

SPIS TREŚCI

Wstęp	13
V. Fizyka atomowa	15
28. Kwantowa struktura materii, elektryczności promieniowania	15
28.1. Atomowa struktura materii.	15
28.2. Kwantowa struktura elektryczności.	16
28.2.1. Pomiar ładunku elementarnego	16
28.2.2. Pomiar $\frac{e}{m}$ dla elektronów	18
28.3. Fale elektromagnetyczne i promieniowanie Röntgena	22
28.3.1. Falowe własności promieniowania elektromagnetycznego	22
28.3.2. Odkrycie i wytwarzanie promieni Röntgena	23
28.3.3. Dyfrakcja promieni Röntgena.	25
28.3.4. Polaryzacja promieni Röntgena.	28
28.4. Kwantowa teoria promieniowania ciała doskonale czarnego	29
28.5. Zjawisko fotoelektryczne	30
28.5.1. Liczba i prędkość fotoelektronów	31
28.5.2. Równanie Einsteina	32
28.6. Zjawisko Comptona	33
28.7. Własności falowe cząstek	36
28.7.1. Hipoteza de Broglie'a	36
28.7.2. Doświadczenie Davissona i Germera nad dyfrakcją elektronów.	37
28.7.3. Doświadczenie Thomsona	39
28.7.4. Zjawiska falowe związane z ruchem atomów i cząsteczek	40
28.7.5. Prędkość fal de Broglie'a	41
28.8. Zasada nieokreśloności Heisenberga	42
28.9. Mikroskop elektronowy	45
29. Budowa atomu	49
29.1. Jądrowy model atomu Rutherforda. Rozpraszanie cząstek α	49
29.1.1. Doświadczenie Chadwicka	54
29.2. Budowa atomu	54
29.3. Serie widmowe atomu wodoru	55
29.4. Teoria Bohra budowy atomu wodoru	57
29.5. Wpływ ruchu jądra na wartość stałej Rydberga. Masa zredukowana elektronu	61
29.6. Odkrycie deuteru.	63
29.7. Orbity eliptyczne.	64
29.8. Poprawka relatywistyczna przy obliczaniu poziomów energetycznych	67

SPIS TREŚCI

29.9.	Hipoteza de Broglie'a a kwantowanie orbit	68
29.10.	Wzbudzenie atomów	69
29.11.	Doświadczenie Francka-Hertza	70
29.12.	Zasada odpowiedniości	71
30.	Mechanika kwantowa	73
30.1.	Równanie Schrödingera	73
30.1.1.	Interpretacja fizyczna funkcji falowej Ψ	75
30.1.2.	Stany stacjonarne	76
30.2.	Aparat matematyczny mechaniki kwantowej	78
30.2.1.	Operatory liniowe i hermitowskie	78
30.2.2.	Ogólny schemat pojęciowy mechaniki kwantowej	83
30.2.3.	Operatory niektórych zmiennych dynamicznych	86
30.3.	Prostsze przykłady rozwiązania równania Schrödingera	91
30.3.1.	Ruch cząstki swobodnej	91
30.3.2.	Cząstka w dole potencjału	92
30.3.3.	Kwantowy oscylator harmoniczny	95
30.3.4.	Przejsie cząstki przez barierę potencjału	98
30.4.	Równania Schrödingera dla atomu wodoru	100
30.5.	Rozwiązanie równania Schrödingera dla atomu wodoru	102
30.5.1.	Liczby kwantowe. Główna liczba kwantowa	105
30.5.2.	Magnetyczna liczba kwantowa	108
30.5.3.	Reguły wyboru. Spinowa liczba kwantowa	111
31.	Atomy wieloelektronowe	112
31.1.	Model wektorowy atomu	112
31.2.	Sprzężenie $L-S$, czyli sprzężenie Russella-Saundersa. Sprzężenie $j-j$	114
31.3.	Oznaczenia stanów kwantowych w spektroskopii	115
31.4.	Zakaz Pauliego	116
31.5.	Konfiguracja elektronów w atomie	117
31.6.	Układ okresowy pierwiastków	120
31.7.	Widma jonów wodoropodobnych	126
31.8.	Widma metali alkalicznych	126
31.9.	Widma promieni Röntgena	128
32.	Atom w polu magnetycznym i elektrycznym	135
32.1.	Orbitalny i spinowy moment magnetyczny elektronu	135
32.2.	Doświadczenie Sterna i Gerlacha	138
32.3.	Precesja Larmora	139
32.4.	Efekt Zeemana	141
32.4.1.	Wytlumaczenie normalnego efektu Zeemana według teorii klasycznej	142
32.4.2.	Wytlumaczenie normalnego efektu Zeemana według modelu wektorowego	144
32.5.	Anomalny efekt Zeemana. Efekt Paschena-Backa	145
32.6.	Efekt Starka	147
33.	Absorpcja i emisja promieniowania. Emisja spontaniczna i wymuszona	148
33.1.	Ujęcie Einsteina. Współczynniki Einsteina	148
33.2.	Emisja spontaniczna i emisja wymuszona (indukowana)	150
33.3.	Lasery i masery	151
33.3.1.	Lasery krystaliczne i szklane	152
33.3.2.	Lasery gazowe	154
33.3.3.	Lasery z parami metali i lasery organiczne	157
33.3.4.	Lasery z regulowaną dobrocią rezonatora	158
33.4.	Zastosowania laserów	159
33.5.	Spójność światła	161
33.5.1.	Ścisła miara spójności	163
33.6.	Interferencja wiązek światła	164
33.7.	Holografia	167
34.	Fizyczne własności cząsteczek	171
34.1.	Wiązanie jonowe (heteropolarne)	171
34.2.	Wiązanie kowalencyjne (homeopolarne)	175
34.2.1.	Zjonizowana cząsteczka wodoru H_2^+	175
34.2.2.	Elementy teorii Heitlera-Londona wiązania kowalencyjnego	177
34.3.	Wiązanie skierowane	180
34.4.	Widma cząsteczkowe	181
34.4.1.	Widmo elektronowe cząsteczek	182
34.4.2.	Widmo rotacyjne cząsteczek	183

34.4.3.	Widmo oscylacyjne cząsteczek	185
34.4.4.	Ramanowskie (kombinacyjne) rozproszenie światła	187
34.4.5.	Spektroskopia molekularna	187
VI. Fizyka ciała stałego		189
35.	Budowa kryształów	189
35.1.	Sieć przestrzenna i struktura kryształów	189
35.2.	Elementy symetrii	193
35.3.	Sieci przestrzenne Bravais'go (podstawowe typy sieci). Grupy punktowe. Grupy przestrzenne. Układy krystalograficzne	195
35.4.	Przykłady struktur krystalicznych	201
35.4.1.	Wskaźniki Millera	202
35.5.	Typy wiązań w kryształach	203
35.5.1.	Kryształy o wiązaniu jonowym (heteropolarnym)	204
35.5.2.	Kryształy o wiązaniu kowalencyjnym (homeopolarnym, atomowym, wymiennym)	206
35.5.3.	Kryształy o wiązaniu metalicznym	207
35.5.4.	Kryształy cząsteczkowe powiązane siłami van der Waalsa	209
35.5.5.	Wiązanie wodorowe	212
35.6.	Metody badania struktury ciał stałych	212
35.6.1.	Metoda Lauego	214
35.6.2.	Metoda obracanego kryształu	215
35.6.3.	Metoda Debye'a-Scherrera (metoda proszkowa)	217
35.7.	Sieć odwrotna	218
36.	Statystyki klasyczne i kwantowe	221
36.1.	Przestrzeń fazowa	221
36.2.	Rodzaje statystyk	222
36.2.1.	Prawdopodobieństwo rozkładu cząstek rozróżnialnych (cząstek Maxwella-Boltzmanna)	223
36.2.2.	Prawdopodobieństwo rozkładu cząstek nierozróżnialnych o spinie całkowitym (cząstek Bosego-Einsteina)	224
36.2.3.	Prawdopodobieństwo rozkładu cząstek nierozróżnialnych o spinie półowkowym (cząstek Fermiego-Diraca)	225
36.2.4.	Wzór Stirlinga	226
36.3.	Rozkład Maxwella-Boltzmanna, rozkład Bosego-Einsteina i rozkład Fermiego-Diraca	226
36.4.	Obliczanie współczynników α i β dla rozkładu Maxwella-Boltzmanna	228
36.5.	Wyprowadzenie wzoru Plancka z rozkładu Bosego-Einsteina dla gazu fotonowego ($\alpha = 0$)	231
36.6.	Porównanie rozkładów Maxwella-Boltzmanna, Bosego-Einsteina i Fermiego-Diraca	233
36.7.	Rozkład Fermiego-Diraca dla elektronów. Energia Fermiego	234
37.	Teoria pasmowa ciała stałego. Niedoskonałości sieci krystalicznej	239
37.1.	Model elektronów swobodnych	239
37.2.	Ujęcie teorii pasmowej w przybliżeniu silnego wiązania	241
37.3.	Ujęcie teorii pasmowej w przybliżeniu słabego wiązania	245
37.3.1.	Model Kroniga i Penneya. Strefy Brillouina	245
37.3.2.	Porównanie obu przybliżonych metod	250
37.4.	Przewodniki, izolatory i półprzewodniki	251
37.5.	Masa efektywna elektronu	254
37.6.	Rodzaje niedoskonałości sieci krystalicznej	256
37.6.1.	Fonony	257
37.6.2.	Defekty punktowe: luki i atomy międzywęzłowe	259
37.6.3.	Zanieczyszczenia chemiczne (atomy domieszkowe)	260
37.6.4.	Swobodne elektrony i dziury	261
37.6.5.	Ekscytony	262
37.6.6.	Dyslokacje	262
38.	Termiczne, elektryczne i magnetyczne własności ciał stałych	263
38.1.	Ciepło molowe ciał stałych	263
38.1.1.	Kwantowa teoria Einsteina ciepła molowego ciał stałych	264
38.1.2.	Teoria Debye'a	265

SPIS TREŚCI

38.2.	Rozszerzalność termiczna i przewodnictwo cieplne ciał stałych	267
38.3.	Przewodnictwo elektryczne	269
38.3.1.	Klasyczna teoria przewodnictwa metali	269
38.3.2.	Elementy kwantowej teorii przewodnictwa elektrycznego metali	271
38.4.	Zależność oporu od temperatury	274
38.5.	Własności magnetyczne ciał	275
38.6.	Diamagnetyzm	277
38.7.	Paramagnetyzm	280
38.7.1.	Atomistyczna teoria paramagnetyzmu	280
38.7.2.	Elementy teorii kwantowej paramagnetyzmu	283
38.7.3.	Paramagnetyzm elektronów swobodnych	285
38.8.	Ferromagnetyzm	286
38.8.1.	Oddziaływanie wymienne elektronów	288
38.8.2.	Struktura domenowa ferromagnetyków	289
38.9.	Antyferromagnetyzm	292
38.10.	Ferrimagnetyzm. Ferryty	293
38.11.	Nadprzewodnictwo	294
38.12.	Materiały nadprzewodzące	298
38.13.	Elementy teorii nadprzewodnictwa Bardeena, Coopera i Schrieffera (teoria BCS)	300
38.14.	Nadprzewodnik w polu magnetycznym	302
38.14.1.	Własności magnetyczne nadprzewodników	302
38.14.2.	Efekt Meisnera	304
38.14.3.	Kwantyzacja strumienia magnetycznego	305
38.14.4.	Nadprzewodniki I i II rodzaju. Energia graniczna	306
38.14.5.	Krytyczna wartość natężenia pola magnetycznego	309
38.15.	Elektrony niesparowane i przerwa energetyczna	310
38.16.	Zjawisko Josephaona	312
38.17.	Zastosowanie zjawiska nadprzewodnictwa	313
38.18.	Własności dielektryczne ciał	315
38.18.1.	Polaryzacja dielektryczna	315
38.18.2.	Lokalne pole elektryczne w pobliżu atomu	319
38.18.3.	Dielektryk w zmiennym polu elektrycznym	321
38.18.4.	Przenikalność elektryczna a polaryzowalność	322
38.19.	Rodzaje polaryzowalności	325
38.19.1.	Polaryzowalność elektronowa	325
38.19.2.	Polaryzowalność jonowa sprężysta	327
38.19.3.	Polaryzowalność dipolowa sprężysta	328
38.19.4.	Polaryzowalność dipolowa relaksacyjna ciał stałych i cieczy	330
38.20.	Kryształy piezoelektryczne i ferroelektryczne	334
38.20.1.	Piezoelektryczność i elektrostrykcja	334
38.20.2.	Kryształy ferroelektryczne	335
39.	Elektronika fizyczna	338
39.1.	Półprzewodniki	338
39.2.	Półprzewodniki samoistne	340
39.3.	Półprzewodniki typu n z domieszką donorów i półprzewodniki typu p z domieszką akceptorów	344
39.4.	Efekt Halla: wyznaczenie liczby elektronów w pasmie przewodnictwa	349
39.5.	Strefy Brillouina. Powierzchnia Fermiego	351
39.5.1.	Strefy Brillouina	351
39.5.2.	Powierzchnia Fermiego	352
39.5.3.	Anomalny efekt naskórkowy	353
39.5.4.	Rezonans cyklotronowy w metalach i półprzewodnikach	353
39.5.5.	Zjawisko de Haasa-van Alphen	355
39.6.	Zjawiska kontaktowe	356
39.6.1.	Praca wyjścia	356
39.6.2.	Emisja termoelektronowa	357
39.6.3.	Napięcie kontaktowe	359
39.7.	Złącze $p-n$	360
39.7.1.	Pojemność złącza $p-n$	363
39.7.2.	Zjawisko Zenera i zjawisko Esakiego	365
39.7.3.	Typy diod	366
39.7.4.	Diody specjalne	368
39.8.	Tranzystor złączowy typu $n-p-n$	370

39.8.1.	Technologie wytwarzania tranzystorów	374
39.8.2.	Tranzystory polowe	377
39.9.	Optoelektronika półprzewodnikowa	380
39.9.1.	Fotoprzewodnictwo. Półprzewodnikowe detektory światła	381
39.9.2.	Fotoogniwa	382
39.9.3.	Fotodiody, fototranzystory	383
39.9.4.	Luminescencja. Półprzewodnikowe źródła światła: diody luminescencyjne	384
39.9.5.	Złączowe lasery półprzewodnikowe	385
39.10.	Układy scalone	387
39.10.1.	Hybrydowe układy scalone	388
39.10.2.	Monolityczne układy scalone	389
39.11.	Podział układów scalonych ze względu na stopień integracji oraz w zależności od spełnianej funkcji	390
39.11.1.	Cyfrowe układy scalone	390
39.11.2.	Liniowe układy scalone	394
VII. Fizyka jądrowa		
40.	Własności jąder atomowych w stanie podstawowym	397
40.1.	Ładunek jądra i metody jego wyznaczania	397
40.2.	Rozmiary jąder	397
40.3.	Pomiar masy jąder	400
40.3.1.	Jony dodatnie. Promienie kanalikowe	400
40.3.2.	Spektrografia masowa	402
40.4.	Charakterystyka jąder	404
40.5.	Energia wiązania	407
40.6.	Momenty elektryczne jąder	409
40.7.	Spin i moment magnetyczny jądra	411
40.8.	Metody rezonansowe pomiaru spinów i momentów magnetycznych jąder	413
40.9.	Parzystość jądra	415
40.10.	Sily jądrowe	416
41.	Modele jądrowe	417
41.1.	Model jądrowy cząstek α	417
41.2.	Kropłowy model jądra	417
41.3.	Model gazu Fermiego	419
41.4.	Model powłokowy	420
41.5.	Model kolektywny	422
42.	Promieniotwórczość naturalna	423
42.1.	Przemiany promieniotwórcze	423
42.2.	Rodziny promieniotwórcze	426
42.3.	Rozpad promieniotwórczy sukcesywny	433
42.4.	Wiek Ziemi i skał	436
42.5.	Izotopy promieniotwórcze pierwiastków lżejszych	437
42.6.	Jednostki promieniowania jonizującego i aktywności	438
42.7.	Skutki biologiczne oddziaływania promieniowania jądrowego na żywy organizm	440
42.8.	Rozpad α	442
42.8.1.	Energia rozpadu α	442
42.8.2.	Własności cząstek α	442
42.8.3.	Jonizacja wywołana przez cząstki α . Zasięg cząstek α	444
42.9.	Teoria rozpadu α	445
42.10.	Rozpad β . Trzy rodzaje rozpadu β	448
42.10.1.	Widmo promieniowania β^- i hipoteza neutrino	449
42.11.	Teoria rozpadu β	452
42.12.	Emisja promieni γ	455
42.12.1.	Reguły wyboru emisji promieniowania γ	456
42.12.2.	Konwersja wewnętrzna	458
42.12.3.	Izomeria jądrowa	459
42.13.	Efekt Mössbauera	462
43.	Reakcje jądrowe i sztuczna promieniotwórczość	467
43.1.	Odkrycie sztucznej przemiany jądrowej	467
43.2.	Odkrycie neutronu	468

43.3.	Odkrycie pozytonu	469
43.4.	Odkrycie sztucznej promieniotwórczości	470
43.5.	Niektóre bardziej typowe reakcje jądrowe	470
44.	Oddziaływanie cząstek i promieniowania elektromagnetycznego z materią	473
44.1.	Zderzenia sprężyste i niesprężyste	473
44.2.	Przejście ciężkich cząstek przez materię	474
44.2.1.	Straty energii na jonizację	474
44.2.2.	Zasięg	478
44.3.	Cząstki β	479
44.3.1.	Straty na jonizację	479
44.3.2.	Zasięg cząstek β	480
44.3.3.	Promieniowanie hamowania	481
44.4.	Jonizacja właściwa	483
44.5.	Przejście promieni X i promieni γ przez materię	485
44.5.1.	Wykładnicze prawo atenuacji	485
44.5.2.	Zjawisko fotoelektryczne	488
44.5.3.	Zjawisko Comptona	491
44.5.4.	Zjawisko tworzenia par	494
44.5.5.	Współczynniki absorpcji	497
44.6.	Promieniowanie Czerenkowa	498
44.7.	Neutrony	500
45.	Detekcja promieniowania	503
45.1.	Podział przyrządów służących do detekcji promieniowania	503
45.2.	Impulsowe komory jonizacyjne, liczniki Geigera-Müllera, liczniki proporcjonalne	503
45.2.1.	Mechanizm powstawania impulsu	506
45.2.2.	Kształt impulsu z liczników Geigera-Müllera i liczników proporcjonalnych	507
45.2.3.	Różniczkowanie impulsu	507
45.3.	Komory jonizacyjne	508
45.3.1.	Komory prądowe	508
45.3.2.	Impulsowe komory jonizacyjne w postaci walca	508
45.3.3.	Jonizacyjna komora impulsowa o elektrodach płaskich	509
45.4.	Liczniki proporcjonalne	511
45.5.	Liczniki Geigera-Müllera	512
45.5.1.	Charakterystyka licznika Geigera-Müllera	513
45.5.2.	Kształt impulsu	513
45.5.3.	Czas martwy i czas restytucji	514
45.5.4.	Liczniki o niskim napięciu progowym	515
45.6.	Licznik scyntylacyjny	515
45.7.	Licznik Czerenkowa	518
45.8.	Emulsje jądrowe	519
45.9.	Komora Wilsona	520
45.10.	Komory pęcherzykowe	523
45.11.	Komory iskrowe	524
45.12.	Detektory półprzewodnikowe	525
46.	Akseleratory stosowane w fizyce jądrowej	528
46.1.	Akseleratory ze źródłem wysokiego napięcia stałego	528
46.1.1.	Generator kaskadowy Cockrofta-Waltona	528
46.1.2.	Generator elektrostatyczny Van de Graaffa	529
46.2.	Akseleratory liniowe	531
46.2.1.	Protonowy akselerator liniowy	531
46.2.2.	Elektronowy akselerator liniowy z falowodem	532
46.3.	Akseleratory orbitalne	532
46.3.1.	Betatron (akselerator indukcyjny)	532
46.3.2.	Cyklotron	534
46.4.	Akseleratory synchroniczne	537
46.4.1.	Synchrocyklotron	537
46.4.2.	Synchrotron protonowy	539
46.4.3.	Synchrotron elektronowy	542
47.	Cząstki elementarne	542
47.1.	Rodzaje oddziaływań cząstek elementarnych	543
47.2.	Zasady i prawa zachowania	549

47.2.1.	Prawo zachowania spinu J	550
47.2.2.	Prawo zachowania spinu izobarycznego T	551
47.2.3.	Prawo zachowania liczby barionowej A	552
47.2.4.	Transformacja CPT	552
47.2.5.	Dziwność S	554
47.3.	Przegląd własności niektórych cząstek elementarnych	554
47.3.1.	Leptony	554
47.3.2.	Mezony	558
47.3.3.	Bariony	560
47.4.	Neutron	562
47.5.	Źródła neutronów	563
47.5.1.	Izotopowe źródła neutronów	563
47.5.2.	Generatory neutronów	565
47.5.3.	Reaktor jądrowy	566
48.	Rozszczepienie jądrowe	566
48.1.	Odkrycie rozszczepienia jądrowego	566
48.2.	Energia wydzielana podczas rozszczepienia	567
48.3.	Neutrony powstałe podczas rozszczepienia	569
48.4.	Współczynnik mnożenia	571
48.5.	Objętość krytyczna reaktora	572
48.6.	Spowalnianie neutronów. Moderatory	574
48.7.	Rodzaje reaktorów	579
48.7.1.	Reaktory badawcze	579
48.7.2.	Reaktory mocy (energetyczne)	581
48.8.	Reaktory powielające	583
48.8.1.	Prędkie reaktory powielające	585
48.8.2.	Przyszłość reaktorów powielających	587
48.9.	Światowe zapotrzebowanie na energię	588
49.	Pierwiaszki transuranowe. Aktynowce	589
49.1.	Neptun	591
49.2.	Pluton	592
49.3.	Ameryk. Kiur.	592
49.4.	Berkel. Kaliforn	593
49.5.	Einstein. Ferm	594
49.6.	Mendelew	595
49.7.	Nobel. Lorens	595
50.	Reakcje termojądrowe	596
50.1.	Niekontrolowane reakcje termojądrowe	599
50.1.1.	Bomby jądrowe	599
50.2.	Energia jądrowa w gwiazdach	600
50.3.	Kontrolowane reakcje termojądrowe	602
50.3.1.	Niestabilność plazmy	604
50.3.2.	Inne problemy kontrolowanej reakcji termojądrowej	604
51.	Zastosowania promieniowania jądrowego i izotopów promieniotwórczych	606
51.1.	Sposoby wykorzystania izotopów promieniotwórczych i promieniowania jądrowego	606
51.2.	Ważniejsze przemysłowe zastosowania izotopów promieniotwórczych i promieniowania jądrowego	608
51.3.	Zastosowanie izotopów promieniotwórczych w rolnictwie	610
51.4.	Izotopy promieniotwórcze w biologii, biochemii i medycynie	610
51.4.1.	Baterie izotopowe	611
51.5.	Ochrona środowiska	612
52.	Dodatek	612
52.1.	Stale uniwersalne	612
52.2.	Potencjały jonizacji atomów	615
52.3.	Masy niektórych cząstek podstawowych	615
52.4.	Własności podstawowe pierwiastków	616
Literatura		619
Skorowidz rzeczowy		621