

OBSAH

Předmluva	5
Volba soustavy jednotek	16
Přehled fyzikálních veličin	22

TERMODYNAMIKA

I. TERMODYNAMIKA PLYNŮ

Základní pojmy

1. Tlak	29
2. Měrná hmotnost, měrný objem, měrná tíha	30
3. Teplota, teplotní stupnice	32
4. Teplo a teplota. Termická rovnováha	33
5. Míra množství tepla, joule, kalorie	34
6. Měrné teplo	35
7. Střední měrné teplo	36
8. Vývoj teorie tepla	38

První zákon termodynamiky

9. Termodynamické systémy	40
10. Termodynamický stav látky	41
11. Rovnovážný stav	42
12. Vratné a nevratné děje	42
13. Matematická formulace I. zákona termodynamiky	43
14. Vnitřní tepelná energie	45
15. Matematická formulace I. zákona termodynamiky pro uzavřený systém	46
16. Vnější absolutní práce	46
17. Množství tepla v látce	48
18. Teplo a energie	49
19. I. zákon termodynamiky pro otevřený systém	51
20. Technická práce	53
21. Rovnice stavu	54

Tepelná roztažnost, stlačitelnost a rozpínavost homogenních látek

22. Izobarický součinitel objemové roztažnosti	57
23. Izotermický součinitel objemové stlačitelnosti	60
24. Izochorický součinitel tlakové rozpínivosti	61

Základní zákony ideálních plynů

25.	Definice ideálních plynů	63
26.	Zákon Boyleův—Mariotteův	63
27.	Zákon Charlesův—Gay-Lussacův	64
28.	Rovnice stavu ideálních plynů	66
29.	Měrná (individuální) plynová konstanta	67
30.	Molová (univerzální) plynová konstanta	68
31.	Parciální derivace stavových veličin	71
32.	Normální kubický metr m_N^3 a m_n^3	71
33.	Měrná tepla ideálních plynů c_p a c_v	73
34.	Molové měrné teplo C_p a C_v	74
35.	Vnitřní tepelná energie ideálních plynů	75
36.	Entalpie	76
37.	Změny stavu	80
38.	Změna při konstantním objemu — izochorická	81
39.	Změna při konstantním tlaku — izobarická	82
40.	Změna při konstantní teplotě — izotermická	85
41.	Změna bez sdílení tepla s okolím — adiabatická	87
42.	Změna polytropická	94
43.	Stanovení polytropického exponentu z indikátorového diagramu	99
44.	Přehled vratných změn	100

Druhý zákon termodynamiky

45.	Kruhový proces	103
46.	Carnotův cyklus	104
47.	Druhý zákon termodynamiky	106
48.	Carnotův cyklus s libovolnou pracovní látkou	108
49.	Účinnost nevratného Carnotova cyklu	109
50.	Vratné a nevratné procesy adiabatického systému	110
51.	Skutečné termodynamické děje	111
52.	Degradace tepla, pravděpodobnost stavu a stupeň nevratnosti	112
53.	Entropie	114
54.	Formulace II. zákona termodynamiky	114
55.	Entropie látky (neizolovalného tělesa)	116
56.	Entropie pevných a kapalných látek	117
57.	Entropie ideálního plynu	119
58.	Entropický $i-s$ diagram	120
59.	Vratné změny ideálních plynů v $T-s$ diagramu	122
60.	Pracovní a tepelné plochy v $T-s$ diagramu	127
61.	Entalpie v $p-v$ a $T-s$ diagramu	127
62.	Konstrukce $T-s$ diagramu	129
63.	Srovnání tlakového a entropického diagramu	131
64.	Carnotův cyklus v $T-s$ diagramu	133
65.	Obrácený Carnotův cyklus	134
66.	Zvýšení účinnosti Carnotova cyklu normálního a obráceného	135

Druhý zákon termodynamiky a nevratné děje

67.	Typické nevratné děje	136
68.	Tření	137

69.	Sdílení tepla	137
70.	Škrčení	138
71.	Difúze plynů	140
72.	Entropie pracovní látky při nevratné změně	142
73.	Entropie izolovaného systému	143
74.	Vzrůst entropie škrčením	145
75.	Tepelná smrt vesmíru	146
76.	Absolutní termodynamická stupnice teplot	147
77.	Nernstova věta	150
78.	Absolutní hodnota entropie	152

II. MOLEKULOVÁ TEORIE TEPLA

79.	Fenomenologická a statistická termodynamika	154
80.	Molekulová teorie hmoty	155
81.	Molekulová stavba hmoty	156
82.	Brownovy pohyby	157
83.	Kinetická teorie plynů	158
84.	Základní rovnice kinetické teorie	158
85.	Střední kvadratická rychlost	163
86.	Vnitřní energie plynů. Ekvipartiční princip	163
87.	Měrné teplo plynů	166
88.	Maxwellův—Boltzmannův distribuční zákon	169
89.	Počet srážek molekul. Volná dráha molekul	171
90.	Vnitřní tření plynů	173
91.	Rozměry molekulového světa	174
92.	Statistický výklad II. zákona termodynamiky. Entropie a pravděpodobnost stavu	175
93.	Matematická pravděpodobnost	175
94.	Termodynamická pravděpodobnost	177
95.	Entropie funkcí termodynamické pravděpodobnosti	180

III. REÁLNÉ PLYNY

96.	Ideální a reálné plyny	182
97.	Ideální plyny	182
98.	Reálné plyny	183
99.	Andrewsův diagram	185
100.	Kritický bod	187
101.	Měrné teplo reálných plynů	187
102.	Stavová rovnice van der Waalsova	189
103.	Izotermy van der Waalsovy. Labilní stavy	191
104.	Zákon korespondujících stavů	192
105.	Rovnice stavu reálných plynů	195
106.	Vnitřní energie reálných plynů. Jouleův—Thomsonův pokus	197
107.	Fenomenologický výklad Jouleova—Thomsonova pokusu	198
108.	Jouleův—Thomsonův součinitel	199
109.	Molekulový kinetický výklad Jouleova—Thomsonova efektu	200
110.	Inverzní teplota, Inverzní křivka	202
111.	Inverzní a kritická teplota	204
112.	Rovnice vnitřní tepelné energie reálných plynů	205

Směsi plynů

113.	Směsi plynů	206
114.	Měrný objem a měrná hmotnost směsi	208
115.	Střední (zdánlivá) molekulová hmotnost směsi	209
116.	Stavová rovnice směsi	211
117.	Parciální tlak složek	212

IV. TERMODYNAMIKA PAR

118.	Plyny a páry	213
119.	Odpařování, var kapaliny	213
120.	Děj vypařování	214
121.	Stavy par	214
122.	Mezní křivky vodní páry	215
123.	Průběh výroby páry v $T-s$ diagramu	217
124.	Tepelné veličiny na mezní křivce $x = 0$	217
125.	Výparné teplo	221
126.	Mokrá pára	222
127.	Sytá pára	224
128.	Tepelné veličiny na mezní křivce $x = 1$	225
129.	Clapeyronova—Clausiova rovnice	227
130.	Trojný bod. Tání a sublimace	230
131.	Rovnice stavu syté páry	233
132.	Přehřátá pára	234
133.	Měrné teplo c_p přehřáté páry	237
134.	Rovnice stavu přehřáté páry	240
135.	Sestavení rovnic stavu vodní páry	241
136.	Tepelné diagramy vodní páry	243
137.	Entropický $T-s$ diagram vodní páry	244
138.	Mollierův $i-s$ diagram vodní páry	245
139.	$p-i$ diagram	247
140.	Změny stavu par	248
141.	Škrcení par	259

Směšovací procesy

142.	Směšování par	260
143.	Kontinuální míšení par	261
144.	Směšovací přímka	262
145.	Směšování za přívodu tepla	263
146.	Úprava páry vstřikováním vody	263
147.	Směšování vody se sytou párou	264
148.	Směšování vody s přehřátou párou	267

V. VLHKÝ VZDUCH

149.	Suchý vzduch	268
150.	Vlhký vzduch	269
151.	Absolutní a relativní vlhkost	270
152.	Rovnice stavu vlhkého vzduchu	270
153.	Měrná vlhkost	273
154.	Souvislost měrné vlhkosti a parciálních tlaků	273

155.	Měrný objem vlhkého vzduchu	275
156.	Měrná hmotnost vlhkého vzduchu	277
157.	Měrné teplo vlhkého vzduchu	278
158.	Entalpie vlhkého vzduchu	279
159.	Entalpie mlhového vzduchu	280
160.	Parametry vlhkého vzduchu	281
161.	Mollierův $i-x$ diagram vlhkého vzduchu	282
162.	Křivky tlaku sytých par p_p'' a křivky relativních vlhkostí φ	283
163.	Oblast mlhového vzduchu v $i-x$ diagramu	284
164.	Vliv změny tlaku vlhkého vzduchu	285
165.	Změny stavu vlhkého vzduchu	288
166.	Změny stavu při $x = \text{konst}$	289
167.	Míšení nestejných množství různě vlhkých vzdušín	291
168.	Míšení s přívodem tepla	293
169.	Míšení mlhového vzduchu se vzduchem nenasyčeným	294
170.	Vlhčení vzduchu	295
171.	Vlhčení vzduchu vodou a párou	296
172.	Adiabatické odpařování	297
173.	Určování relativní vlhkosti měřeními	298

VI. POROVNÁVACÍ CYKLY

174.	Přeměna tepla v práci	301
175.	Postup při výpočtu termické účinnosti	303

Spalovací motory

176.	Spalovací motory	304
177.	Výbušný cyklus	305
178.	Rovnotlaký cyklus	306
179.	Směšený cyklus	308

Cykly plynových turbin a proudových motorů

180.	Cyklus Ericssonův—Braytonův	310
181.	Princip Ericssonovy rovnotlaké turbíny	312
182.	Princip náporového motoru	313
183.	Princip tryskového motoru s turbokompresorem	314
184.	Princip teplovzdušného motoru	315
185.	Teplovzdušný motor s izotermickou kompresí a expanzí	315
186.	Humpreyův cyklus	317

Kompresory

187.	Princip kompresoru	318
188.	Způsoby změny stavu kompresí	319
189.	Kompresní práce	321
190.	Vliv škodného prostoru	322
191.	Práce kompresoru při uvažování škodného prostoru	324
192.	Vicestupňové kompresory	325
193.	Teplo odvedené z plynu při kompresí a v chladiči	327

Parní oběhy

194.	Princip parního oběhu Clausiova—Rankinova	327
195.	Účinnosti parního stroje	329
196.	Spotřeba páry	331

Chladicí zařízení

197.	Princip chlazení	331
198.	Kompresorové chladicí zařízení	332
199.	Tepelná bilance chladicího oběhu	333
200.	Efekt chladicího oběhu	334

VII. TERMODYNAMIKA PROUDÍCÍCH PLYNŮ A PAR

201.	Termodynamický stav klidného plynu	335
202.	Termodynamický stav proudícího plynu	335
203.	Definice tekutiny a vzdušiny	336
204.	Stlačitelné a nestlačitelné tekutiny	336
205.	Idealizace proudící látky	337
206.	Jednorozměrné proudění	337
207.	Laminární a turbulentní proudění	338
208.	Proudění stacionární a nestacionární	339
209.	Proudění adiabatické a izentropické	339
210.	Proudění se spojitou a nespojitou změnou stavu	340
211.	Rychlost zvuku. Machovo číslo	340
212.	Zákon o zachování hmotnosti. Rovnice kontinuity	343
213.	Zákon o zachování energie	344
214.	Zákon o zachování energie (mechanický tvar)	346
215.	Expanze plynu při proudění tryskou a otvorem	348
216.	Výtok do vakua. Maximální rychlost	351
217.	Maximální rychlost a klidová teplota proudícího plynu	351
218.	Ztráta odporu a ztráta kinetické energie	353
219.	Izentropické proudění	354
220.	Tvar trysky při výtoku do vakua. Kritický průřez	356
221.	Závislost kritických veličin na parametrech klidového stavu	358
222.	Stav při expanzi do vakua	361
223.	Výpočet rychlosti z daného poměru tlaků p/p_0 a z poměrů teplot T/T_0	362
224.	Výpočet poměru průřezů S/S^* jako funkcí M a M^*	363
225.	Hmotnost plynu vytékající tryskou	364
226.	Výtok otvorem ve stěně	367
227.	Vliv protitlaku na proudění zúženou tryskou	368
228.	Lavalova tryska	369
229.	Výpočet Lavalovy trysky pomocí $i-s$ diagramu	370
230.	Vliv protitlaku u Lavalovy trysky	372
231.	Proudění v trysce daného tvaru	374

VIII. EXERGIE

232.	Tepelné ztráty	380
233.	Termická účinnost a využití energie	381
234.	Exergie a anergie	381

235.	Rovnice exergie	383
236.	Exergie v $i-s$ a $T-s$ diagramu	384
237.	Exergie a nevratnost	386
238.	Exergetická ztráta	387
239.	Exergetická ztráta třením	388
240.	Exergetická ztráta sdílením tepla	389
241.	Exergetická ztráta škrcením	390
242.	Exergetická účinnost	390
243.	Úhrnná exergetická účinnost. Stupeň dokonalosti	391
	Literatura k I—VIII	393

SDÍLENÍ TEPLA

IX. SDÍLENÍ TEPLA

244.	Druhy sdílení tepla	297
------	-------------------------------	-----

Vedení tepla v tělesech

245.	Obecné úvahy	397
------	------------------------	-----

Základní zákon vedení tepla

246.	Teplota a tepelný tok	398
247.	Zákon Fourierův	399
248.	Tepelná vodivost pevných, kapalných a plynných látek	400
249.	Tepelná vodivost kovů	400
250.	Tepelná vodivost kapalin	401
251.	Tepelná vodivost plynů	403
252.	Tepelná vodivost stavebních a izolačních hmot	403
253.	Rovnice pro sdílení tepla vedením	405
254.	Okrajové podmínky	406
255.	Podobnost teplotních polí	407

Stacionární vedení tepla

256.	Stacionární vedení tepla jednoduchou rovinnou stěnou	410
257.	Stacionární vedení tepla složenou rovinnou stěnou	412
258.	Stacionární vedení tepla jednoduchou válcovou stěnou	414
259.	Stacionární vedení tepla složenou válcovou stěnou	415

Nestacionární vedení tepla

260.	Nestacionární vedení tepla	417
261.	Schmidtova grafická metoda	418

Sdílení tepla prouděním

262.	Přestup tepla	421
263.	Součinitel přestupu tepla	421
264.	Teplota tekutiny	423

Sdílení tepla a teorie podobnosti

265.	Obecné úvahy	425
266.	Nucená konvekce	425
267.	Volná konvekce	428

268.	Vyhledávání bezrozměrných čísel rozměrovou analýzou	430
269.	Sdílení tepla při volné konvekci	430
270.	Některé předpoklady teorie podobnosti	431
271.	Fyzikální význam bezrozměrných čísel	432
272.	Sdílení tepla a přenos hmoty	433

Přestup tepla při volné konvekci

273.	Přestup tepla při samovolném proudění tekutiny	434
274.	Přestup tepla v neomezeném prostoru	434
275.	Přestup tepla v omezeném prostoru	438

Přestup tepla při nuceném proudění tekutiny

276.	Obecně	441
277.	Volba určovací teploty	442
278.	Přestup tepla při proudění tekutiny trubkou	443
279.	Přestup tepla při laminárním nuceném proudění v trubce	445
280.	Vliv volné konvekce a nucené proudění	446
281.	Přechodová oblast mezi laminárním a turbulentním prouděním	447
282.	Přestup tepla při turbulentním proudění v trubce $Re > 10^4$	448
283.	Ekvivalentní průměr	450
284.	Zakřivená trubka	451
285.	Vliv drsnosti stěn na přestup tepla	452
286.	Přestup tepla podél desky	452

Přestup tepla při kondenzaci par

287.	Všeobecně	454
288.	Blánová a kapková kondenzace	455
289.	Blánová kondenzace	456
290.	Kondenzace na vodorovném svazku trubek	460
291.	Vliv rychlosti a směru proudění páry	461
292.	Vliv jakosti povrchu kondenzační plochy	461

Přestup tepla při varu kapaliny

293.	Všeobecně	461
294.	Fyzikální zvláštnosti varu	462
295.	Kritické tepelné zatížení	462

Sdílení tepla sáláním

296.	Základní pojmy	463
297.	Kirchhoffův zákon	466
298.	Energie monochromatického záření absolutně černého tělesa. Planckův zákon	467
299.	Zákon Stefanův – Boltzmannův	469
300.	Emise a absorpce šedých těles	469
301.	Lambertův zákon	470
302.	Emisní součinitel technických ploch	472
303.	Zásady výpočtu sdílení tepla sáláním	473
304.	Sdílení tepla sáláním mezi černými tělesy	473
305.	Sdílení tepla sáláním mezi šedými plochami	475
306.	Výpočet součinitele osálení	478

Prostup tepla stěnou

307.	Prostup tepla rovinnou stěnou	480
------	---	-----

Výměníky tepla

308.	Rozdělení výměníků	483
309.	Základy tepelného výpočtu	483
310.	Střední teplotní rozdíl	485
	Literatura k IX	489
	Tabulky	491
	Rejstřík	526
	Příloha: Diagram vlhkého vzduchu	