

MARTA SKORKO

Fizyka

podręcznik dla studentów
wyższych technicznych
studiów zawodowych
dla pracujących



WARSZAWA
PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

Spis rzeczy

Przedmowa	15
Wiadomości wstępne	17
1. Przedmiot fizyki i metody badań	17
2. Wielkości fizyczne. Układy jednostek. Układ SI	18
3. Definicje jednostek bazowych układu SI	19
4. Wielkości pochodne i ich jednostki w układzie SI	21
5. Jednostki wielokrotne i podwielokrotne układu SI	22
6. Podstawowe wiadomości o wektorach	23
Pytania i zadania	28

CZĘŚĆ I. MECHANIKA

1. Kinematyka punktu materialnego i bryły sztywnej	29
1.1. Określenie ruchu	29
1.2. Prędkość i przyspieszenie	30
1.3. Ruch prostoliniowy jednostajny i jednostajnie zmienny	33
1.4. Ruch krzywoliniowy	35
1.4.1. Wyznaczanie równania toru w ruchu płaskim	36
1.4.2. Badanie prędkości w ruchu krzywoliniowym	37
1.4.3. Badanie przyspieszenia w ruchu krzywoliniowym	39
1.4.4. Przykład analizy ruchu krzywoliniowego	40
1.5. Ruch po okręgu	41
1.5.1. Ruch jednostajny po okręgu	42
1.5.2. Ruch niejednostajny po okręgu	44
1.6. Kinematyka bryły sztywnej	45
Pytania i zadania	47
2. Dynamika ruchu postępowego	48
2.1. Pierwsza zasada dynamiki	48
2.2. Druga zasada dynamiki	48
2.3. Ogólniejsze ujęcie drugiej zasady dynamiki	49
2.4. Trzecia zasada dynamiki	50
2.5. Dynamika ruchu po okręgu	51
2.5.1. Siła dośrodkowa	51
2.5.2. Siła odśrodkowa reakcji	52
2.5.3. Siła odśrodkowa bezwładności	53
2.6. Zasada względności ruchów w mechanice klasycznej	56
2.7. Dynamika układu punktów materialnych. Środek masy	65

2.8. Zasada zachowania pędu	67
Pytania i zadania	69
3. Praca i energia	71
3.1. Praca	71
3.2. Moc	73
3.3. Energia	74
3.3.1. Energia kinetyczna	75
3.3.2. Energia potencjalna mechaniczna	76
3.4. Układy zachowawcze i rozpraszające. Zasada zachowania energii mechanicznej	80
3.5. Zasada zachowania energii	80
Pytania i zadania	81
4. Ciężenie powszechne	82
4.1. Prawo powszechnego ciężenia	82
4.2. Stosowalność prawa powszechnego ciężenia do ciał niebieskich	82
4.3. Prawa Keplera	83
4.4. Ciężar ciał na Ziemi	84
4.5. Zmienność wartości przyspieszenia ziemskiego na Ziemi	85
4.6. Pole grawitacyjne	86
4.7. Ruchy ciał w polu grawitacyjnym Ziemi	88
Pytania i zadania	94
5. Dynamika ruchu obrotowego bryły sztywnej	96
5.1. Rozważania wstępne	96
5.2. Moment siły	97
5.3. Warunek powstawania ruchu obrotowego zmiennego	98
5.4. Ruch obrotowy zmienny bryły sztywnej	100
5.5. Moment bezwładności	100
5.6. Energia kinetyczna w ruchu obrotowym	103
5.7. Moment pędu (krętu) bryły	104
5.8. Zależność krętu bryły od momentu siły. Zasada zachowania krętu	105
5.9. Wnioski z zasady zachowania krętu	106
5.10. Zestawienie podstawowych wielkości i wzorów obowiązujących w ruchu postępowym i obrotowym brył sztywnych	107
5.11. Swobodne osie obrotu	107
5.12. Ruch precesyjny	109
Pytania i zadania	113
6. Elementy statyki ciała sztywnego	115
6.1. Postulat statyki	115
6.2. Przegląd różnych przypadków działania sił na ciało sztywne	116
6.3. Warunek równowagi statycznej ciała sztywnego	121
6.4. Równowaga ciał w polu grawitacyjnym	124
6.5. Związek rodzajów równowagi z energią potencjalną	125
6.6. Wagi laboratoryjne	126
6.7. Gęstość a ciężar właściwy	128
6.8. Tarcie	129
Pytania i zadania	133
7. Elementy teorii względności	136
7.1. Rozważania wstępne	136
7.2. Transformacja Galileusza	136

7.3. Transformacje Lorentza	137
7.4. Relatywistyczne dodawanie prędkości	139
7.5. Zmiana masy ciała w zależności od prędkości	140
7.6. Związek masy ciała z energią	141
7.7. Skrócenie Lorentza i paradoks bliźniąt	142
7.8. Podsumowanie wiadomości	144
Pytania i zadania	145
8. Właściwości sprężyste ciał	146
8.1. Ogólna charakterystyka ciał odkształcalnych	146
8.2. Odkształcenia sprężyste. Prawo Hooke'a	147
8.3. Energia potencjalna sprężysta	152
8.4. Ogólna charakterystyka zderzeń ciał	153
8.4.1. Zderzenia kul doskonale sprężystych	154
8.4.2. Zderzenia doskonale niesprężyste	157
Pytania i zadania	158
9. Właściwości cieczy i gazów	159
9.1. Podstawowe wiadomości z hydrostatyki	159
9.1.1. Ogólna charakterystyka cieczy	159
9.1.2. Prawo Pascala	161
9.1.3. Ciśnienie hydrostatyczne	162
9.1.4. Prawo Archimidesa	163
9.2. Ogólna charakterystyka gazów	165
9.3. Ciśnienie atmosferyczne	168
9.4. Manometry. Pompy rozrzedzające	170
9.5. Ogólna charakterystyka ruchu płynów	174
9.6. Prawa rządzące ruchem cieczy doskonalej	178
9.6.1. Prawo Bernoulliego	178
9.6.2. Prawo Torricellego	181
9.7. Ogólne uwagi dotyczące ruchu gazów	182
9.8. Lepkość płynów	184
9.9. Ruch burzliwy płynów	189
9.10. Opór ośrodka	190
Pytania i zadania	192
10. Drgania mechaniczne	194
10.1. Ruch harmoniczny	194
10.2. Wahadło matematyczne	200
10.3. Wahadło fizyczne	201
10.4. Drgania harmoniczne tłumione	203
10.5. Drgania wymuszone. Rezonans	206
10.6. Podsumowanie wiadomości o drganiach swobodnych i wymuszonych	209
10.7. Drgania samowzbudne. Drgania samowzbudne relaksacyjne	210
10.8. Składanie drgań harmoniczných	212
Pytania i zadania	216
11. Ruch falowy	218
11.1. Ogólna charakterystyka fal mechanicznych	218
11.2. Podział fal	220
11.3. Mechanizm rozchodzenia się fal w ośrodkach sprężystych	221
11.4. Zasada Huygensa. Ugięcie, odbicie i załamanie fal	225
11.5. Równanie fali płaskiej harmonicznej	228

11.6. Równanie różniczkowe fali płaskiej	230
11.7. Prędkość rozchodzenia się fali w ośrodku sprężystym	231
11.8. Superpozycja fal	234
11.9. Graficzne przedstawienie powstawania fali stojącej	236
11.10. Powstawanie fali stojącej podczas interferencji fali padającej i odbitej	239
11.11. Polaryzacja fal	245
11.12. Fale okresowe nieharmoniczne	246
11.13. Strumień energii i natężenie fali. Ciśnienie i opór akustyczny	247
Pytania i zadania	250
12. Fale głosowe	251
12.1. Wrażenia słuchowe	251
12.2. Krzywa czułości ucha ludzkiego	253
12.3. Prędkość fal głosowych	255
12.4. Podstawowe zjawiska towarzyszące rozchodzeniu się fal głosowych	256
12.5. Fale głosowe stojące	257
12.6. Zjawisko Dopplera	263
12.7. Ultradźwięki	267
Pytania i zadania	273
CZĘŚĆ II. CIEPŁO	
13. Termometria	275
13.1. Podstawy termometrii	275
13.2. Termometry cieczowe	277
13.3. Termometry gazowe	278
13.4. Termometry elektryczne	279
13.5. Uwagi ogólne	282
Pytania i zadania	283
14. Rozszerzalność cieplna ciał	284
14.1. Rozszerzalność liniowa	284
14.2. Rozszerzalność objętościowa ciał stałych i ciekłych	285
14.3. Zmiany gęstości ciał podczas ogrzewania	286
14.4. Właściwości cieplne gazów	287
14.5. Równanie stanu gazu doskonałego	289
14.6. Równanie Clapeyrona	291
Pytania i zadania	292
15. Kalorymetria	294
15.1. Jednostka ilości ciepła i ciepło właściwe	294
15.2. Pomiar ilości ciepła	296
15.3. Prawo Dulonga i Petita	298
Pytania i zadania	299
16. Fizyka molekularna	300
16.1. Ogólne założenia teorii kinetyczno-molekularnej	300
16.2. Wprowadzenie do teorii kinetycznej gazów	302
16.3. Rozkład prędkości Maxwella	303
16.4. Ciśnienie gazu z punktu widzenia teorii kinetycznej	306
16.5. Obliczanie prędkości średniej kwadratowej	309
16.6. Pojęcie temperatury z punktu widzenia teorii kinetycznej	310
16.7. Prawa charakteryzujące przemiany gazowe w ujęciu teorii kinetycznej	311

16.7.1. Prawo Boyle'a–Mariotte'a z punktu widzenia teorii kinetycznej gazów	311
16.7.2. Prawo Avogadra z punktu widzenia teorii kinetycznej gazów	311
16.7.3. Prawo Daltona z punktu widzenia teorii kinetycznej gazów	311
16.8. Zasada ekwipartycji energii	312
16.9. Energia wewnętrzna gazu doskonałego jako funkcja temperatury	316
16.10. Średnia droga swobodna cząsteczek	317
16.11. Zjawiska transportu energii, masy i pędu	318
16.11.1. Przewodnictwo cieplne	319
16.11.2. Dyfuzja	322
16.11.3. Lepkość gazów	325
16.12. Ciała krystaliczne i bezpostaciowe. Podstawowe wiadomości z krystalografii	327
16.13. Klasyfikacja wiązań krystalicznych	330
16.14. Defekty wewnątrz kryształów. Dyslokacje	334
16.15. Wprowadzenie do teorii kinetycznej cieczy	337
16.16. Ciśnienie molekularne w cieczach	339
16.17. Napięcie powierzchniowe	340
16.18. Energia potencjalna warstwy powierzchniowej cieczy	342
16.19. Zależność ciśnienia molekularnego od kształtu powierzchni swobodnej	343
16.20. Przyleganie	345
16.21. Włóskowatość	347
Pytania i zadania	348
17. Przemiany fazowe	351
17.1. Zjawiska topnienia i krzepnięcia ciał	351
17.2. Zależność temperatury topnienia od ciśnienia	353
17.3. Przechłodzenie cieczy	355
17.4. Zjawisko parowania	356
17.5. Ciepło parowania i ciepło skraplania	358
17.6. Przegrzanie cieczy	360
17.7. Para nasycona i nienasycona	360
17.8. Graficzne przedstawienie właściwości par	364
17.9. Stan krytyczny	366
17.10. Skraplanie gazów	369
17.11. Właściwości ciał w niskich temperaturach	373
17.12. Równanie stanu gazów rzeczywistych	374
17.13. Wykresy równowagi fazowej. Prawo Clausiusa–Clapeyrona. Punkt potrójny	378
Pytania i zadania	379
18. Termodynamika	382
18.1. Uwagi wstępne	382
18.2. Wprowadzenie podstawowych pojęć z dziedziny termodynamiki	382
18.3. Graficzne przedstawienie przemian termodynamicznych zachodzących w układzie	384
18.4. Energia wewnętrzna	385
18.5. Pierwsza zasada termodynamiki	386
18.6. Zastosowanie I zasady termodynamiki do izoprzemian gazu doskonałego	387
18.7. Graficzne przedstawienie pracy	391
18.8. Druga zasada termodynamiki	392
18.9. Sprawność silnika termodynamicznego. Cykl Carnota	392
18.10. Termodynamiczna skala temperatur	397
18.11. Zasada degradacji energii	399
18.12. Nierówność Clausiusa	400
18.13. Entropia	401

18.14. Interpretacja statystyczna zasady wzrostu entropii	406
18.15. Trzecia zasada termodynamiki	406
Pytania i zadania	407
CZĘŚĆ III. ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM	
Wstęp historyczny	409
19. Elektrostatyka	412
19.1. Ładunek elektryczny	412
19.2. Pole elektrostatyczne. Natężenie pola	416
19.3. Linie sił pola elektrycznego. Strumień elektryczny	418
19.4. Prawo Ostrogradskiego-Gaussa	421
19.5. Natężenie pola elektrycznego na granicy dielektryków	423
19.6. Wektor indukcji elektrostatycznej	425
19.7. Zastosowania prawa Gaussa	426
19.8. Praca przenoszenia ładunku w polu elektrycznym. Napięcie elektryczne	428
19.9. Potencjał elektryczny	430
19.9.1. Potencjał w otoczeniu ładunku punkowego	432
19.9.2. Powierzchnie ekwipotencjalne	433
19.10. Związek między natężeniem pola elektrostatycznego i potencjałem	434
19.11. Pojemność elektryczna	436
19.12. Kondensatory	437
19.13. Elektryczna energia potencjalna	442
19.14. Elektrometry	444
19.15. Przewodniki w polu elektrostatycznym. Elektryzowanie przez indukcję	446
19.16. Dielektryki w polu elektrostatycznym	447
19.17. Wyznaczanie ładunku elementarnego metodą Millikana	453
19.18. Podsumowanie wiadomości	455
Pytania i zadania	456
20. Prąd elektryczny stały	459
20.1. Natężenie prądu elektrycznego	459
20.2. Prawo Ohma	460
20.3. Zależność oporu elektrycznego metali od różnych czynników	462
20.4. Prawo Kirchhoffa	463
20.5. Łączenie oporów	464
20.6. Łączenie źródeł napięcia prądu stałego	470
20.7. Moc prądu elektrycznego	472
20.8. Prąd elektryczny w elektrolitach	473
20.8.1. Prawa Faradaya	473
20.8.2. Mechanizm elektrolizy	475
20.8.3. Przewodność elektrolityczna. Ruchliwość jonów	477
20.9. Prądy w gazach	479
20.9.1. Jonizacja gazów	479
20.9.2. Prądy w gazach pod ciśnieniem normalnym	481
20.9.3. Wyładowania jarzeniowe w gazach rozrzedzonych	483
20.9.4. Mechanizm wyładowań jarzeniowych w gazach rozrzedzonych	484
20.10. Klasyczna teoria przewodnictwa elektrycznego metali	485
Pytania i zadania	487
21. Pole magnetyczne	489
21.1. Wiadomości wstępne	489

21.2. Indukcja magnetyczna	490
21.3. Działanie pola magnetycznego na odcinek przewodu z prądem elektrycznym	491
21.4. Pole magnetyczne w otoczeniu przewodu z prądem	494
21.5. Prawo Biota i Savarta	496
21.6. Wzajemne oddziaływania przewodów z prądem	500
21.7. Natężenie pola magnetycznego	503
21.8. Wektor namagnesowania	506
Pytania i zadania	508
22. Indukcja elektromagnetyczna. Prądy zmienne	510
22.1. Uwagi wstępne	510
22.2. Prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya	512
22.3. Prądy Foucaulta	517
22.4. Indukcja wzajemna dwóch obwodów	517
22.5. Indukcja własna	519
22.6. Prąd sinusoidalnie zmienny	523
22.7. Natężenie prądu zmiennego jako funkcja indukcyjności, pojemności i oporu	524
Pytania i zadania	527
23. Drgania i fale elektromagnetyczne	529
23.1. Analiza jakościowa drgań elektromagnetycznych	529
23.2. Analiza ilościowa drgań elektromagnetycznych	531
23.2.1. Drgania elektromagnetyczne w układzie <i>LC</i>	531
23.2.2. Drgania elektromagnetyczne w obwodzie <i>LRC</i>	533
23.3. Drgania elektromagnetyczne wymuszone. Rezonans	535
23.4. Elektryczne obwody drgające otwarte	537
23.5. Promieniowanie oscylującego dipola elektrycznego	540
23.6. Fale elektromagnetyczne	542
23.7. Widmo fal elektromagnetycznych	542
Pytania i zadania	544
/	
CZĘŚĆ IV. OPTYKA	
Wstęp historyczny. Rozwój poglądów na naturę światła	546
24. Optyka geometryczna	548
24.1. Pojęcie promienia świetlnego	548
24.2. Prawa odbicia światła	549
24.3. Zwierciadła płaskie i sferyczne	549
24.4. Aberracja sferyczna	555
24.5. Astygmatyzm	557
24.6. Zwierciadła niesferyczne	557
24.7. Prawa załamania światła	558
24.8. Prędkość światła	560
24.9. Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia	562
24.10. Załamanie światła w płycie płasko-równoległej	565
24.11. Załamanie światła w pryzmacie	566
24.12. Soczewki cienkie	568
24.13. Dyskusja wzoru soczewkowego	571
24.14. Wady odwzorowań w soczewkach	573
24.15. Przyrządy optyczne	576
24.15.1. Oko	576
24.15.2. Lupa	577

24.15.3. Mikroskop	579
24.15.4. Luneta astronomiczna	582
24.15.5. Luneta ziemna	584
Pytania i zadania	584
25. Optyka falowa (I). Interferencja i ugięcie światła	587
25.1. Rozważania wstępne	587
25.2. Interferencja światła. Spójność promieniowania	587
25.3. Interferencja światła w cienkich warstwach	591
25.4. Pierścienie Newtona	594
25.5. Zastosowanie interferencji światła w metrologii	596
25.6. Ugięcie światła	599
25.6.1. Doświadczenie Younga	601
25.6.2. Ogólne wiadomości o dyfrakcji Fresnela i Fraunhofera	603
25.6.3. Dyfrakcja Fraunhofera na pojedynczej szczelinie	605
25.6.4. Siatka dyfrakcyjna	607
25.7. Zdolność rozdzielcza przyrządów soczewkowych	609
Pytania i zadania	614
26. Optyka falowa (II). Polaryzacja światła	616
26.1. Istota zjawiska polaryzacji światła	616
26.2. Polaryzacja światła przez odbicie	619
26.3. Polaryzacja przy załamaniu światła w ośrodkach izotropowych	623
26.4. Polaryzacja przy podwójnym załamaniu światła	624
26.5. Polaryzatory i analizatory światła	630
26.6. Skręcanie płaszczyzny polaryzacji	634
26.7. Polaryzacja eliptyczna i kołowa. Interferencja w świetle spolaryzowanym	641
26.8. Polaryzacja chromatyczna	642
26.9. Dwójłomność wymuszona	643
Pytania i zadania	644
27. Fotometria	646
27.1. Rozróżnienie fotometrii energetycznej i wizualnej	646
27.2. Podstawowe wielkości fotometrii energetycznej	647
27.3. Krzywa wrażliwości oka ludzkiego	650
27.4. Podstawowe wielkości i jednostki fotometrii wizualnej	651
27.5. Fotometry	653
Pytania i zadania	656
28. Rozszczepienie światła	657
28.1. Promieniowanie widzialne, podczerwone i nadfioletowe	657
28.2. Dyspersja normalna	658
28.3. Przyzmaty achromatyczne i nie odchylające	660
28.4. Przyrządy spektralne	662
28.4.1. Spektroskop przyzmatyczny	662
28.4.2. Spektroskopy siatkowe (dyfrakcyjne)	664
28.4.3. Spektrografy	665
28.4.4. Spektrofotometry	666
28.5. Podstawowe wiadomości o analizie widmowej	667
28.5.1. Widma emisyjne	668
28.5.2. Widma absorpcyjne	669
28.6. Barwy ciał. Filtry absorpcyjne i interferencyjne	670
28.7. Podstawy fotokolorymetrii	673
Pytania i zadania	675

CZĘŚĆ V. WYBRANE ZAGADNIENIA Z FIZYKI WSPÓŁCZESNEJ

29. Podstawy fizyki współczesnej	676
29.1. Promieniowanie termiczne. Prawo Stefana-Boltzmann	676
29.2. Prawo Wiena	678
29.3. Prawo Kirchhoffa	678
29.4. Kwantowość promieniowania. Wzór Plancka	680
29.5. Promieniowanie termiczne ciał rzeczywistych	681
29.6. Pirometria optyczna	682
29.7. Zjawisko fotoelektryczne	683
29.8. Promienie Röntgena	689
29.8.1. Ogólna charakterystyka właściwości promieni Röntgena	689
29.8.2. Natura falowa promieni Röntgena	693
Pytania i zadania	697
30. Fizyka atomowa	699
30.1. Widmo atomu wodoru	699
30.2. Modele atomu	701
30.3. Model atomu Rutherforda-Bohra	704
30.4. Poziomy energetyczne	710
30.5. Jony wodoropodobne	713
30.6. Warunki kwantowe Sommerfelda	714
30.7. Fale materii	717
30.8. Moment magnetyczny elektronu	721
30.9. Liczba kwantowa magnetyczna	722
30.10. Liczba kwantowa spinowa	724
30.11. Zasada Pauliego. Układ okresowy pierwiastków	725
30.12. Widma rentgenowskie	729
30.13. Zjawisko Comptona	734
Pytania i zadania	735
31. Fizyka jądrowa	737
31.1. Ogólna charakterystyka jądra atomowego	737
31.2. Trwałość jądra	738
31.2.1. Energia wiązania	738
31.2.2. Siły działające w jądrach atomowych	739
31.2.3. Wstępne zestawienie przemian jądrowych	740
31.3. Promieniotwórczość naturalna	741
31.3.1. Ogólna charakterystyka przemian promieniotwórczych naturalnych. Reguły przesunięć	741
31.3.2. Szeregi promieniotwórcze	742
31.3.3. Kinetyka przemian promieniotwórczych	744
31.3.4. Energia cząstek α i β . Neutrino	745
31.4. Detektory promieniowania	748
31.5. Reakcje jądrowe wywołane działaniem szybkich cząstek i fotonów γ	751
31.6. Akceleratory	753
31.7. Reakcje rozszczepienia jąder atomowych. Model kroplowy jądra	758
31.8. Reaktory łańcuchowe	761
31.9. Reaktory jądrowe	763
31.10. Reaktory plutonowe	766
Pytania i zadania	767

32. Fizyka ciała stałego	769
32.1. Uwagi wstępne	769
32.2. Struktura elektronowa atomów typowych pierwiastków metalicznych	771
32.3. Wiązania metaliczne	771
32.4. Charakterystyka właściwości metali oparta na koncepcji elektronów swobodnych	772
32.5. Rozkład potencjału wewnątrz i na powierzchni metalu	775
32.6. Emisja elektronów z metalu	776
32.7. Potencjały kontaktowe. Zjawisko termoelektryczne	778
32.8. Model pasmowy ciała stałego	780
32.9. Struktura elektronowa i krystaliczna krzemu i germanu. Wiązania kowalencyjne	781
32.10. Półprzewodniki samoistne	782
32.11. Półprzewodniki domieszkowe	784
32.12. Model pasmowy półprzewodnika domieszkowego	786
32.13. Zależność przewodności elektrycznej półprzewodników od temperatury	789
32.14. Fotoprzewodnictwo półprzewodników	791
32.15. Złącze <i>p-n</i> . Uwagi ogólne	793
32.16. Działanie prostujące złącza <i>p-n</i>	795
32.17. Tranzystor	796
Pytania i zadania	799
Uzupełnienia	801
U.1. Spójność układów jednostek	801
U.2. Ważenie	803
U.2.1. Czułość wagi	803
U.2.2. Dokładne ważenie	804
U.3. Lampy elektronowe	806
U.3.1. Uwagi ogólne	806
U.3.2. Diody	807
U.3.3. Triody	810
U.3.4. Lampy wieloelektrodowe	814
U.3.5. Lampa elektronowa jako generator drgań niegasnących	814
Tablice uzupełniające	816
Skorowidz nazwisk	824
Skorowidz rzeczowy	826