

SPIS TREŚCI

Przedmowa	11
Wykaz symboli i oznaczeń	14
Skróty i akronimy	19
1. Wprowadzenie	21
1.1. Podstawowe pojęcia i wielkości	22
1.2. Wielkości ekstensywne i intensywne	28
1.3. Stany odniesienia	38
2. Zasady i równania termodynamiczne	41
2.1. Zasady termodynamiki	44
2.1.1. Zerowa zasada termodynamiki	44
2.1.2. Pierwsza zasada termodynamiki	44
2.1.3. Druga i trzecia zasada termodynamiki	52
2.2. Konsekwencje zasad termodynamiki	56
2.3. Zależności termodynamiczne	62
2.4. Stabilność termodynamiczna	71
2.5. Powinowactwo chemiczne	74
2.6. Elementy procesów nieodwracalnych	76
2.6.1. Pojęcia w termodynamice nieodwracalnej	76
2.6.2. Równania fenomenologiczne	81
Literatura cytowana	82
Literatura uzupełniająca	83
3. Obszary P - v - T dla substancji czystej	84
3.1. Diagram fazowy	85
3.2. Równowagi fazowe	95
3.2.1. Równania empiryczne przemiany fazowej	100
3.2.2. Przejścia fazowe pierwszego i drugiego rodzaju	104
3.3. Para wodna	106
3.3.1. Właściwości pary wodnej	107
3.3.2. Wilgotność gazu	110
3.4. Obszar krytyczny	114
3.5. Faza ciekła	117
Literatura cytowana	122

4. Gaz doskonały	124
4.1. Substancja czysta	125
4.2. Mieszanka gazów doskonałych	136
Literatura cytowana	144
5. Przemiany termodynamiczne	145
5.1. Przemiany charakterystyczne gazu doskonałego	145
5.1.1. Przemiana izotermiczna	147
5.1.2. Przemiana izobaryczna	149
5.1.3. Przemiana izochoryczna	150
5.1.4. Przemiana adiabatyczna	151
5.1.5. Przemiana politropowa	155
5.2. Przemiany gazu w układach otwartych	160
5.3. Przemiany z włączeniem obszaru dwufazowego	162
6. Obiegi termodynamiczne	167
6.1. Definicje wprowadzające	167
6.2. Obieg Carnota	170
6.3. Silniki spalinowe	172
6.3.1. Obieg Otto	174
6.3.2. Obieg Diesla	175
6.3.3. Obieg Sabathē	177
6.4. Turbiny	179
6.4.1. Turbina gazowa	179
6.4.2. Turbina parowa	183
6.5. Obiegi lewobieżne	188
6.5.1. Chłodziarka sprężarkowa gazowa	188
6.5.2. Chłodziarka sprężarkowa parowa	191
6.5.3. Pompy ciepła	193
6.6. Sprężarki	194
Literatura uzupełniająca	198
7. Gaz rzeczywisty	199
7.1. Podstawowe wielkości	200
7.2. Zjawiska dławienia gazu	212
7.3. Skraplanie gazu	221
7.3.1. Skraplanie gazu z wykorzystaniem efektu Joule’a-Thomsona	221
7.3.2. Skraplanie gazów trwałych	222
7.4. Współczynnik ściśliwości	226
7.5. Zasada stanów odpowiadających sobie (z.s.o.s.)	234
Literatura cytowana	238
Literatura uzupełniająca	238
8. Termodynamika molekularna	239
8.1. Wprowadzenie do termodynamiki statystycznej	239
8.1.1. Zespoły kanoniczne	244
8.1.2. Faza gazowa	250
8.2. Oddziaływania międzycząsteczkowe	254
8.2.1. Funkcje potencjalne	258
8.2.2. Interpretacja współczynników wirialnych	264
Literatura cytowana	269
Literatura uzupełniająca	269

9. Termiczne równania stanu	270
9.1. Równania wirialne	272
9.1.1. Wirialne równanie stanu	272
9.1.2. Współczynniki wirialne	276
9.1.3. Mieszanie	281
9.1.4. Wybrane zależności termodynamiczne	283
9.2. Równania stanu typu wirialnego	285
9.3. Równania stanu na bazie molekularnej	289
9.3.1. Równania perturbacyjne	290
9.3.2. Równania asocjacyjne	291
9.4. Specyficzne równania stanu	292
9.4.1. Równania referencyjne	292
9.4.2. Nietypowe równania stanu	293
9.5. Równania stanu w obszarze krytycznym	294
Literatura cytowana	296
10. Równania kubiczne i reguły mieszania	301
10.1. Równania dwuparametrowe	308
10.2. Równanie van der Waalsa	311
10.3. Równania trój- i wyżej parametrowe	315
10.4. Reguły mieszania	320
10.4.1. Klasyczne reguły mieszania	320
10.4.2. Reguły mieszania oparte na nadmiarowej entalpii swobodnej	325
Literatura cytowana	328
Literatura uzupełniająca	333
11. Mieszanie rzeczywiste gazów i cieczy	334
11.1. Wielkości cząstkowe molowe	337
11.2. Funkcja mieszania	347
11.3. Molowa funkcja nadmiarowa	350
11.4. Mieszanie gazowe	353
11.5. Roztwory ciekłe idealne	359
11.6. Roztwory ciekłe rzeczywiste	364
11.6.1. Aktywność ułamkowa	366
11.6.2. Wyznaczanie współczynnika aktywności ułamkowej	371
11.7. Parametry pseudokrytyczne	376
Literatura cytowana	378
Literatura uzupełniająca	378
12. Wielkości kaloryczne i termochemia	380
12.1. Kaloryczne równania stanu	381
12.1.1. Energia wewnętrzna i entalpia	382
12.1.2. Wyznaczanie entropii	384
12.1.3. Entropia i funkcje z nią związane	385
12.2. Entalpia przemian fizycznych	388
12.3. Termochemia	394
12.4. Spalanie	401
12.5. Bilans energii układu otwartego	408
12.6. Egzergia	410
Literatura cytowana	412
Literatura uzupełniająca	413

13. Równowagi fazowe mieszanin	414
13.1. Równowagi fazowe	414
13.2. Równowaga fazowa ciecz + para	416
13.2.1. Układ dwuskładnikowy	418
13.2.2. Mieszanki wieloskładnikowe	427
13.3. Równowagi wielofazowe	429
13.4. Wybrane przypadki równowagi fazowej	435
13.4.1. Równowaga absorpcyjna	435
13.4.2. Rozpuszczalność gazu w gazie	437
13.4.3. Równowaga fazowa ciecz + ciecz	438
Literatura cytowana	441
Literatura uzupełniająca	441
14. Hydraty gazów	443
14.1. Właściwości i struktura sieci krystalicznej	443
14.2. Stany równowagi hydratów	447
14.3. Diagramy fazowe gazohidratów	451
Literatura cytowana	454
Literatura uzupełniająca	455
15. Zjawiska powierzchniowe	456
15.1. Napięcie powierzchniowe	456
15.2. Adsorpcja gazów	459
Literatura cytowana	465
Literatura uzupełniająca	466
16. Statyka chemiczna i ogniwa paliwowe	467
16.1. Równowaga reakcji chemicznych	467
16.2. Stałe równowagi reakcji chemicznych	472
16.3. Równowaga chemiczna z równowagą fazową	478
16.4. Reakcje chemiczne i termodynamika ogniw paliwowych	478
Literatura cytowana	486
Literatura uzupełniająca	486
17. Termodynamika doświadczalna	487
17.1. Definicje i pomiar parametrów stanu	488
17.2. Temperatura i jej pomiar	494
17.2.1. Skale temperatury	494
17.2.2. Gazowa i termodynamiczna skala temperatury	496
17.2.3. Międzynarodowa skala temperatury	500
17.2.4. Pomiar temperatury	502
17.3. Badania laboratoryjne	504
17.3.1. Wyznaczanie współczynników równań stanu	504
17.3.2. Badanie równowag fazowych	508
17.3.3. Badania kalorymetryczne i termochemiczne	510
17.3.4. Badania innych zjawisk	511
17.3.5. Elementy aparatur doświadczalnych	512
Literatura cytowana	515
Literatura uzupełniająca	517

18. Obliczanie wielkości termodynamicznych	518
18.1. Korelacje zasady stanów odpowiadających sobie	518
18.1.1. Współczynnik ściśliwości	518
18.1.2. Współczynniki wirialne	525
18.1.3. Empiryczne równania stanu	529
18.2. Równowaga fazowa	530
18.2.1. Równania i algorytmy obliczeniowe	530
18.2.2. Wykorzystanie kubicznych równań stanu	541
18.3. Metody obliczeń procesu chemicznego	542
Literatura cytowana	545
Literatura uzupełniająca	547
19. Wyprowadzenie zależności termodynamicznych	548
19.1. Relacje pomiędzy wielkościami i parametrami stanu	548
19.2. Definicje wielkości termodynamicznych	555
19.3. Gaz doskonały i przemiany charakterystyczne	570
19.4. Gaz rzeczywisty	577
19.5. Aktywność ciśnieniowa	582
20. Funkcje resztkowe i funkcje odstępstw	589
20.1. Zależności wprowadzające	589
20.2. Współczynnik ściśliwości	593
20.3. Wirialne równanie stanu	596
20.4. Kubiczne równania stanu	597
Uzupełnienia (Uz)	599
Uz. 1. Podstawowe wielkości i jednostki	599
Uz. 2. Tablice danych	603
Uz. 3. Lokalne przyspieszenie ziemskie	606
Literatura cytowana	607
Literatura uzupełniająca	607
Wykaz tablic	608
Wykaz rysunków	610
Skorowidz rzeczowy	613
Biografia zawodowa autora	624