

Obsah

Předmluva	11
1 Výchozí představy termodynamiky	13
1.1 Předmět zkoumání termodynamiky	13
1.1.1 Celkový rámec	13
1.1.2 Teplo, teplota, entropie	14
1.1.3 Vymezení termodynamiky	16
1.2 Základní pojmy termodynamiky; terminologie	18
1.2.1 Termodynamická soustava a její stav	18
1.2.2 Pojmy známé z mechaniky	21
1.2.3 Látka; množství látky; mol	22
1.2.4 Částice	26
1.2.5 Stěna	28
1.2.6 Stav soustavy; termodynamický děj	28
1.2.7 Typy stavových veličin	30
2 Nultý zákon termodynamiky; empirická teplota	35
2.1 Rovnovážný stav	35
2.2 První postulát termodynamiky	36
2.2.1 Relaxace	37
2.3 Druhý postulát (nultý zákon termodynamiky)	38
2.3.1 Teplota; empirická teplota	38
2.3.2 Druhý postulát – nultý zákon termodynamiky	40
2.3.3 Rovnováha dvou soustav	41
2.3.4 Praktické měření teploty	42
3 První zákon termodynamiky; teplo	49
3.1 Základní idea	49
3.2 Práce	50
3.2.1 Práce v mechanice	50
3.2.2 Práce u soustavy tvořené plynem	51
3.2.3 Práce při zobecněných souřadnicích a silách	53
3.3 Teplo	55
3.3.1 Energie	55
3.3.2 Teplo	55
3.4 Chemická práce; chemický potenciál	57
3.5 Formulace prvního zákona termodynamiky	58
3.5.1 1.ZTd s neproměnným látkovým množstvím	58
3.5.2 Plné znění prvního zákona termodynamiky	59
3.5.3 Historický význam prvního zákona termodynamiky	59
3.5.4 Fluidová teorie, fluidum „calor“	59

4	Termika. Důsledky zavedení teploty a tepla	61
4.1	Stavová rovnice	61
4.1.1	Stavová rovnice termická a kalorická	61
4.1.2	Ideální plyn	63
4.1.3	Van der Waalsův plyn	67
4.1.4	Jiné modely	75
4.2	Některé materiálové veličiny	82
4.2.1	Tepelná kapacita	82
4.2.2	Měrná tepelná kapacita (měrné teplo)	84
4.2.3	Latentní teplo (skupenské, výparné, ... teplo)	84
4.2.4	Teplotní roztažnost	85
4.2.5	Teplotní rozpínavost	86
4.2.6	Stlačitelnost	87
4.2.7	Přenos tepla	87
4.3	Kalorimetrie	90
4.3.1	Adiabatický kalorimetr	90
4.3.2	Kalorimetrická rovnice	91
4.3.3	Tepelně vodivostní kalorimetr	93
4.4	Jednoduchý systém	93
4.4.1	Základní idea	93
4.4.2	Izochorický děj ($V = \text{konst}$)	96
4.4.3	Izobarický děj ($p = \text{konst}$); entalpie	97
4.4.4	Izotermický děj ($T = \text{konst}$)	99
4.4.5	Adiabatický děj ($Q = 0$)	100
4.4.6	Polytropický děj ($C = \text{konst}$)	102
4.4.7	Obecné děje	103
4.4.8	Joulův-Thomsonův pokus	106
4.5	Systémy s více proměnnými	108
5	Druhý zákon termodynamiky	111
5.1	Základní idea	111
5.2	Termodynamické stroje	112
5.2.1	Cyklický stroj	112
5.2.2	Idea tepelného motoru	113
5.2.3	Idea chladničky	114
5.2.4	Idea tepelného čerpadla	115
5.2.5	Nevratné stroje	115
5.3	Druhý zákon termodynamiky	116
5.4	Carnotův cyklus	119
5.4.1	Hlavní idea	119
5.4.2	Nešlo by to jednodušeji?	120
5.4.3	„Složený Carnotův cyklus“	121
5.5	Účinnost termodynamických strojů	121
5.6	Účinnost Carnotova stroje	123

5.6.1	Účinnost vratného stroje	123
5.6.2	Účinnost nevratného stroje	124
5.7	Termodynamická teplota	125
5.8	Entropie	127
5.8.1	Clausiova rovnost a nerovnost	127
5.8.2	Zavedení entropie	127
5.8.3	Entropie mimo rámec termodynamiky	128
5.8.4	„Spojené zákony termodynamické“	129
5.8.5	Souvislost kalorické a termické stavové rovnice	130
5.8.6	Entropie konkrétních soustav	130
5.9	Termodynamické energie (potenciály)	132
5.9.1	Energie v různých proměnných; Legendrova transformace	132
5.9.2	Magický čtverec	134
5.9.3	Gibbsovy-Helmholtzovy rovnice	135
5.10	Podmínky rovnováhy	136
5.10.1	Přechod izolovaného systému k rovnováze	136
5.10.2	Entropie nerovnovážného stavu	137
5.10.3	Podmínky rovnováhy uvnitř systému	138
5.11	Entropie v termodynamice a ve statistické fyzice	139
5.12	Návod na perpetuum mobile 2. druhu	140
6	Třetí zákon termodynamiky	143
6.1	Základní idea	143
6.2	Formulace třetího zákona termodynamiky	144
6.2.1	Nedosažitelnost absolutní nuly	145
7	Otevřené systémy	147
7.1	Základní idea	147
7.1.1	Základní pojmy	147
7.1.2	Změna množství systému	149
7.2	Chemický potenciál	150
7.3	Gibbsův paradox	151
7.3.1	Entropie ideálního plynu	151
7.3.2	Chemický potenciál dokonalého plynu	155
7.4	Grandkanonický potenciál Ω	155
7.5	Zákon působících hmot (Guldbergův-Waageův zákon)	156
8	Fázové přechody	161
8.1	Základní idea	161
8.2	Fázový diagram jednosložkového systému	161
8.3	Rovnováha v heterogenním systému.	166
8.4	Gibbsovo fázové pravidlo	167
8.5	Ehrenfestova klasifikace fázových přechodů	169
8.6	Fázové přechody 1. druhu	170

8.6.1	Charakteristika	170
8.6.2	Clausiova-Clapeyronova rovnice	171
8.6.3	Přehřátí a podchlazení	172
8.7	Spojité fázové přechody	173
8.7.1	Charakteristika	173
8.7.2	Ehrenfestovy rovnice	173
8.8	Jiné fázové přechody	174
8.9	Dvojsložková soustava; destilace	175
9	Základy nerovnovážné termodynamiky	177
9.1	Idea	177
9.1.1	Základní představa	177
9.1.2	Nové prvky v přístupu	178
9.1.3	Podrobnosti	179
9.2	Nové pojmy	179
9.2.1	Zobecněná síla	179
9.2.2	Tok, hustota toku	180
9.2.3	Vztah mezi zobecněnými silami a toky	180
9.3	Základní vztahy	181
9.3.1	Popis	181
9.3.2	Změny vnitřní a vnější	181
9.3.3	Rovnice kontinuity	183
9.3.4	Hustoty veličin	183
9.3.5	Produkce entropie	183
9.4	Lineární systémy bez paměti	184
9.5	Příklad: termoelektrické jevy	185
9.5.1	Kinetické rovnice, produkce entropie	185
9.5.2	Tepelná a elektrická vodivost	186
9.5.3	Seebeckův jev	187
9.6	Dodatek: Onsagerovy relace	189
10	Molekulová fyzika	191
10.1	Základní představy	191
10.1.1	Molekulová fyzika versus statistická fyzika	191
10.1.2	Mikroskopické složení látky	192
10.2	Trojí skupenství látky	193
10.2.1	Model pevné látky	193
10.2.2	Model kapaliny	193
10.2.3	Model plynu	193
10.3	Molekulárně kinetická teorie plynu	194
10.3.1	Konkrétní makroskopické veličiny	195
10.3.2	Brownův pohyb	207
10.3.3	↔Problémy modelu ideálního plynu	209

11	Základy statistické fyziky	211
11.1	Vztah termodynamiky a statistické fyziky	211
11.1.1	Termodynamika – shrnutí	211
11.1.2	Statistická fyzika – shrnutí	212
11.1.3	Klasický popis	213
11.1.4	Semiklasický popis	213
11.1.5	Kvantový popis	214
11.2	Základní potřebné pojmy z klasické fyziky	215
11.2.1	Označení	215
11.2.2	Liouvilleův teorém; invariance fázového objemu	218
11.3	Rozdělovací funkce; ergodická hypotéza	219
11.3.1	Rozdělovací funkce	219
11.3.2	Středování	220
11.3.3	Ergodická hypotéza	221
11.4	Základní pojmy z kvantové mechaniky	221
11.5	Přehled důležitých typů souborů	223
11.6	Mikrokanonický soubor	224
11.7	Kanonický soubor	225
11.7.1	Fyzikální odvození z modelu	225
11.7.2	Přehled užitých statistických veličin	226
11.7.3	Vztahy mezi termodynamickými a statistickými veličinami	227
11.7.4	Odvození výrazů pro teplo, teplotu a entropii	229
11.8	Grandkanonický soubor	230
11.9	Ideální plyn (M-B, B-E, F-D)	232
11.9.1	Označení	232
11.9.2	Kanonické rozdělení	235
11.9.3	Grandkanonické rozdělení	235
11.9.4	Kombinatorické odvození	237
11.9.5	Porovnání klasického a kvantového plynu	242
12	Aplikace statistické fyziky (RNDr. Z. Koupilová, Ph.D.)	243
12.1	Neideální plyn – odvození stavové rovnice	243
12.2	Fotonový plyn	246
12.3	Degenerovaný plyn	249
12.4	Tepelná kapacita krystalu	252
12.4.1	Einsteinův model	253
12.4.2	Debyeův model	254
A	Potřebná matematika	257
A.1	Primitivní funkce $\int \frac{dx}{x}$ aneb matematik vs. fyzik	257
A.2	Parciální derivace: znak ∂	258
A.3	Značení parciálních derivací	261
A.4	Derivace inverzní funkce	263
A.5	Derivace implicitní funkce	263

A.6	Totální diferenciál	264
A.7	Pfaffova forma	266
A.8	Geometrická představa integrability Pfaffovy formy	267
A.9	Integrace totálního diferenciálu	269
A.10	Úpravy termodynamických vzorců („magický čtverec“)	273
A.10.1	Legendrova transformace v mechanice	274
A.10.2	Geometrický význam Legendrovy transformace	275
A.11	Některé statistické integrály	276
B	Fyzika a jazyk	279
B.1	Základní fyzikální pojmy podle norem	279
B.1.1	Veličina	279
B.1.2	Děj	280
B.1.3	Součinitel, činitel, koeficient, modul, číslo	280
B.2	Různé konkrétní termíny	281
B.3	Etymologie některých slov cizího původu	285
B.3.1	Etymologie obecně	285
B.3.2	Slova cizího původu, termíny a slovníček	287
C	Rejstřík osob	291
D	Aplikace; rozbor činnosti některých strojů	299
D.1	Subjektivní pocit teploty	299
D.2	Porovnávací cyklus	300
D.3	Parní stroj: nejjednodušší schéma	300
D.4	Realistický parní stroj	301
D.5	Výbušný motor (čtyřtaktní benzínový)	303
D.6	Vznětový motor (Dieselův, naftový)	305
D.7	Stroje s lázněmi konečné tepelné kapacity	306
E	Data	307
E.1	Základní fyzikální konstanty	307
E.2	Porovnání nejnovější teplotní stupnice t_{90}	307
E.3	Termomechanické tabulky	308
E.3.1	Vlastnosti některých pevných látek	308
E.3.2	Vlastnosti některých kapalin	308
E.3.3	Vlastnosti některých plynů	309
E.3.4	Hustota suchého vzduchu a vody	309
E.3.5	Teploty a měrná skupenská tepla fázových přeměn	310
E.3.6	Molární hmotnosti M a Poissonova konstanta κ plynů	310
	Literatura	311
	Rejstřík	317