

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. Orbits eliptyczne.	64
29.8. Poprawka relatywistyczna przy obliczaniu poziomów energetycznych	67

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 Schrodingera	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 Schrodingera	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.	Przejście cząstki przez barierę potencjału	98
30.4.	Równania Schrodingera dla atomu wodoru	100
30.5.	Rozwiązanie równania Schrodingera 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 Rontgena	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.	Wy tłumaczenie normalnego efektu Zeemana według teorii klasycznej	142
32.4.2.	Wy tłumaczenie 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'a (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 półkowy (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 a i p dla rozkładu Maxwella-Boltzmanna	228
36.5.	Wyprowadzenie wzoru Plancka z rozkładu Bosego-Einsteina dla gazu fotonowego ($a = 0$)	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

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 Josephsona.	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 paśmie 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

~fl	39.8.1. Technologie wytwarzania tranzystorów.	374
ZfZ	39.8.2. Tranzystory polowe.	377
"...*	39.9. Optoelektronika półprzewodnikowa	380
ii	39.9.1. Fotoprzewodnictwo. Półprzewodnikowe detektory światła.	381
JJIt	39.9.2. Fotoogniwa.	382
~"£	39.9.3. Fotodiody, fototranzystory.	383
,11	39.9.4. Luminescencja. Półprzewodnikowe źródła światła: diody luminescencyjne.	384
~°"	39.9.5. Złączone lasery półprzewodnikowe.	385
~°0	39.10. Układy scalone.	387
~°3	39.10.1. Hybrydowe układy scalone.	388
~°5	39.10.2. Monolityczne układy scalone.	389
~°°	39.11. Podział układów scalonych ze względu na stopień integracji oraz w zależności od spełnianej funkcji.	390
TM*	39.11.1. Cyfrowe układy scalone.	390
ff*	39.11.2. Liniowe układy scalone.	394
TM		
294		
^	VII. Fizyka jądrowa	
^~:	40. Własności jąder atomowych w stanie podstawowym.	397
~Yr	40.1. Ładunek jądra i metody jego wyznaczania.	397
XZ	40.2. Rozmiary jąder.	397
rrj!	40.3. Pomiar masy jąder.	400
3j TM	40.3.1. Jony dodatnie. Promienie kanalikowe.	400
"• J	40.3.2. Spektrografia masowa.	402
Ž)>	40.4. Charakterystyka jąder.	404
?A	40.5. Energia wiązania.	407
Jri	40.6. Momenty elektryczne jąder.	409
~j^!	40.7. Spin i moment magnetyczny jądra.	411
^: ^	40.8. Metody rezonansowe pomiaru spinów i momentów magnetycznych jąder	413
XXj	40.9. Parzystość jądra.	415
, , ,	40.10 Siły jądrowe.	416
~	41. Modele jądrowe.	417
TM	41.1. Model jądrowy cząstek a.	417
~*~	41.2. Kropłowy model jądra.	417
" "	41.3. Model gazu Fermiego.	419
^r°	41.4. Model powłokowy.	420
^	41.5. Model kolektywny.	422
f?*	42. Promieniotwórczość naturalna.	423
^rr	42.1. Przemiany promieniotwórcze.	423
...?	42.2. Rodziny promieniotwórcze.	426
*?~	42.3. Rozpad promieniotwórczy sukcesywny.	433
;£?	42.4. Wiek Ziemi i skał.	436
3	42.5. Izotopy promieniotwórcze pierwiastków lżejszych.	437
~**	42.6. Jednostki promieniowania jonizującego i aktywności.	438
* TM	42.7. Skutki biologiczne oddziaływania promieniowania jądrowego na żywy organizm.	440
TM J	42.8. Rozpad a.	442
351	42.8.1. Energia rozpadu a.	442
3^2	42.8.2. Własności cząstek a.	442
3^3	42.8.3. Jonizacja wywołana przez cząstki <x. Zasięg cząstek a.	444
353	42.9. Teoria rozpadu a.	445
fl~	42.10. Rozpad β. Trzy rodzaje rozpadu /?.	448
• * TM	42.10.1. Widmo promieniowania /J~ i hipoteza neutrino.	449
3 TM	42.11. Teoria rozpadu /S.	452
^il	42.12. Emisja promieni γ.	455
3^	42.12.1. Reguły wyboru emisji promieniowania γ.	456
3°5	42.12.2. Konwersja wewnętrzna.	458
^	42.12.3. Izomeria jądrowa.	459
3°^	42.13. Efekt Mossbauera.	462
~TM	43. Reakcje jądrowe i sztuczna promieniotwórczość.	457
*°	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 $/\beta$	479
44.3.1.	Straty na jonizację	479
44.3.2.	Zasięg cząstek $/\beta$	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-Miüllera, liczniki proporcjonalne	503
45.2.1.	Mechanizm powstawania impulsu.	506
45.2.2.	Kształt impulsu z liczników Geigera-Miüllera 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-Miüllera.	512
45.5.1.	Charakterystyka licznika Geigera-Miüllera	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.	Akceleratory stosowane w fizyce jądrowej	528
46.1.	Akceleratory 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.	Akceleratory liniowe	531
46.2.1.	Protonowy akcelerator liniowy.	531
46.2.2.	Elektronowy akcelerator liniowy z falowodem	532
46.3.	Akceleratory orbitalne.	532
46.3.1.	Betatron (akcelerator indukcyjny).	532
46.3.2.	Cyklotron	534
46.4.	Akceleratory 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

proporcjo-

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.	Pierwiastki 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.	Stałe 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