

Spis treści

Przedmowa do wydania szóstego	13
Przedmowa do wydania czwartego	14
Przedmowa do wydania pierwszego	15
1. Wstęp	17
1.1. Fizyka klasyczna i mechanika kwantowa	17
1.2. Krótki rys historyczny	17
2. Masa i rozmiary atomu	21
2.1. Czym jest atom?	21
2.2. Wyznaczanie masy atomu	21
2.3. Metody wyznaczania liczby Avogadra	23
2.3.1. Elektroliza	23
2.3.2. Stała gazowa i stała Boltzmanna	23
2.3.3. Dyfrakcja promieniowania rentgenowskiego w kryształach	25
2.3.4. Wyznaczanie N_A z wykorzystaniem rozpadu promieniotwórczego	26
2.4. Wyznaczanie rozmiarów atomu	27
2.4.1. Zastosowanie kinetycznej teorii gazów	27
2.4.2. Przekrój czynny na oddziaływanie	28
2.4.3. Doświadczalne wyznaczanie przekroju czynnego na oddziaływanie	31
2.4.4. Wyznaczanie rozmiarów atomu z objętości własnej	32
2.4.5. Rozmiary atomu wyznaczone z pomiarów dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego w kryształach	33
2.4.6. Czy można zobaczyć pojedynczy atom?	38
Zadania i problemy	43
3. Izotopy	45
3.1. Układ okresowy pierwiastków	45
3.2. Spektroskopia mas	48

3.2.1. Metoda paraboli	48
3.2.2. Ulepszone spektrometry mas	50
3.2.3. Wyniki spektrometrii mas	52
3.2.4. Współczesne zastosowania spektrometrii mas	53
3.2.5. Rozdzielanie izotopów	54
Zadania i problemy	55
4. Jądro atomowe	57
4.1. Przechodzenie elektronów przez materię	57
4.2. Przechodzenie cząstek α przez materię (rozpraszanie Rutherforda)	59
4.2.1. Niektóre własności cząstek α	59
4.2.2. Rozpraszanie cząstek α w folii	60
4.2.3. Wyprowadzenie wzoru Rutherforda na rozpraszanie	62
4.2.4. Wyniki doświadczalne	66
4.2.5. Co należy rozumieć przez promień jądra?	68
Zadania i problemy	69
5. Foton	70
5.1. Falowa natura światła	70
5.2. Promieniowanie ciepłe	72
5.2.1. Rozkład widmowy promieniowania ciała doskonale czarnego	72
5.2.2. Wzór Plancka	75
5.2.3. Wyprowadzenie wzoru Plancka przez Einsteina	77
5.3. Zjawisko fotoelektryczne	80
5.4. Zjawisko Comptona	83
5.4.1. Doświadczenia	83
5.4.2. Wyprowadzenie wzoru na rozpraszanie Comptona	85
Zadania i problemy	88
6. Elektron	91
6.1. Wytwarzanie swobodnych elektronów	91
6.2. Rozmiary elektronu	91
6.3. Ładunek elektronu	92
6.4. Ładunek właściwy e/m elektronu	94
6.5. Falowy charakter elektronu i innych cząstek	97
6.6. Interferencja atomów	101
Zadania i problemy	103
7. Podstawowe własności fal materii	105
7.1. Pakiety falowe	105
7.2. Interpretacja probabilistyczna	109
7.3. Zasada nieokreśloności Heisenberga	112
7.4. Nieokreśloność energii i czasu	114
7.5. Konsekwencje relacji nieokreśloności dla stanów związanych	114
Zadania i problemy	117

8. Model atomu wodoru Bohra	119
8.1. Podstawowe zasady spektroskopii	119
8.2. Widmo optyczne atomu wodoru	122
8.3. Postulaty Bohra	126
8.4. Pewne wnioski ilościowe	129
8.5. Ruch jądra	131
8.6. Widma atomów wodoropodobnych	133
8.7. Atomy mionowe	135
8.8. Wzbudzenie atomów w zderzeniach	138
8.9. Rozszerzenie modelu Bohra przez Sommerfelda i doświadczalne potwierdzenie drugiej liczby kwantowej	141
8.10. Znoszenie degeneracji przez relatywistyczny efekt zmiany masy	142
8.11. Granice teorii Bohra–Sommerfelda. Zasada korespondencji	143
8.12. Atomy rydbergowskie	144
8.13. Pozytonium, mionium i antywodór	147
Zadania i problemy	149
9. Matematyczne podstawy teorii kwantów	152
9.1. Cząstka w studni potencjału	152
9.2. Równanie Schrödingera	156
9.3. Podstawowe pojęcia teorii kwantów	159
9.3.1. Obserwacje, wartości mierzone i operatory	159
9.3.2. Pomiar pędu i prawdopodobieństwo wyznaczenia pędu	159
9.3.3. Wartości średnie i wartości oczekiwane	160
9.3.4. Operatory i wartości oczekiwane	164
9.3.5. Równania wyznaczające funkcję falową	165
9.3.6. Jednoczesność obserwacji i związki komutacyjne	167
9.4. Kwantowomechaniczny oscylator harmoniczny	170
Zadania i problemy	176
10. Teoria kwantowa atomu wodoru	181
10.1. Ruch w polu sił centralnych	181
10.2. Funkcje własne momentu pędu	183
10.3. Radialne funkcje falowe dla pola sił centralnych*	191
10.4. Radialne funkcje falowe atomu wodoru	192
Zadania i problemy	199
11. Widma atomów metali alkalicznych — usunięcie degeneracji orbitalnej	201
11.1. Struktura powłokowa	201
11.2. Ekranowanie	203
11.3. Diagram termów	205
11.4. Powłoki wewnętrzne	209
Zadania i problemy	211
12. Magnetyzm orbitalny i spinowy. Struktura subtelna	212
12.1. Wstęp	212
12.2. Moment magnetyczny w ruchu orbitalnym	213

12.3. Precesja i orientacja w polu magnetycznym	216
12.4. Spin i moment magnetyczny elektronu	218
12.5. Wyznaczanie stosunku giromagnetycznego metodą Einsteina–de Haasa	220
12.6. Wykrycie kwantowania przestrzennego przez Sterna i Gerlacha	221
12.7. Struktura subtelna i sprzężenie spin–orbita	223
12.8. Obliczanie rozszczepienia spin–orbita w modelu Bohra	224
12.9. Układ poziomów w atomach metali alkalicznych	228
12.10. Struktura subtelna w atomie wodoru	229
12.11. Przesunięcie Lamba	231
Zadania i problemy	234
13. Atomy w polu magnetycznym: doświadczenia i ich półklasyczny opis	237
13.1. Kwantowanie przestrzenne w polu magnetycznym	237
13.2. Rezonans spinowy elektronów	237
13.3. Zjawisko Zeemana	241
13.3.1. Doświadczenia	241
13.3.2. Wyjaśnienie zjawiska Zeemana w ramach klasycznej teorii elektronowej	243
13.3.3. Opis normalnego zjawiska Zeemana w modelu wektorowym	245
13.3.4. Anomalne zjawisko Zeemana	247
13.3.5. Momenty magnetyczne przy uwzględnieniu sprzężenia spin–orbita	249
13.4. Zjawisko Paschena–Backa	250
13.5. Podwójny rezonans i pompowanie optyczne	252
Zadania i problemy	254
14. Atomy w polu magnetycznym: opis w ramach mechaniki kwantowej	256
14.1. Kwantowa teoria normalnego zjawiska Zeemana	256
14.2. Kwantowa teoria spinów elektronu i protonu	258
14.2.1. Spin jako moment pędu	258
14.2.2. Operatory spinowe, macierze spinowe i spinowe funkcje falowe	259
14.2.3. Równanie Schrödingera dla spinu w polu magnetycznym	261
14.2.4. Opis precesji spinu za pomocą wartości oczekiwanych	263
14.3. Kwantowa teoria anomalnego zjawiska Zeemana z uwzględnieniem sprzężenia spin–orbita*	265
14.4. Kwantowa teoria spinu w przypadku wzajemnie prostopadłych pól magnetycznych, z których jedno jest stałe, a drugie zmienne w czasie	269
14.5. Równania Blocha	273
14.6. Relatywistyczna teoria elektronu. Równanie Diraca	276
Zadania i problemy	282
15. Atomy w polu elektrycznym	284
15.1. Obserwacje zjawiska Starka	284
15.2. Kwantowa teoria liniowego i kwadratowego zjawiska Starka	286
15.2.1. Hamiltonian	286
15.2.2. Kwadratowe zjawisko Starka. Rachunek zaburzeń w przypadku bez degeneracji stanów*	287
15.2.3. Liniowe zjawisko Starka. Rachunek zaburzeń w przypadku degeneracji stanów*	290
15.3. Oddziaływanie atomu dwupoziomowego z polem promieniowania spójnego	293

15.4. Echo spinowe i fotonowe	297
15.5. Rzut oka na elektrodynamikę kwantową*	300
15.5.1. Kwantowanie pola	300
15.5.2. Renormalizacja masy i przesunięcie Lamba	305
Zadania i problemy	312
16. Ogólne prawa przejść optycznych	314
16.1. Symetrie i reguły wyboru	314
16.1.1. Optyczne elementy macierzowe	314
16.1.2. Przykłady symetrii funkcji falowych	314
16.1.3. Reguły wyboru	319
16.1.4. Reguły wyboru i promieniowanie multipolowe*	322
16.2. Szerokości i kształty linii	326
17. Atomy wieloelektronowe	331
17.1. Widmo atomu helu	331
17.2. Odpychanie się elektronów i zakaz Pauliego	333
17.3. Sprzężenie momentów pędu	334
17.3.1. Mechanizm sprzężenia	334
17.3.2. Sprzężenie <i>LS</i> (sprzężenie Russella–Saundersa)	335
17.3.3. Sprzężenie <i>jj</i>	339
17.4. Momenty magnetyczne atomów wieloelektronowych	341
17.5. Wzbudzenia wielokrotne	342
Zadania i problemy	343
18. Widma promieniowania rentgenowskiego. Powłoki wewnętrzne	344
18.1. Uwagi wstępne	344
18.2. Promieniowanie rentgenowskie z powłok zewnętrznych	345
18.3. Promieniowanie hamowania	345
18.4. Emisyjne widma liniowe. Promieniowanie charakterystyczne	348
18.5. Struktura subtelna widm promieniowania rentgenowskiego	352
18.6. Widma absorpcyjne	353
18.7. Zjawisko Augera	356
18.8. Spektroskopia fotoelektronowa (XPS), ESCA	358
Zadania i problemy	360
19. Struktura układu okresowego. Stany podstawowe pierwiastków	362
19.1. Układ okresowy i struktura powłokowa	362
19.2. Od konfiguracji elektronowej do schematu termów atomowych. Stany podstawowe atomów	370
19.3. Stany wzbudzone atomów i możliwe konfiguracje elektronowe. Kompletny schemat termów	373
19.4. Zagadnienie wieloelektronowe. Metoda Hartree’ego–Focka*	376
19.4.1. Zagadnienie dwuelektronowe	376
19.4.2. Układ wieloelektronowy bez wzajemnych oddziaływań	380
19.4.3. Oddziaływanie kulombowskie elektronów. Metody Hartree’ego i Hartree’ego–Focka	381
Zadania i problemy	384

20. Spin jądrowy. Struktura nadsubtelna	386
20.1. Wpływ jądra atomowego na widma atomowe	386
20.2. Spiny i momenty magnetyczne jąder atomowych	387
20.3. Oddziaływanie nadsubtelne	389
20.4. Struktura nadsubtelna stanów podstawowych atomów wodoru, sodu i wodoropodobnego jonu $_{83}\text{Bi}^{82+}$	394
20.5. Struktura nadsubtelna w zewnętrznym polu magnetycznym. Elektronowy rezonans spinowy	396
20.6. Bezpośrednie pomiary spinów jądrowych i momentów magnetycznych. Magnetyczny rezonans jądrowy	402
20.7. Zastosowania magnetycznego rezonansu jądrowego	406
20.8. Jądrowy elektryczny moment kwadrupolowy	411
Zadania i problemy	414
21. Laser	415
21.1. Pojęcia podstawowe	415
21.2. Równania bilansu i warunki akcji laserowej	419
21.3. Amplituda i faza światła laserowego	423
Zadania i problemy	426
22. Współczesne metody spektroskopii optycznej	427
22.1. Metody klasyczne	427
22.2. Dudnienia kwantowe	428
22.3. Bez Dopplera spektroskopia nasyceniowa	430
22.4. Bez Dopplera absorpcja dwufotonowa	433
22.5. Spektroskopia przecinania poziomów. Zjawisko Hanlego	435
22.6. Laserowe chłodzenie atomów	437
22.7. Detekcja pojedynczego fotonu bez jego destrukcji — wnęka rezonansowa	443
Zadania i problemy	446
23. Postępy fizyki kwantowej: głębsze zrozumienie i nowe zastosowania	447
23.1. Wstęp	447
23.2. Zasada superpozycji, interferencja, prawdopodobieństwo i amplitudy prawdopodobieństwa	447
23.3. Kot Schrödingera	449
23.4. Dekoherencja	450
23.5. Splątanie	451
23.6. Paradoks Einsteina–Podolsky’ego–Rosena	452
23.7. Nierówności Bella i hipoteza ukrytych zmiennych	452
23.8. Doświadczalne testy nierówności Bella	455
23.9. Komputery kwantowe	457
23.9.1. Uwagi historyczne	457
23.9.2. Komputery cyfrowe — podstawy	457
23.9.3. Podstawowe koncepcje działania komputera kwantowego	459
23.9.4. Dekoherencja i korekcja błędów	461
23.9.5. Porównanie komputera kwantowego z komputerem cyfrowym	462
23.10. Kwantowa teoria informacji	463
23.11. Kondensacja Bosego–Einsteina	463
23.11.1. Mechanika statystyczna	463

23.11.2. Obserwacja doświadczalna kondensacji Bosego–Einsteina	464
23.11.3. Kwantowa teoria kondensacji Bosego–Einsteina	465
23.12. Laser atomowy	466
Zadania i problemy	467
24. Podstawy kwantowej teorii wiązania chemicznego	468
24.1. Uwagi wstępne	468
24.2. Jon cząsteczki wodoru H_2^+	469
24.3. Efekt tunelowy*	475
24.4. Cząsteczka wodoru H_2	477
24.5. Rezonans kowalencyjno-jonowy	484
24.6. Teoria Hunda–Mullikena–Blocha	485
24.7. Hybrydyzacja	486
24.8. Elektrony π benzenu, C_6H_6	489
Zadania i problemy	491
Dodatki	492
A. Funkcja delta Diraca i normowanie funkcji falowej cząstki swobodnej w nieograniczonej przestrzeni	492
B. Własności hamiltonianu oraz jego funkcji i wartości własnych	496
C. Wyprowadzenie zasady nieokreśloności Heisenberga	497
Rozwiązania zadań i problemów	500
Wykaz literatury uzupełniającej i specjalistycznej	555
Skorowidz	561

* Czytelnik zainteresowany jedynie wiązaniem chemicznym może pominąć ten paragraf.