

Spis treści

Przedmowa do wydania I	10
Przedmowa do wydania II	11
Przedmowa do wydania III	12
Wykaz ważniejszych oznaczeń	13
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)	24
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	29
1.12. Różniczka i pochodna referencjalna wielkości polowej	31
1.13. Pochodna substancjalna i komponentalna skalarnych i wektorowych wielkości polowych	34
1.14. Kryteria istnienia pól stacjonarnych i jednorodnych	35
1.15. Zastosowanie jakobianów w termodynamice	36
1.15.1. Analiza właściwości jakobianów	37
1.15.2. Tożsamości termodynamiczne	40
1.16. Określenie rzędu elementarnych przyrostów zasobu objętości i zasobu masy w układzie	43
2. Zerowa zasada termodynamiki	47
2.1. Parametry stanu i funkcje stanu	47
2.2. Układ, faza układu, równowaga i odwracalność termodynamiczna	47
2.3. Procesy kwazistatyczne w termodynamice	49
2.4. Osłona, adiabatyczna i diatermiczna	49
2.5. Temperatura układu	50
2.6. Ciśnienie w układzie	50
2.7. Sformułowanie zerowej zasady termodynamiki	53

3. Gazy doskonałe, półdoskonałe i rzeczywiste	55
3.1. Model gazu doskonałego	55
3.2. Termiczne współczynniki rozszerzalności i prężności oraz izotermiczny współczynnik ściśliwości	55
3.3. Prawo izobary Gay-Lussaca	56
3.4. Prawo izochory Charlesa	58
3.5. Prawo izotermy Boyle'a-Mariotte'a	59
3.6. Równanie stanu gazu doskonałego Clapeyrona. Indywidualna stała gazowa	60
3.7. Prawo Avogadra. Liczba Avogadra	62
3.8. Molowa gęstość zasobu objętości. Uniwersalna stała gazowa	62
3.9. Pojemność cieplna substancji	64
3.10. Gazy półdoskonałe	65
3.11. Gazy rzeczywiste	65
3.12. Prawo stanów odpowiadających sobie	68
3.13. Skala temperatury termometru gazowego	70
3.14. Równanie stanu gazu rzeczywistego van der Waalsa	71
3.15. Równanie stanu gazu rzeczywistego Berthelota	76
3.16. Równanie stanu gazu rzeczywistego Dietericiego	77
4. Termodynamika fazy gazowej wieloskładnikowej	79
4.1. Objętościowa gęstość zasobu ilości moli mieszaniny	79
4.2. Objętościowa gęstość zasobu ilości moli składnika mieszaniny	80
4.3. Koncentracja składnika mieszaniny	81
4.4. Molowa koncentracja składnika mieszaniny	81
4.5. Prawo Daltona	81
4.6. Ciśnienie składnika mieszaniny	82
4.7. Ułamek molowy składnika mieszaniny	83
4.8. Udział masowy składnika mieszaniny	84
4.9. Parcjalna gęstość zasobu objętości	85
4.10. Masowa gęstość zasobu objętości składnika mieszaniny	88
4.11. Udział objętościowy składnika mieszaniny	89
4.12. Gęstość strumienia dyfuzji	90
4.13. Równanie ciągłości dyfuzji	92
5. Pierwsza zasada termodynamiki	95
5.1. Klasyfikacja transportu energii	95
5.2. Ciepło	96
5.3. Praca	96
5.3.1. Równanie Pfaffa	97
5.3.2. Praca bezwzględna objętościowa	99
5.3.3. Praca uogólniona	101
5.3.4. Praca uogólniona zewnętrzna	102
5.3.5. Praca uogólniona wewnętrzna	103
5.3.6. Praca tarcia	103
5.3.7. Praca elementarna	104
5.3.8. Praca techniczna	104
5.3.9. Masowe gęstości ilości pracy elementarnej, bezwzględnej objętościowej, uogólnionej i technicznej	105
5.3.10. Mechaniczny równoważnik ciepła i cieplny równoważnik pracy	107
5.4. Energia wewnętrzna	109
5.5. Aksjomat bilansowy dla wielkości ekstensywnych (WE)	110

5.6.	Bilans podstawowy dla wielkości ekstensywnych (WE)	111
5.7.	Substancjalny bilans zasobu energii wewnętrznej (EW) dla wielkości ekstensywnych (WE)	112
5.8.	Sformułowanie pierwszej zasady termodynamiki dla wielkości ekstensywnych (WE)	117
5.9.	Bilans energii wewnętrznej (EW) w punkcie substancjalnym	119
5.10.	Sformułowanie równania pierwszej zasady termodynamiki dla wielkości intensywnych (WI)	128
5.11.	Funkcje termodynamiczne entalpii oraz entalpii uogólnionej	129
5.12.	Uogólniony bilans zasobu energii wewnętrznej dla układu otwartego	131
5.13.	Sformułowanie równania pierwszej zasady termodynamiki dla układu otwartego	134
6.	Druga zasada termodynamiki i jej konsekwencje	135
6.1.	Przemiany nierównowagowe	135
6.2.	Entropia. Sformułowanie drugiej zasady termodynamiki	136
6.3.	Statystyczna interpretacja entropii	139
6.4.	Uogólnione ciepło właściwe substancji	144
6.5.	Równanie Gibbsa	147
6.6.	Funkcja jednorodna. Tożsamość Eulera	149
6.7.	Funkcja termodynamiczna entalpii swobodnej oraz uogólnionej entalpii swobodnej	150
6.8.	Funkcja termodynamiczna energii swobodnej	153
6.9.	Termodynamiczne kryteria równowagi	154
6.10.	Uogólniony izobaryczno-izotermiczny potencjał termodynamiczny	158
6.11.	Warunki równowagi w układzie izolowanym	162
6.12.	Potencjał chemiczny. Potencjał elektrochemiczny	165
6.13.	Równanie Gibbsa-Duhema	169
6.14.	Uogólnione termodynamiczne równania Maxwella	170
6.15.	Różnica między ciepłami właściwymi przy stałej sile i przy stałej współrzędnej uogólnionej. Równanie Meyera	173
6.16.	Równania ciepła z uwzględnieniem drugiej zasady termodynamiki	175
6.17.	Prawo Joule'a	176
6.18.	Energia wewnętrzna układu substancjalnego oddziałującego z otoczeniem w przemianie izochorycznej	180
7.	Podstawowe funkcje termodynamiczne gazów doskonałych i półdoskonałych ...	181
7.1.	Energia wewnętrzna gazu doskonałego i półdoskonałego	181
7.2.	Entalpia gazu doskonałego i półdoskonałego	182
7.3.	Entropia gazu doskonałego i półdoskonałego	183
8.	Przemiany termodynamiczne	186
8.1.	Przemiana izochoryczna	186
8.2.	Przemiana izobaryczna	188
8.3.	Przemiana izotermiczna	190
8.4.	Przemiana izentropowa (adiabata odwracalna)	192
8.5.	Przemiana politropowa	194
8.6.	Przemiany gazu doskonałego w układach otwartych	198
8.6.1.	Napełnianie zbiornika	198
8.6.2.	Opróżnianie zbiornika	201
8.6.3.	Ogrzewanie gazu w zbiorniku otwartym	202

9. Analiza funkcji termodynamicznych gazów rzeczywistych	205
9.1. Ciepło właściwe gazu rzeczywistego przy stałej objętości	205
9.2. Ciepło właściwe gazu rzeczywistego przy stałym ciśnieniu	206
9.3. Funkcja termodynamiczna energii wewnętrznej gazów rzeczywistych	208
9.4. Funkcja termodynamiczna entalpii gazów rzeczywistych	209
9.5. Funkcja termodynamiczna entropii gazów rzeczywistych	211
9.6. Zjawisko Joule'a-Gay-Lussaca	212
9.7. Zjawisko Joule'a-Thomsona	214
9.8. Efekt zjawiska Joule'a-Thomsona	216
9.9. Ciepło neutralizacji całkowitego efektu zjawiska Joule'a-Thomsona	221
9.10. Skraplanie gazów	224
10. Para	229
10.1. Proces izobarycznego parowania	229
10.2. Ciepło przemiany fazowej parowania	232
10.3. Ciepło przemiany fazowej sublimacji	234
10.4. Równanie Clausiusa-Clapeyrona	235
10.5. Stopień suchości pary mokrej	236
11. Gazy wilgotne. Powstawanie gazu wilgotnego	238
12. Obiegi termodynamiczne	242
12.1. Model doskonałej tłokowej maszyny przepływowej	244
12.2. Praca indykatorowa i wykresowa	245
12.3. Praca wewnętrzna (internijna)	246
12.4. Praca efektywna	246
12.5. Lokalne równanie zasobu entalpii dla urządzeń przepływowych	247
12.6. Praca odwracalnego obiegu prawo- i lewobieżnego	251
12.7. Praca nieodwracalnego obiegu prawo- i lewobieżnego	252
12.8. Bilanse zasobu entalpii dla nieodwracalnych obiegów prawo- i lewobieżnych o ustalonych strumieniach przepływu czynnika	253
12.9. Sprawność termiczna obiegu prawobieżnego	257
12.10. Sprawność termiczna obiegu lewobieżnego	257
12.11. Odwracalny obieg Carnota	259
12.12. Teoremat Carnota	260
12.13. Termodynamiczna skala temperatury Kelvina	262
12.14. Obieg porównawczy Otta	264
12.15. Obieg porównawczy Diesla	265
12.16. Obieg porównawczy Sabathégo	267
12.17. Obieg porównawczy Joule'a	268
12.18. Sprawności i moce silników spalinowych	271
12.19. Sprężarki tłokowe	273
13. Przemiany fazowe	279
13.1. Reguła faz Gibbsa	282
13.2. Przemiany fazowe pierwszego i drugiego rodzaju	282
13.3. Termodynamika przemian fazowych	286
14. Trzecia zasada termodynamiki	289
14.1. Równanie Gibbsa-Helmholtza	289
14.2. Całka równania Gibbsa-Helmholtza	291
14.3. Teoremat Nernsta	292

14.4. Sformułowanie trzeciej zasady termodynamiki	294
14.5. Konsekwencje trzeciej zasady termodynamiki	295
15. Kinetyczna teoria gazów	296
15.1. Kinetyczna teoria ciśnienia gazu	297
15.2. Porównanie praw gazu doskonałego z wynikami kinetycznej teorii gazów	306
15.3. Ekwipartycja energii	310
15.4. Rozkład prędkości Maxwella	312
15.4.1. Przestrzeń prędkości	312
15.4.2. Zderzenia sprężyste cząsteczek	316
15.4.3. Obliczenie stałych \mathbf{B} i β funkcji objętościowej gęstości zasobu ilości cząsteczek gazu o zasobie energii E	318
15.4.4. Rozkład zasobu ilości cząsteczek w funkcji modułów ich prędkości	322
15.5. Prędkość średnia i prędkość średniej kwadratów prędkości	326
15.6. Prędkość najbardziej prawdopodobna	327
15.7. Średnia droga swobodna	328
15.8. Prawdopodobieństwo przebycia drogi swobodnej przez cząsteczkę	331
15.9. Częstość zderzeń cząsteczek	332
15.10. Gęstość strumienia wymiany ilości cząsteczek gazu	333
15.11. Efuzja molekularna	335
15.12. Gęstość strumienia wymiany ilości cząsteczek pary	337
15.13. Współczynniki w zjawiskach transportu	338
16. Kinetyczna teoria promieniowania	346
16.1. Pudło izotermiczne	346
16.2. Zasób ilości oscylatorów promieniowania w pudle izotermicznym	346
16.3. Objętościowa gęstość zasobu ilości oscylatorów promieniowania	348
16.4. Funkcja rozkładu widmowego objętościowej gęstości zasobu ilości oscylatorów promieniowania	350
16.5. Funkcja rozkładu widmowego objętościowej gęstości zasobu energii promieniowania w ujęciu klasycznym	351
16.6. Funkcja rozkładu widmowego objętościowej gęstości zasobu energii promieniowania według Wiena	353
16.7. Średni zasób energii promieniowania oscylatora w przedziale całego pola dozwolonych poziomów energetycznych (kwantowa hipoteza Plancka)	354
16.8. Funkcja rozkładu widmowego objętościowej gęstości zasobu energii promieniowania w ujęciu Plancka	358
16.9. Objętościowa gęstość zasobu energii promieniowania w ujęciu Plancka	360
16.10. Funkcja rozkładu widmowego wektora gęstości strumienia wymiany energii promieniowania	361
16.11. Wektor gęstości strumienia wymiany energii promieniowania. Prawo promieniowania Stefana-Boltzmannna	363
16.12. Prawo przesunięć Wiena	363
16.13. Ciśnienie promieniowania	364
16.14. Określenie objętościowej gęstości zasobu energii promieniowania przy wykorzystaniu pierwszej i drugiej zasady termodynamiki	366
16.15. Adiabatyczne rozprężanie promieniowania	368
16.16. Teoria Debye'a ciepła właściwego ciał stałych	369
16.17. Elektronowe ciepło właściwe	371
16.18. Inwersja obsadzeń	372
16.19. Mechanika atomów i cząstek	377

16.20.	Równanie falowe Schrödingera we współrzędnych prostokątnych	383
16.21.	Wartości oczekiwane	393
16.22.	Równanie falowe Schrödingera we współrzędnych sferycznych	397
16.23.	Orbitalny moment pędu	403
16.24.	Studnia potencjału o skończonej głębokości	410
16.25.	Zjawisko tunelowe	415
16.26.	Kwantowy oscylator harmoniczny	419
16.27.	Energia translacyjna, rotacyjna i oscylacyjna cząsteczki	424
16.28.	Energia zbioru cząsteczek w ujęciu molekularnym	433
16.29.	Nierozróżnialność i statystyka kwantowa	446
16.30.	Rozkłady statystyczne	453
16.30.1.	Rozkład mikrokanoniczny	454
16.30.2.	Rozkład kanoniczny	455
16.30.3.	Wielki rozkład kanoniczny	460
16.30.4.	Zespół statystyczny	464
16.30.5.	Hipoteza ergodyczna Boltzmanna	465
16.31.	Statystyki kwantowe Fermiego-Diraca oraz Bosego-Einsteina	467
16.32.	Zastosowanie rozkładu Boltzmanna do przybliżenia rozkładów kwantowych	472
16.33.	Termodynamika lasera	474
16.34.	Gaz fotonowy i fononowy	480
16.35.	Kondensacja Bosego. Funkcja gęstości stanów	480
16.36.	Ciekły hel	485
16.37.	Gaz elektronów swobodnych	486
16.38.	Emisja termoelektronowa – równanie Richardсона	488
16.39.	Potencjał kontaktowy	492
17.	Wymiana ciepła w procesie promieniowania	495
17.1.	Analiza promieniowania	495
17.1.1.	Bilans zasobu energii promieniowania	495
17.1.2.	Strumień emisji energii promieniowania	497
17.1.3.	Wektor gęstości strumienia emisji energii promieniowania	497
17.1.4.	Funkcja rozkładu widmowego wektora gęstości strumienia emisji energii promieniowania	497
17.1.5.	Wektor gęstości strumienia ukierunkowanej emisji energii promieniowania (intensywność lub światłość promieniowania)	498
17.1.6.	Funkcja rozkładu widmowego wektora gęstości strumienia ukierunkowanej emisji energii promieniowania (monochromatyczna intensywność lub monochromatyczna światłość promieniowania)	499
17.2.	Synteza promieniowania	484
17.3.	Emisyjność. Prawo Lamberta	501
17.4.	Bilans zasobu energii promieniowania monochromatycznego dla ciał nieprzezroczystych. Prawo Kirchhoffa	508
17.5.	Wymiana ciepła pomiędzy promieniującymi powierzchniami	511
17.6.	Promieniowanie substancji częściowo przezroczystych	516
17.6.1.	Bilans strumienia emisji energii promieniowania dla ośrodka częściowo przezroczystego	516
17.6.2.	Strumienie emisji oraz wymiany energii promieniowania	519
18.	Wymiana ciepła w procesie przewodzenia	521
18.1.	Równanie Fouriera-Kirchhoffa	521
18.2.	Równanie przewodnictwa cieplnego	524

18.3. Warunki brzegowe dla wymiany ciepła z otoczeniem	528
18.4. Ciepło akumulacji i temperatura średnia	531
19. Wymiana ciepła przez unoszenie	540
19.1. Prawo Newtona przejmowania ciepła	540
19.2. Konwekcja wymuszona	542
19.3. Konwekcja swobodna	546
20. Złożona wymiana ciepła	550
21. Termodynamika stanów nierównowagowych	554
21.1. Referencyjny bilans objętościowej gęstości zasobu entropii	554
21.2. Klasyczne i lokalne ujęcie drugiej zasady termodynamiki	557
21.3. Źródło entropii	560
21.4. Termodynamika procesów nieodwracalnych	563
21.5. Liniowe równania fenomenologiczne	565
21.6. Efekty krzyżowe i zasada Curie	566
21.7. Źródło entropii jako kwadratowa funkcja bodźców termodynamicznych	566
21.8. Stany stacjonarne według Prigogine’a	569
21.9. Teoria fluktuacji	571
21.10. Zasada mikroskopowej odwracalności	575
21.11. Czwarta zasada termodynamiki Onsagera i założenia dotyczące prawa zaniku fluktuacji	576
21.12. Liniowa nieosobliwa transformacja przepływów i bodźców termodynamicznych	578
21.13. Ewolucja produkcji źródła entropii w czasie	581
21.14. Równoważność definicji stanów stacjonarnych według Prigogine’a i fenomenologicznej	583
21.15. Trwałość stanów stacjonarnych	585
21.16. Wyznaczanie źródła entropii	587
Dodatek A. Rozkład Boltzmanna	589
Dodatek B. Operatory momentu pędu we współrzędnych sferycznych	595
Stałe fizyczne	600
Alfabet grecki	601
Wielokrotności i podwielokrotności jednostek miar	601
Bibliografia	602
Skorowidz	603