

OBSAH

Předmluva	3
ÚVOD	4
ČÁST A: T E R M O D Y N A M I K A	7
I. ZÁKLADNÍ POJMY A PŘEDSTAVY TERMODYNAMIKY	8
1. Makroskopický stav termodynamického systému	8
1.1 Vnější a vnitřní parametry systému	8
1.2 Makroskopický stav systému	9
1.3 Veličiny stavové a nestavové	11
2. Termodynamická rovnováha. Nultá věta termodynamická	13
2.1 Stav termodynamické rovnováhy	13
2.2 Stavové rovnice	15
2.3 Vratné děje	16
3. Energie. První věta termodynamická	18
3.1 Práce konaná makroskopickým systémem	18
3.2 Adiabatické děje. Energie	21
3.3 První věta termodynamická. Teplo	22
3.4 Vnitřní energie, práce, teplo	24
3.5 První věta termodynamická pro otevřené systémy	25
3.6 Aditivnost energie. Standardní systémy	26
4. Entropie. Druhá věta termodynamická	28
4.1 Adiabatická nedosažitelnost	28
4.2 Entropie	29
4.3 Zákon růstu entropie	31
II. TERMODYNAMIKA ROVNOVÁŽNÝCH STAVŮ A DĚJŮ	33
1. Teplota	33
1.1 Teorém o existenci teploty	33
1.2 Uprášení definice teploty. Teplotní stupnice	35
2. Tepelná kapacita	38
2.1 Tepelné kapacity soustavy a jejich vzájemná souvislost	38
2.2 Jednoduché homogenní soustavy	39
2.3 Termostat a teploměr	40

3. Matematické vyjádření druhé věty termodynamické pro vratné děje	41
3.1 Teplo a entropie	41
3.2 Absolutní entropie. Absolutní teplota	42
3.3 Možnosti přímého experimentálního určení absolutní entropie a teploty	44
4. Základní rovnice termodynamiky a její důsledky	47
4.1 Některé matematické důsledky rovnice (II.4.1)	47
4.2 Volná energie	50
4.3 Legendreova transformace	52
5. Charakteristické funkce	54
5.1 Nejčastěji užívané určující parametry a jim příslušné charakteristické funkce	55
5.2 Termodynamické potenciály	57
5.3 Bornova mnemotechnická pomůcka	59
6. Otevřené systémy	61
6.1 Chemický potenciál	62
6.2 Chemický potenciál jako nezávisle proměnná	63
6.3 Systémy obsahující částice různých druhů	64
7. Třetí věta termodynamická	64
7.1 Nernstův princip. Absolutní normalizace entropie	65
7.2 Některé důsledky třetí věty termodynamické	67
III. ELEMENTY TERMODYNAMIKY NEROVNOVÁŽNÝCH STAVŮ A DĚJŮ	69
1. Směr průběhu nevratných procesů. Podmínky rovnováhy	69
1.1 Změna entropie při obecném nevratném ději	70
1.2 Relaxace izolovaných systémů	71
1.3 Termodynamické veličiny nerovnovážných systémů	73
1.4 Relaxace obecných soustav	74
2. Fázová rovnováha	76
2.1 Rovnováha dvoufázového jednokomponentového systému	76
2.2 Relaxace dvoufázového jednokomponentového systému	78
2.3 Fázová rovnováha	78
3. Fázové přechody	79
3.1 Fázové přechody I. druhu	79

3.2 Ukončení křivky fázové rovnováhy. Trojný bod. Kritický bod	83
4. Fázové pravidlo	85
4.1 Fázová rovnováha G -fázového K -komponentového systému	85
4.2 Gibbsovo fázové pravidlo	87
5. Metastabilní stavy. Vznik nové fáze	89

ČÁST B: STATISTICKÁ FYZIKA

I. ZÁKLADNÍ POJMY A PŘEDSTAVY STATISTICKÉ FYZIKY	92
1. Mikroskopický stav systému	92
1.1 Makrostav a mikrostav	92
1.2 Fázový prostor	92
1.3 Časové středování	93
1.4 Kvaziizolované systémy	94
2. Statistické rozdělení	95
2.1 Funkce statistického rozdělení	96
2.2 Pravděpodobnost nalezení systému v určitém makrostavu	97
2.3 Statistické středování	98
2.4 Ekvivalence statistického a časového středování	98
2.5 Mechanický a statistický popis systému	100
2.6 Fluktuační	101
3. Velikost fluktuací makroskopických veličin	102
3.1 Statistická nezávislost kvaziizolovaných systémů	102
3.2 Střední kvadratická fluktuační. Relativní fluktuační	104
3.3 Souvislost velikosti fluktuací s velikostí systému	104
4. Základní statistický předpoklad	106
5. Shrnutí nejdůležitějších výsledků	109
II. KANONICKÁ ROZDĚLENÍ	114
1. Mikrokanonické rozdělení	114
1.1 Rozdělovací funkce jako integrál pohybu	114
1.2 Mikrokanonické rozdělení	115
2. Kanonické rozdělení	117
2.1 Kvaziizolovaný systém v termostatu	117

2.2 Kanonické rozdělení	118
2.3 Makroskopické vlastnosti izolovaných a kvaziizolovaných systémů	119
3. Velké kanonické rozdělení	122
4. Termodynamická ekvivalence kanonických rozdělení	124
III. APLIKACE KANONICKÉHO ROZDĚLENÍ NA KLASICKÉ SYSTÉMY	126
1. Maxwellovo rozdělení	126
1.1 Faktorizace rozdělovací funkce	127
1.2 Základní tvar Maxwellova rozdělení	128
1.3 Maxwellovo rozdělení v kartézských a sférických souřadnicích	129
1.4 Rozdělení pravděpodobnosti pro kinetickou energii	131
2. Aplikace kanonického rozdělení na ideální plyn	132
2.1 Maxwellovo-Boltzmannovo rozdělení	133
2.2 Střední počet molekul se zadanou polohou a impulsem	135
3. Ideální plyn v různých vnějších podmínkách	135
3.1 Ideální plyn v homogenním gravitačním poli. Barometrická formule	135
3.2 Běžná plynová tělesa. Molekulární chaos	137
3.3 Fluktuace energie v ideálním plynu	138
3.4 Ideální plyn elektrických dipólů v homogenním elektrickém poli. Orientační polarizace	139
4. Kinetická metoda odvození stavové rovnice ideálního plynu	143
4.1 Impuls předaný při jednom nárazu	143
4.2 Impuls předaný molekulami pohybujícími se rychlostí $\langle \vec{v}, \vec{v} + d^3\vec{v} \rangle$	143
4.3 Impuls předaný všemi dopadajícími molekulami	144
4.4 Stavová rovnice ideálního plynu	145
4.5 Interpretace veličiny Θ	146
5. Věta o rovnoměrném rozdělení střední hodnoty energie	146
5.1 Střední kinetická energie molekuly klasického systému	149
5.2 Brownův pohyb	149
5.3 Spektrální hustota energie záření absolutně černého tělesa. Rayleighův-Jeansův zákon	150
6. Klasická teorie tepelné kapacity	151
6.1 Tepelná kapacita ideálních plynů	151
6.2 Tepelná kapacita pevných látek	152

7. Tepelná roztažnost pevných látek	154
7.1 Kvalitativní výklad jevu	154
7.2 Matematická formulace problému	155
7.3 Koeficient tepelné roztažnosti	157
IV. STATISTICKÁ INTERPRETACE TERMODYNAMIKY	159
1. Funkce statistického rozdělení a entropie	159
1.1 Termodynamická síla	160
1.2 Teplota	161
1.3 Entropie	162
2. Statistická suma a její fyzikální význam	163
3. Výpočet základních termodynamických veličin klasického ideálního plynu	165
3.1 Statistická suma jednoatomového ideálního plynu	165
3.2 Volná energie, entropie a vnitřní energie jednoatomového ideálního plynu	166
3.3 Stavová rovnice a tepelné kapacity jednoatomového ideálního plynu	167
3.4 Zobecnění výsledků na případ víceatomových ideálních plynů	167
4. Výpočet základních termodynamických veličin souboru navzájem neinteragujících harmonických oscilátorů	168
4.1 Statistická suma	169
4.2 Vnitřní energie	170
4.3 Spektrální hustota energie záření absolutně černého tělesa. Planckův zákon	172
4.4 Einsteinova teorie mřížového příspěvku k tepelné kapacitě pevné látky	173
5. Entropie a teplota	175
5.1 Entropie izolovaného systému	175
5.2 Boltzmannův princip - statistická interpretace entropie	176
5.3 Statistická interpretace teploty	178
6. Statistická interpretace základních termodynamických zákonů	179
6.1 Nultá věta termodynamická	179
6.2 První věta termodynamická	179
6.3 Druhá věta termodynamická	180
6.4 Třetí věta termodynamická	183

V. KVANTOVÉ STATISTIKY A NĚKTERÉ JEJICH APLIKACE	185
1. Obecně o statistikách	185
1.1 Kvantový ideální plyn	185
1.2 Střední počet částic se zadanou energií	187
2. Boseova-Einsteinova statistika	190, 192
3. Fermiova-Diracova statistika	190, 193
4. Boltzmannova statistika	190, 194
5. Klasická statistika jako limitní případ statistik kvantových	195
6. Aplikace Boseovy-Einsteinovy statistiky	198
6.1 Náhrada souboru harmonických oscilátorů ideálního plynů bosonů	199
6.2 Rovnovážné tepelné záření jako fotonový plyn	201
6.3 Zákony záření absolutně černého tělesa	203
6.4 Stavová rovnice rovnovážného tepelného záření	205
6.5 Krystalová mříž jako rovnovážný fononový plyn	208
6.6 Debyeův popis mřížových vibrací a jeho kvazičásticová interpretace	210
6.7 Mřížový příspěvek k tepelné kapacitě pevné látky v Debyeově aproximaci	213
6.8 Fonony a fotony	215
7. Aplikace Fermiovy-Diracovy statistiky	218
7.1 Kvantový model volných elektronů	218
7.2 Fermiova teplota jako míra degenerace elektronového plynu	221
7.3 Elektronový příspěvek k tepelné kapacitě pevných látek	222
7.4 Paramagnetismus elektronového plynu	226
7.5 Termoemise elektronů z kovu	232
7.6 Kontaktní potenciál	235
7.7 Kvalita použitého modelu	238
HISTORICKÁ POZNÁMKA	240
PŘÍLOHY	246
\mathcal{A} . Potřebné poznatky z matematiky	246
\mathcal{A} .1 Základní vlastnosti lineárních diferenciálních forem	246
\mathcal{A} .2 Vztah mezi parciálními derivacemi trojice proměnných, vázaných vztahem $f(x, y, z) = 0$	247

3.3	Některé integrály použité v textu	247
3.4	Stirlingova formule	248
B	K definici mikrostavu klasického systému	248
B.1	Nedostatky definice mikrostavu zavedené v odst. BI.1.1	249
B.2	Započtení principu neurčitosti	250
B.3	Započtení principu nerozlišitelnosti	252
B.4	Kvaziklasická aproximace	253
B.5	Obecná formulace statistických úvah	253
B.6	Sumace přes mikrostavy	255
C	Adiabatický teorém kvantové mechaniky	256
D	Počet způsobů, jimiž lze rozmístit n stejných částic do g jednočásticových stavů	258
D.1	Soubor fermionů	258
D.2	Soubor bosonů	259
D.3	Soubor klasických částic	259
LITERATURA		260