

Spis treści

Przedmowa do wydania I	10
Przedmowa do wydania II	11
Przedmowa do wydania III	12
Przedmowa do wydania IV	13
Wykaz ważniejszych oznaczeń	14
1. Wiadomości wstępne	17
1.1. Fenomenologiczny opis materii	17
1.2. Wielkości ekstensywne (WE)	19
1.3. Kryteria istnienia granicy pozornej	19
1.4. Gęstość zasobów wielkości substancjalnych (WS) oraz wielkości komponentalnych (WK)	21
1.5. Prędkość substancjalna i komponentalna	23
1.6. Wielkości intensywne (WI)	25
1.7. Pęd cieplny i energia kinetyczna zbioru cząsteczek substancji	25
1.8. Klasyfikacja energii	26
1.9. Wielkości referencjalne	27
1.10. Obszar substancjalny, niesubstancjalny oraz komponentalny	28
1.11. Zasady zapisu tensorów w symbolice kreskowej Gibbsa i wskaźnikowej Shoutena	30
1.12. Różniczka i pochodna referencjalna wielkości polowej	40
1.13. Pochodna substancjalna i komponentalna skalarnych i wektorowych wielkości polowych	43
1.14. Kryteria istnienia pól stacjonarnych i jednorodnych	44
1.15. Zastosowanie jakobianów w termodynamice	45
1.15.1. Analiza właściwości jakobianów	45
1.15.2. Tożsamości termodynamiczne	49
1.16. Określenie rzędu elementarnych przyrostów zasobu objętości i zasobu masy w układzie	51
2. Zerowa zasada termodynamiki	55
2.1. Parametry stanu i funkcje stanu	55
2.2. Układ, faza układu, równowaga i odwracalność termodynamiczna	55
2.3. Procesy kwazistatyczne w termodynamice	57
2.4. Osłona, adiabatyczna i diatermiczna	57
2.5. Temperatura układu	58
2.6. Ciśnienie w układzie	58
2.7. Sformułowanie zerowej zasady termodynamiki	62

3. Gazy doskonałe, półdoskonałe i rzeczywiste	63
3.1. Model gazu doskonałego	63
3.2. Termiczne współczynniki rozszerzalności i prężności oraz izotermiczny współczynnik ściśliwości	63
3.3. Prawo izobary Gay-Lussaca	64
3.4. Prawo izochory Charlesa	66
3.5. Prawo izotermy Boyle'a-Mariotte'a	67
3.6. Równanie stanu gazu doskonałego Clapeyrona. Indywidualna stała gazowa	68
3.7. Prawo Avogadra. Liczba Avogadra	70
3.8. Molowa gęstość zasobu objętości. Uniwersalna stała gazowa	70
3.9. Pojemność cieplna substancji	73
3.10. Gazy półdoskonałe	74
3.11. Gazy rzeczywiste	74
3.12. Prawo stanów odpowiadających sobie	77
3.13. Skala temperatury termometru gazowego	79
3.14. Równanie stanu gazu rzeczywistego van der Waalsa	81
3.15. Równanie stanu gazu rzeczywistego Berthelota	86
3.16. Równanie stanu gazu rzeczywistego Dietericiego	87
4. Termodynamika fazy gazowej wieloskładnikowej	89
4.1. Objętościowe gęstości zasobu ilości moli oraz masy mieszaniny	89
4.2. Objętościowe gęstości zasobu ilości moli oraz masy składnika mieszaniny	90
4.3. Koncentracja składnika mieszaniny	91
4.4. Molowa koncentracja składnika mieszaniny	91
4.5. Prawo Daltona	93
4.6. Ciśnienie składnika mieszaniny	93
4.7. Ułamek molowy składnika mieszaniny	93
4.8. Udział masowy składnika mieszaniny	94
4.9. Parcjalna gęstość zasobu objętości	95
4.10. Masowa gęstość zasobu objętości składnika mieszaniny	99
4.11. Udział objętościowy składnika mieszaniny	100
4.12. Gęstość strumienia dyfuzji	101
4.13. Równanie ciągłości dyfuzji	103
5. Pierwsza zasada termodynamiki	106
5.1. Klasyfikacja transportu energii	106
5.2. Ciepło	107
5.3. Praca	107
5.3.1. Równanie Pfaffa	108
5.3.2. Praca bezwzględna objętościowa	110
5.3.3. Praca uogólniona	113
5.3.4. Praca uogólniona zewnętrzna	114
5.3.5. Praca uogólniona wewnętrzna	114
5.3.6. Praca tarcia	114
5.3.7. Praca elementarna	115
5.3.8. Praca techniczna	115
5.3.9. Masowe gęstości ilości pracy elementarnej, bezwzględnej objętościowej, uogólnionej i technicznej	116
5.3.10. Mechaniczny równoważnik ciepła i cieplny równoważnik pracy	118
5.4. Energia wewnętrzna	120
5.5. Aksjomat bilansowy dla wielkości ekstensywnych (WE)	121

5.6.	Bilans podstawowy dla wielkości ekstensywnych (WE)	122
5.7.	Substancjalny bilans zasobu energii wewnętrznej (EW) dla wielkości ekstensywnych (WE)	124
5.8.	Sformułowanie pierwszej zasady termodynamiki dla wielkości ekstensywnych (WE)	129
5.9.	Bilans energii wewnętrznej (EW) w punkcie substancjalnym	130
5.10.	Sformułowanie równania pierwszej zasady termodynamiki dla wielkości intensywnych (WI)	139
5.11.	Funkcje termodynamiczne entalpii oraz entalpii uogólnionej	140
5.12.	Uogólniony bilans zasobu energii wewnętrznej dla układu otwartego	142
5.13.	Sformułowanie równania pierwszej zasady termodynamiki dla układu otwartego	145
6.	Druga zasada termodynamiki i jej konsekwencje	146
6.1.	Przemiany nierównowagowe	146
6.2.	Entropia. Sformułowanie drugiej zasady termodynamiki	147
6.3.	Statystyczna interpretacja entropii	152
6.4.	Uogólnione ciepło właściwe substancji	158
6.5.	Równanie Gibbsa	160
6.6.	Funkcja jednorodna. Tożsamość Eulera	162
6.7.	Funkcja termodynamiczna entalpii swobodnej oraz uogólnionej entalpii swobodnej	163
6.8.	Funkcja termodynamiczna energii swobodnej	166
6.9.	Termodynamiczne kryteria równowagi	167
6.10.	Uogólniony izobaryczno-izotermiczny potencjał termodynamiczny	171
6.11.	Warunki równowagi w układzie izolowanym	175
6.12.	Potencjał chemiczny. Potencjał elektrochemiczny	178
6.13.	Równanie Gibbsa-Duhema	183
6.14.	Uogólnione termodynamiczne równania Maxwella	183
6.15.	Różnica między ciepłami właściwymi przy stałej sile i przy stałej współrzędnej uogólnionej. Równanie Meyera	186
6.16.	Równania ciepła z uwzględnieniem drugiej zasady termodynamiki	188
6.17.	Prawo Joule'a	189
6.18.	Energia wewnętrzna układu substancjalnego oddziałującego z otoczeniem w przemianie izochorycznej	192
7.	Podstawowe funkcje termodynamiczne gazów doskonałych i półdoskonałych	194
7.1.	Energia wewnętrzna gazu doskonałego i półdoskonałego	194
7.2.	Entalpia gazu doskonałego i półdoskonałego	195
7.3.	Entropia gazu doskonałego i półdoskonałego	196
8.	Przemiany termodynamiczne	199
8.1.	Przemiana izochoryczna	199
8.2.	Przemiana izobaryczna	201
8.3.	Przemiana izotermiczna	203
8.4.	Przemiana izentropowa (adiabata odwracalna)	205
8.5.	Przemiana politropowa	207
8.6.	Przemiany gazu doskonałego w układach otwartych	211
8.6.1.	Napełnianie zbiornika	211
8.6.2.	Opróżnianie zbiornika	214
8.6.3.	Ogrzewanie gazu w zbiorniku otwartym	215

9. Analiza funkcji termodynamicznych gazów rzeczywistych	218
9.1. Ciepło właściwe gazu rzeczywistego przy stałej objętości	218
9.2. Ciepło właściwe gazu rzeczywistego przy stałym ciśnieniu	219
9.3. Funkcja termodynamiczna energii wewnętrznej gazów rzeczywistych	221
9.4. Funkcja termodynamiczna entalpii gazów rzeczywistych	222
9.5. Funkcja termodynamiczna entropii gazów rzeczywistych	224
9.6. Zjawisko Joule'a-Gay-Lussaca	225
9.7. Zjawisko Joule'a-Thomsona	227
9.8. Efekt zjawiska Joule'a-Thomsona	229
9.9. Ciepło neutralizacji całkowitego efektu zjawiska Joule'a-Thomsona	234
9.10. Skraplanie gazów	237
10. Para	242
10.1. Proces izobarycznego parowania	242
10.2. Ciepło przemiany fazowej parowania	245
10.3. Ciepło przemiany fazowej sublimacji	247
10.4. Równanie Clausiusa-Clapeyrona	248
10.5. Stopień suchości pary mokrej	249
11. Gazy wilgotne. Powstawanie gazu wilgotnego	251
12. Obiegi termodynamiczne	255
12.1. Model doskonałej tłokowej maszyny przepływowej	257
12.2. Praca indykatorowa i wykresowa	258
12.3. Praca wewnętrzna (internijna)	259
12.4. Praca efektywna	259
12.5. Lokalne równanie zasobu entalpii dla urządzeń przepływowych	260
12.6. Praca odwracalnego obiegu prawo- i lewobieżnego	264
12.7. Praca nieodwracalnego obiegu prawo- i lewobieżnego	265
12.8. Bilanse zasobu entalpii dla nieodwracalnych obiegów prawo- i lewobieżnych o ustalonych strumieniach przepływu czynnika	266
12.9. Sprawność termiczna obiegu prawobieżnego	270
12.10. Sprawność termiczna obiegu lewobieżnego	270
12.11. Odwracalny obieg Carnota	272
12.12. Teoremat Carnota	273
12.13. Termodynamiczna skala temperatury Kelvina	275
12.14. Obieg porównawczy Otta	277
12.15. Obieg porównawczy Diesla	279
12.16. Obieg porównawczy Sabathégo	280
12.17. Obieg porównawczy Joule'a	281
12.18. Sprawności i moce silników spalinowych	284
12.19. Sprężarki tłokowe	288
13. Przemiany fazowe	292
13.1. Reguła faz Gibbsa	295
13.2. Przemiany fazowe pierwszego i drugiego rodzaju	295
13.3. Termodynamika przemian fazowych	299
14. Trzecia zasada termodynamiki	302
14.1. Równanie Gibbsa-Helmholtza	302
14.2. Całka równania Gibbsa-Helmholtza	304
14.3. Teoremat Nernsta	305

14.4. Sformułowanie trzeciej zasady termodynamiki	307
14.5. Konsekwencje trzeciej zasady termodynamiki	308
15. Kinetyczna teoria gazów	309
15.1. Kinetyczna teoria ciśnienia gazu	310
15.2. Porównanie praw gazu doskonałego z wynikami kinetycznej teorii gazów	319
15.3. Ekwipartycja energii	323
15.4. Rozkład prędkości Maxwella	324
15.4.1. Przestrzeń prędkości	324
15.4.2. Zderzenia sprężyste cząsteczek	329
15.4.3. Obliczenie stałych \mathbf{B} i β funkcji objętościowej gęstości zasobu ilości cząsteczek gazu o zasobie energii E	331
15.4.4. Rozkład zasobu ilości cząsteczek w funkcji modułów ich prędkości	335
15.5. Prędkość średnia i prędkość średniej kwadratów prędkości	339
15.6. Prędkość najbardziej prawdopodobna	340
15.7. Średnia droga swobodna	341
15.8. Prawdopodobieństwo przebycia drogi swobodnej przez cząsteczkę	344
15.9. Częstość zderzeń cząsteczek	345
15.10. Gęstość strumienia wymiany ilości cząsteczek gazu	346
15.11. Efuzja molekularna	348
15.12. Gęstość strumienia wymiany ilości cząsteczek pary	350
15.13. Współczynniki w zjawiskach transportu	351
16. Kinetyczna teoria promieniowania	359
16.1. Pudło izotermiczne	359
16.2. Zasób ilości oscylatorów promieniowania w pudle izotermicznym	359
16.3. Objętościowa gęstość zasobu ilości oscylatorów promieniowania	361
16.4. Funkcja rozkładu widmowego objętościowej gęstości zasobu ilości oscylatorów promieniowania	363
16.5. Funkcja rozkładu widmowego objętościowej gęstości zasobu energii promieniowania w ujęciu klasycznym	364
16.6. Funkcja rozkładu widmowego objętościowej gęstości zasobu energii promieniowania według Wiena	366
16.7. Zasób energii promieniowania oscylatora w przedziale całego pola dozwolonych poziomów energetycznych (kwantowa hipoteza Plancka)	367
16.8. Funkcja rozkładu widmowego objętościowej gęstości zasobu energii promieniowania w ujęciu Plancka	371
16.9. Objętościowa gęstość zasobu energii promieniowania w ujęciu Plancka	373
16.10. Funkcja rozkładu widmowego wektora gęstości strumienia wymiany energii promieniowania	374
16.11. Wektor gęstości strumienia wymiany energii promieniowania. Prawo promieniowania Stefana-Boltzmann	376
16.12. Prawo przesunięć Wiena	377
16.13. Ciśnienie promieniowania	378
16.14. Określenie objętościowej gęstości zasobu energii promieniowania przy wykorzystaniu pierwszej i drugiej zasady termodynamiki	379
16.15. Adyabatyczne rozprężanie promieniowania	381
16.16. Teoria Debye'a ciepła właściwego ciał stałych	382
16.17. Elektronowe ciepło właściwe	385
16.18. Inwersja obsadzeń	385
16.19. Mechanika atomów i cząstek	390

16.20.	Równanie falowe Schrödingera we współrzędnych prostokątnych	397
16.21.	Wartości oczekiwane	407
16.22.	Równanie falowe Schrödingera we współrzędnych sferycznych	411
16.23.	Orbitalny moment pędu	417
16.24.	Studnia potencjału o skończonej głębokości	424
16.25.	Zjawisko tunelowe	429
16.26.	Kwantowy oscylator harmoniczny	433
16.27.	Energia translacyjna, rotacyjna i oscylacyjna cząsteczki	438
16.28.	Energia zbioru cząsteczek w ujęciu molekularnym	447
16.29.	Nierozróżnialność i statystyka kwantowa	460
16.30.	Rozkłady statystyczne	468
16.30.1.	Rozkład mikrokanoniczny	470
16.30.2.	Rozkład kanoniczny	472
16.30.3.	Wielki rozkład kanoniczny	477
16.30.4.	Zespół statystyczny	481
16.30.5.	Hipoteza ergodyczna Boltzmanna	482
16.31.	Statystyki kwantowe Fermiego-Diraca oraz Bosego-Einsteina	484
16.32.	Zastosowanie rozkładu Boltzmanna do przybliżenia rozkładów kwantowych	489
16.33.	Termodynamika lasera	491
16.34.	Gaz fotonowy i fononowy	497
16.35.	Kondensacja Bosego. Funkcja gęstości stanów	497
16.36.	Ciekły hel	502
16.37.	Gaz elektronów swobodnych	503
16.38.	Emisja termoelektronowa – równanie Richardsona	505
16.39.	Potencjał kontaktowy	509
16.40.	Termodynamika ośrodków dielektrycznych i magnetycznych	511
16.41.	Zjawisko magnetokaloryczne w substancjach paramagnetycznych	526
17.	Wymiana ciepła w procesie promieniowania	530
17.1.	Analiza promieniowania	530
17.1.1.	Bilans zasobu energii promieniowania	530
17.1.2.	Strumień emisji energii promieniowania	532
17.1.3.	Wektor gęstości strumienia emisji energii promieniowania	532
17.1.4.	Funkcja rozkładu widmowego wektora gęstości strumienia emisji energii promieniowania	532
17.1.5.	Wektor gęstości strumienia ukierunkowanej emisji energii promieniowania (intensywność lub światłość promieniowania)	533
17.1.6.	Funkcja rozkładu widmowego wektora gęstości strumienia ukierunkowanej emisji energii promieniowania (monochromatyczna intensywność lub monochromatyczna światłość promieniowania)	534
17.2.	Synteza promieniowania	534
17.3.	Emisyjność. Prawo Lamberta	536
17.4.	Bilans zasobu energii promieniowania monochromatycznego dla ciał nieprzezroczystych. Prawo Kirchhoffa	543
17.5.	Wymiana ciepła pomiędzy promieniującymi powierzchniami	546
17.6.	Promieniowanie substancji częściowo przezroczystych	551
17.6.1.	Bilans strumienia emisji energii promieniowania dla ośrodka częściowo przezroczystego	551
17.6.2.	Strumienie emisji oraz wymiany energii promieniowania	554

18. Wymiana ciepła w procesie przewodzenia	556
18.1. Równanie Fouriera-Kirchhoffa	556
18.2. Równanie przewodnictwa cieplnego	559
18.3. Warunki brzegowe dla wymiany ciepła z otoczeniem	563
18.4. Ciepło akumulacji i temperatura średnia	566
19. Wymiana ciepła przez unoszenie	575
19.1. Prawo Newtona przyjmowania ciepła	575
19.2. Konwekcja wymuszona	577
19.3. Konwekcja swobodna	581
20. Złożona wymiana ciepła	585
21. Termodynamika stanów nierównowagowych	589
21.1. Referencjalny bilans objętościowej gęstości zasobu entropii	589
21.2. Klasyczne i lokalne ujęcie drugiej zasady termodynamiki	592
21.3. Źródło entropii	595
21.4. Termodynamika procesów nieodwracalnych	598
21.5. Liniowe równania fenomenologiczne	600
21.6. Efekty krzyżowe i zasada Curie	601
21.7. Źródło entropii jako kwadratowa funkcja bodźców termodynamicznych	601
21.8. Stany stacjonarne według Prigogine'a	604
21.9. Teoria fluktuacji	606
21.10. Zasada mikroskopowej odwracalności	610
21.11. Czwarta zasada termodynamiki Onsagera i założenia dotyczące prawa zaniku fluktuacji	612
21.12. Liniowa nieosobliwa transformacja przepływów i bodźców termodynamicznych	613
21.13. Ewolucja produkcji źródła entropii w czasie	617
21.14. Równoważność definicji stanów stacjonarnych według Prigogine'a i fenomenologicznej	619
21.15. Trwałość stanów stacjonarnych	620
21.16. Wyznaczanie źródła entropii	622
Dodatek A. Rozkład Boltzmanna	624
Dodatek B. Operatory momentu pędu we współrzędnych sferycznych	630
Stałe fizyczne	635
Alfabet grecki	636
Wielokrotności i podwielokrotności jednostek miar	636
Bibliografia	637