczny przykład zastosowania metody obrazów	146
3.2.2. Indukowane ładunki powierzchniowe	147
3.2.3. Siła i energia	148
3.2.4. Inne zadania związane z metodą obrazów	149
3.3. Metoda separacji (rozdzielania) zmiennych	152
3.3.1. Współrzędne kartezjańskie	153
3.3.2. Współrzędne kuliste	162
3.4. Rozwinięcie multipolowe	171
3.4.1. Przybliżona postać potencjału na dużych odległościach	171
3.4.2. Człony monopolowy i dipolowy	175
3.4.3. Problem początku układu współrzędnych w rozwinięciu multipolowym	177
3.4.4. Natężenie pola elektrycznego dipola	178
4. Pola elektryczne w materii	187
4.1. Polaryzacja elektryczna	187
4.1.1. Dielektryki	187
4.1.2. Indukowany moment dipolowy	187
4.1.3. Zmiana orientacji momentów dipolowych cząsteczek polarnych	190
4.1.4. Polaryzacja elektryczna	193

4.2. Pole ciała spolaryzowanego	194
4.2.1. Ładunki związane	194
4.2.2. Fizyczna interpretacja ładunków związanych	197
4.2.3. Pole w dielektryku	200
4.3. Pole indukcji elektrycznej	202
4.3.1. Prawo Gaussa w obecności dielektryków	202
4.3.2. Zwodnicze podobieństwo	205
4.3.3. Warunki brzegowe (graniczne)	206
4.4. Dielektryki liniowe	207
4.4.1. Podatność elektryczna i przenikalność elektryczna	207
4.4.2. Zagadnienia brzegowe w obecności dielektryków liniowych	214
4.4.3. Energia w układach z dielektrykami	219
4.4.4. Siły działające na dielektryki	222
5. Magnetostatyka	230
5.1. Siła Lorentza	230
5.1.1. Pole magnetyczne	230
5.1.2. Siły magnetyczne	232
5.1.3. Prądy	236
5.2. Prawo Biota-Savarta	243
5.2.1. Prądy stałe	243
5.2.2. Pole magnetyczne liniowego prądu stałego	244
5.3. Dywergencja i rotacja $\mathbf{B}$	249
5.3.1. Prądy prostoliniowe	249
5.3.2. Dywergencja i rotacja $\mathbf{B}$	251
5.3.3. Zastosowania prawa Ampère'a	253
5.3.4. Porównanie magnetostatyki i elektrostatyki	261
5.4. Magnetyczny potencjał wektorowy	263
5.4.1. Potencjał wektorowy	263
5.4.2. Podsumowanie; magnetostyczne warunki brzegowe	270
5.4.3. Multipolowe rozwinięcie potencjału wektorowego	272
6. Pola magnetyczne w materii	285
6.1. Magnetyzacja	285
6.1.1. Diamagnetyki, paramagnetyki, ferromagnetyki	285
6.1.2. Siły i momenty sił działających na dipole magnetyczne	285
6.1.3. Wpływ pola magnetycznego na orbity atomowe	290
6.1.4. Magnetyzacja	292
6.2. Pole namagnesowanego ciała	293
6.2.1. Prądy związane	293
6.2.2. Fizyczna interpretacja prądów związanych	297
6.2.3. Pole magnetyczne w materii	299
6.3. Natężenie pola magnetycznego $\mathbf{H}$	299
6.3.1. Prawo Ampère'a w materiałach magnetycznych	299
6.3.2. Myląca analogia	303
6.3.3. Warunki brzegowe (graniczne)	304
6.4. Ośrodki liniowe i nieliniowe	305
6.4.1. Podatność i przenikalność magnetyczna	305
6.4.2. Ferromagnetyzm	308
7. Elektrodynamika	316
7.1. Siła elektromotoryczna	316
7.1.1. Prawo Ohma	316

7.1.2. Siła elektromotoryczna	323
7.1.3. SEM przewodnika poruszającego się w polu magnetycznym	325
7.2. Indukcja elektromagnetyczna	333
7.2.1. Prawa Faradaya	333
7.2.2. Indukowane pole elektryczne	337
7.2.3. Indukcyjność	343
7.2.4. Energia pola magnetycznego	349
7.3. Równania Maxwella	354
7.3.1. Elektrodynamika przed Maxwellem	354
7.3.2. Jak Maxwell poprawił prawo Ampère'a?	356
7.3.3. Równania Maxwella	359
7.3.4. Ładunek magnetyczny	360
7.3.5. Równania Maxwella w materii	361
7.3.6. Warunki brzegowe (graniczne)	364
8. Zasady zachowania	377
8.1. Ładunek i energia	377
8.1.1. Równanie ciągłości	377
8.1.2. Twierdzenie Poyntinga	378
8.2. Pęd	382
8.2.1. Trzecia zasada dynamiki Newtona w elektrodynamice	382
8.2.2. Tensor napięć Maxwella	383
8.2.3. Zasada zachowania pędu	388
8.2.4. Moment pędu	391
9. Fale elektromagnetyczne	396
9.1. Fale w jednym wymiarze	396
9.1.1. Równanie falowe	396
9.1.2. Fale sinusoidalne	399
9.1.3. Warunki brzegowe: odbicie i przejście	402
9.1.4. Polaryzacja	406
9.2. Fale elektromagnetyczne w próżni	407
9.2.1. Równanie falowe dla $\mathbf{E}$ i $\mathbf{B}$	407
9.2.2. Fale monochromatyczne płaskie	409
9.2.3. Energia i pęd fal elektromagnetycznych	412
9.3. Fale elektromagnetyczne w ośrodku materialnym	415
9.3.1. Rozchodzenie się fal w ośrodkach liniowych	415
9.3.2. Odbicie i przejście przy padaniu prostopadłym	417
9.3.3. Odbicie i przejście przy padaniu ukośnym	419
9.4. Absorpcja i dyspersja	425
9.4.1. Fale elektromagnetyczne w przewodnikach	425
9.4.2. Odbicie na powierzchni przewodzącej	429
9.4.3. Zależność przenikalności elektrycznej od częstości	430
9.5. Fale prowadzone	437
9.5.1. Falowody	437
9.5.2. Fale TE w falowodzie prostokątnym	440
9.5.3. Koncentryczna linia transmisyjna	443
10. Potencjały i pola źródeł zmiennych w czasie	448
10.1. Wprowadzenie potencjałów	448
10.1.1. Potencjały skalarny i wektorowy	448
10.1.2. Przekształcenia cechowania	451
10.1.3. Cechowanie Coulomba i cechowanie Lorentza	452

10.2. Rozkłady ciągłe	454
10.2.1. Potencjały opóźnione	454
10.2.2. Równania Jefimienki	459
10.3. Ładunki punktowe	461
10.3.1. Potencjały Liénarda-Wiecherta	461
10.3.2. Pola $\mathbf{E}$ i $\mathbf{B}$ poruszającego się ładunku punkowego	467
11. Promieniowanie	474
11.1. Promieniowanie dipolowe	474
11.1.1. Czym jest promieniowanie?	474
11.1.2. Promieniowanie elektryczne dipolowe	475
11.1.3. Promieniowanie magnetyczne dipolowe	482
11.1.4. Promieniowanie z dowolnego źródła	486
11.2. Ładunki punktowe	491
11.2.1. Moc promieniowania ładunku punkowego	491
11.2.2. Reakcja promieniowania	496
11.2.3. Fizyczne podstawy reakcji promieniowania	500
12. Elektrodynamika i teoria względności	508
12.1. Szczególna teoria względności	508
12.1.1. Postulaty Einsteina	508
12.1.2. Geometria teorii względności	515
12.1.3. Szczególne przekształcenia Lorentza	525
12.1.4. Struktura czasoprzestrzeni	531
12.2. Mechanika relatywistyczna	539
12.2.1. Czas własny i prędkość własna	539
12.2.2. Relatywistyczna energia i pęd	541
12.2.3. Kinematyka relatywistyczna	543
12.2.4. Dynamika relatywistyczna	548
12.3. Elektrodynamika relatywistyczna	554
12.3.1. Magnetyzm jako zjawisko relatywistyczne	554
12.3.2. Przekształcenia pól $\mathbf{E}$ i $\mathbf{B}$	557
12.3.3. Tensor pola elektromagnetycznego	567
12.3.4. Elektrodynamika w notacji tensorowej	569
12.3.5. Potencjały relatywistyczne	573
A. Analiza wektorowa we współrzędnych krzywoliniowych	578
A.1. Wstęp	578
A.2. Notacja	578
A.3. Gradient	579
A.4. Dywergencja	580
A.5. Rotacja	583
A.6. Laplasjan	585
B. Twierdzenie Helmholtza	586
C. Jednostki	589