

# Sadržaj

<b>I. PREDMET IZUČAVANJA</b>	<b>1</b>
<b>1. Mnogočestični sustavi</b>	<b>3</b>
1.1. Atomi . . . . .	3
1.2. Izotopi . . . . .	5
1.3. Molekule . . . . .	6
1.4. Agregatna stanja . . . . .	8
<b>2. Opis mnogočestičnih sustava</b>	<b>10</b>
2.1. Dinamička metoda . . . . .	10
2.2. Statistička metoda . . . . .	11
2.3. Termodinamička metoda . . . . .	11
<b>II. MATEMATIČKI PODSJETNIK</b>	<b>13</b>
<b>3. Osnovni pojmovi teorije vjerojatnosti</b>	<b>15</b>
3.1. Nasumični događaji . . . . .	15
3.2. Nasumične veličine . . . . .	15
3.3. Vjerojatnost . . . . .	15
3.4. Definicija vjerojatnosti preko frekvencije događanja . . . . .	16
3.5. Gustoća vjerojatnosti . . . . .	16
3.6. Vjerojatnost međusobno isključivih događaja . . . . .	17
3.7. Vjerojatnost pojave dvaju nezavisnih događaja . . . . .	17
3.8. Normiranje vjerojatnosti . . . . .	17
3.9. Očekivana vrijednost nasumične veličine . . . . .	18
3.10. Očekivana vrijednost umnoška nezavisnih veličina . . . . .	18

---

**4. Funkcija dviju varijabla** **19**

4.1.	Totalni diferencijal . . . . .	19
4.2.	Razvoj funkcije dviju varijabla u Taylorov red . . . . .	20
4.3.	Ekstremi . . . . .	21
4.4.	Prijelaz na nove varijable. Jakobijan . . . . .	25

**III. KINETIČKA TEORIJA PLINOVA** **27**

---

**5. Osnovne makroskopske veličine** **29**

5.1.	Model idealnog plina . . . . .	29
5.2.	Tlak i kinetička teorija idealnih plinova . . . . .	29
5.3.	Stupanj zagrijanosti tijela . . . . .	33
5.4.	Termička relaksacija plinova pri difuziji . . . . .	33
5.5.	Definicija temperature u kinetičkoj teoriji materije . . . . .	38
5.6.	Klasična mehanika, kvantna mehanika i temperatura . . . . .	39
5.7.	Jednadžba stanja . . . . .	42
5.8.	Mjerenje makroskopskih veličina . . . . .	44
5.8.1.	Obujam . . . . .	44
5.8.2.	Tlak . . . . .	44
5.8.3.	Temperatura . . . . .	45

---

**6. Boltzmannova i Maxwellova razdioba** **47**

6.1.	Idealan plin u vanjskom polju . . . . .	47
6.2.	Eksperimentalna provjera Boltzmannove razdiobe . . . . .	49
6.3.	Maxwellova razdioba . . . . .	49
6.4.	Eksperimentalna provjera Maxwellove razdiobe . . . . .	53
6.5.	Stabilnost atmosfere . . . . .	53

**IV. TERMODINAMIKA** **55**

---

**7. Prvi zakon termodinamike** **57**

7.1.	Termodinamičko stanje sustava i prijelazi . . . . .	57
7.2.	Unutarnja energija . . . . .	58
7.3.	Rad . . . . .	59
7.4.	Toplina . . . . .	61
7.5.	Prvi zakon termodinamike . . . . .	61

<b>8. Toplinski kapacitet</b>	<b>63</b>
8.1. Toplinski kapacitet pri stalnom obujmu i tlaku . . . . .	63
8.2. Veza između toplinskih kapaciteta . . . . .	64
8.3. Toplinski kapacitet idealnog plina . . . . .	64
8.4. Toplinski kapacitet čvrstih tijela . . . . .	65
8.5. Toplinski kapacitet plina i eksperiment . . . . .	66
<b>9. Adijabatski i politropski proces</b>	<b>69</b>
9.1. Adijabatski proces . . . . .	69
9.2. Rad idealnog plina pri adijabatskom procesu . . . . .	71
9.3. Politropski proces . . . . .	71
<b>10. Drugi zakon termodinamike</b>	<b>72</b>
10.1. Nepovratnost toplinskih procesa . . . . .	72
10.2. Korisnost kružnog procesa . . . . .	73
10.3. Drugi zakon termodinamike . . . . .	75
10.4. Ekvivalencija Kelvinove i Clausiusove formulacije . . . . .	76
10.5. Carnotov kružni proces . . . . .	78
10.6. Carnotovi teoremi . . . . .	79
10.7. Najveća korisnost i najveća snaga . . . . .	81
10.8. Stirlingov motor . . . . .	83
10.9. Hladnjak . . . . .	85
10.10. Apsolutna temperaturna skala . . . . .	86
<b>11. Entropija</b>	<b>89</b>
11.1. Clausiusova relacija . . . . .	89
11.2. Entropija . . . . .	91
11.3. Kružni proces u $T, S$ dijagramu . . . . .	94
11.4. Rad i entropija . . . . .	96
<b>12. Statistička interpretacija entropije</b>	<b>98</b>
12.1. Priroda nepovratnosti . . . . .	98
12.2. Boltzmannova definicija entropije . . . . .	99
12.3. Entropija i poznavanja stanja čestice plina . . . . .	102
12.4. Gibbsova definicija entropije . . . . .	103
12.5. Načelo najveće informacijske entropije . . . . .	104
12.5.1. Informacijska entropija . . . . .	104
12.5.2. Prijenos poruke i informacijska entropija . . . . .	105

12.5.3.	Kvantna kriptografija . . . . .	106
12.5.4.	Jaynesovo načelo najveće informacijske entropije . .	106
12.6.	Gibbsova razdioba . . . . .	108

### **13. Treći zakon termodinamike** **110**

---

13.1.	Nernstov teorem . . . . .	110
13.2.	Nemogućnost postizanja apsolutne nule . . . . .	111
13.3.	Entropija idealnog plina . . . . .	112
13.3.1.	Sackur-Tetrodeova formula . . . . .	112
13.3.2.	Eksperimentalna provjera Sackur-Tetrodeove formule	114
13.3.3.	Sackur-Tetrodeova formula i kvantna mehanika . . .	116
13.4.	Nulti zakon termodinamike . . . . .	117

### **14. Termodinamički potencijali** **118**

---

14.1.	Legendreova transformacija . . . . .	118
14.2.	Unutarnja energija . . . . .	119
14.3.	Helmholtzova slobodna energija . . . . .	119
14.4.	Entalpija . . . . .	120
14.5.	Gibbsova slobodna energija . . . . .	120
14.6.	Termodinamički mnemotehnički dijagram . . . . .	120
14.7.	Treba li nam toliko termodinamičkih relacija? . . . . .	121
14.8.	Stabilnost termodinamičkih sustava . . . . .	123
14.9.	Načelo Le Chateliera (Le Chatelier-Brauna) . . . . .	126

## **V. TERMODINAMIKA REALNIH PLINOVA I KAPLJEVINA** **127**

### **15. Realni plinovi** **129**

---

15.1.	Van der Waalsova jednadžba . . . . .	129
15.2.	Zakon odgovarajućih stanja . . . . .	133

### **16. Fazni prijelazi** **135**

---

16.1.	Faze materije . . . . .	135
16.2.	Fazni dijagram . . . . .	137
16.3.	Pravilo poluge . . . . .	138
16.4.	Clausius-Clapeyronova jednadžba . . . . .	140
16.5.	Isparavanje . . . . .	141
16.6.	Ključanje . . . . .	142

16.7.	Kritična točka . . . . .	143
16.8.	Trojna točka . . . . .	146
16.9.	Kristalne modifikacije . . . . .	147
16.10.	Podjela faznih prijelaza . . . . .	149
<b>17.</b>	<b>Joule-Thomsonov efekt</b>	<b>150</b>
17.1.	Fizički sadržaj Joule-Thomsonova efekta . . . . .	150
17.2.	Temperatura inverzije . . . . .	150
17.3.	Temperatura inverzije van der Waalsova plina . . . . .	152
<b>18.</b>	<b>Otopine</b>	<b>154</b>
18.1.	Općenito o otopinama . . . . .	154
18.2.	Smjese kapljevine . . . . .	155
18.3.	Osmotski tlak . . . . .	156
18.4.	Raoultov zakon . . . . .	158
18.5.	Kemijski potencijal . . . . .	161
18.6.	Pravilo faza . . . . .	162
<b>19.</b>	<b>Sustavi s promjenjivim brojem čestica</b>	<b>164</b>
19.1.	Gibbsova razdioba za sustave s promjenjivim brojem čestica . . . . .	164
19.2.	Kvantnomehanički sustavi . . . . .	166
19.2.1.	Zaposjednutost . . . . .	166
19.2.2.	Spin, bozoni i fermioni . . . . .	166
19.2.3.	Bose-Einsteinova razdioba . . . . .	166
19.2.4.	Fermi-Diracova razdioba . . . . .	167
<b>20.</b>	<b>Kemijske reakcije</b>	<b>168</b>
20.1.	Toplina reakcija . . . . .	168
20.2.	Kemijska ravnoteža . . . . .	168
20.3.	Zakon o djelovanju masa . . . . .	169
20.4.	Načelo mikroskopske povratnosti . . . . .	171
20.5.	Ovisnost kinetičkih konstanta o temperaturi . . . . .	172
20.6.	Elektroliti . . . . .	173
<b>21.</b>	<b>Površinske pojave</b>	<b>175</b>
21.1.	Površinska napetost . . . . .	175
21.2.	Kut močenja . . . . .	177
21.3.	Površinski tlak . . . . .	178
21.4.	Tlak pare nad zakrivljenom razdvojnomo plohom . . . . .	180

---

**22. Priroda metastabilnih stanja** **182**

22.1. Pothlađena para . . . . .	182
22.2. Pregrijana kapljevina . . . . .	183
22.3. Pothlađena kapljevina . . . . .	183
22.4. Kapljevina pod vlakom. Negativni tlak. . . . .	184

**VI. PRIJENOSNE POJAVE** **185**

---

**23. Ravnotežna stanja i prijenosne pojave** **187**

23.1. Srednji slobodni put . . . . .	188
--------------------------------------	-----

---

**24. Difuzija** **190**

24.1. Difuzijska konstanta . . . . .	190
24.2. Vrijeme relaksacije . . . . .	191
24.3. Difuzijska konstanta plinova . . . . .	191

---

**25. Toplinska vodljivost** **194**

25.1. Jednadžba toplinske vodljivosti . . . . .	194
25.2. Toplinski otpor . . . . .	195
25.3. Koeficijent toplinske vodljivosti plinova . . . . .	196
25.4. Pokretljivost . . . . .	197
25.5. Termička difuzija . . . . .	199

---

**26. Viskoznost** **202**

26.1. Tenzor naprezanja . . . . .	202
26.2. Koeficijent viskoznosti . . . . .	203
26.3. Koeficijent viskoznosti plinova . . . . .	204
26.4. Poiseuilleova formula . . . . .	206

---

**Literatura** **209**

---

**Kazalo** **211**

---