

**UNIVERSITATEA DIN BACĂU
FACULTATEA DE INGINERIE**

Radu CĂLIMAN

Ionel OLARU

**TERMOTEHNICĂ ȘI
MAȘINI TERMICE**

Note de curs

**Editura Alma Mater
Bacău, 2007**

CUPRINS

PREFAȚĂ	7
INTRODUCERE	8
Cap. I. MĂRIMI DE STARE	10
1.1. Sistem termodinamic și parametrii termodinamici.....	10
1.2. Transformări reversibile și ireversibile	15
1.3. Energie, lucru mecanic și căldură.....	15
1.4. Diagrama dinamică $p - V$	17
Cap. II. GAZUL IDEAL	19
2.1. Noțiuni generale	19
2.2. Noțiuni de teorie cinetico-moleculară	19
2.3. Legile gazului ideal	20
2.3.1. Legea Boyle-Mariotte.....	20
2.3.2. Legea Gay-Lussac.....	20
2.3.3. Legea lui Charles	21
2.3.4. Legea lui Avogadro	21
2.3.5. Ecuația termică de stare a gazelor perfecte.....	22
2.4. Amestecuri de gaze.....	23
2.4.1. Proprietăți ale amestecurilor de gaze deduse din situația reală	24
2.4.2. Proprietăți ale amestecurilor de gaze deduse din situația imaginară.....	25
2.5. Transformarea participațiilor.....	28
2.6. Proprietăți calorice ale amestecurilor de gaze	29
Cap. III. PRIMUL PRINCIPIU AL TERMODINAMICII	30
3.1. Esența primului principiu al termodinamicii	30
3.2. Energia internă.....	31
3.3. Entalpia. Lucrul mecanic tehnic	32
3.4. Primul principiu al termodinamicii pentru sisteme deschise.....	34
3.5. Legea lui Joule.....	35
3.6. Călduri specifice pentru gazul ideal. Dependența dintre acestea, energia internă și entalpie	36
Cap. IV. PROCESE TERMODINAMICE SIMPLE ALE GAZULUI IDEAL	40
4.1. Transformarea la volum constant (transformarea izocoră).....	40
4.2. Transformarea la presiune constantă (transformarea izobară)	41
4.3. Transformarea la temperatură constantă (transformarea izotermă).....	42
4.4. Transformarea adiabatică	43
4.5. Transformarea politropică	46

Cap. V. AL DOILEA PRINCIPIU AL TERMODINAMICII	49
5.1. Procese ciclice (cicluri termodinamice)	49
5.2. Procese reversibile și ireversibile	51
5.3. Ciclul Carnot reversibil	52
5.4. Formulările principiului al doilea al termodinamicii.....	53
5.5. Tratări fenomenologice clasice ale principiului al doilea.....	54
5.6. Schema Carnot – Clausius – Thomson de tratare a principiului al doilea.....	55
5.6.1. Teorema lui Carnot.....	55
5.6.2. Prima parte a principiului al doilea	57
5.6.3. Partea a doua a principiului al doilea, în cadrul schemei Clausius-Thomson	60
5.7. Entropia gazelor perfecte.....	65
5.8. Diagrame entropice. Transformări simple ale gazului ideal în diagrama entropică.....	65
5.9. Analiza unor fenomene ireversibile.....	70
5.9.1. Variația entropiei în procesul de laminare	70
5.9.2. Variația entropiei în procesul de amestecare (prin difuzie) a gazelor perfecte	71
 Cap. VI. APLICAREA LEGILOR GAZELOR LA MAȘINILE CU GAZE	 73
6.1. Compresoare (ventilatoare)	73
6.1.1. Clasificarea compresoarelor.....	73
6.1.2. Comprimarea în trepte	77
6.2. Motoare cu ardere internă cu piston	79
6.2.1. Clasificarea motoarelor cu ardere internă	79
6.2.2. Ciclurile teoretice ale motoarelor cu ardere internă în p-V și T-s	82
6.3. Instalații cu turbine cu gaze	89
6.3.1. Ciclul instalației cu turbină cu gaze, cu ardere la presiune constantă.....	90
6.3.2. Ciclul instalației cu turbină cu gaze, cu ardere la volum constant.....	91
 Cap. VII. GAZE REALE. VAPORI	 95
7.1. Proprietățile gazelor reale. Fugacitatea	95
7.2. Ecuații termice de stare ale gazelor reale	101
7.3. Vaporizarea la presiune constantă.....	106
7.3.1. Echilibrul fazelor	106
7.3.2. Procesul de vaporizare	108
7.4. Mărimile de stare ale vaporilor.....	111
7.4.1. Relații între mărimile de stare ale lichidului și vaporilor	112
7.4.2. Mărimile de stare ale vaporilor saturați umezi, curbe de titlu constant... ..	113
7.4.3. Ecuația Clausius-Clapeyron (relația între presiune și temperatura de saturație).....	115
7.5. Diagrame termodinamice ale vaporilor	116
7.5.1. Diagrama p-v a vaporilor de apă.....	117
7.5.2. Diagrama T-s a vaporilor de apă.....	117
7.5.3. Diagrama i-s a vaporilor de apă.....	118
7.6. Procese termodinamice ale vaporilor	119
7.6.1. Transformarea izocoră	119
7.6.2. Transformarea izobară	120

7.6.3. Transformarea izotermică	121
7.6.4. Transformarea adiabatică.....	122
7.6.5. Laminarea vaporilor.....	124
7.7. Instalații termoenergetice cu abur.....	125
7.7.1. Instalații cu supraîncălzire repetată a aburului.....	131
7.7.2. Instalații cu preîncălzire regenerativă a apei de alimentare a cazanului..	131
7.7.3. Instalații termoenergetice cu termoficare.....	134
7.7.4. Instalații termoenergetice cu cicluri combinate	135
Cap. VIII. TERMODINAMICA AERULUI UMED	138
8.1. Considerații generale	138
8.2. Mărimile de stare ale aerului umed	141
8.2.1. Presiunea aerului umed	141
8.2.2. Umiditatea relativă a aerului umed	141
8.2.3. Conținutul de umiditate al aerului.....	142
8.2.4. Gradul de saturare	145
8.2.5. Temperatura aerului umed	145
8.2.6. Densitatea aerului umed.....	146
8.2.7. Căldura specifică a aerului umed.....	147
8.2.8. Entalpia aerului umed	148
8.3. Diagrama i-x Mollier	150
8.4. Metoda determinării umidității relative a aerului umed cu ajutorul psihrometrului Assman	155
8.5. Transformările termodinamice ale aerului umed.....	157
8.5.1. Încălzirea uscată a aerului umed	157
8.5.2. Răcirea uscată a aerului	159
8.5.3. Procesele de tratare a aerului umed cu apă sau abur.....	161
8.5.3.a. Procesul de umidificare izotermică a aerului.....	162
8.5.3.b. Procesul de umidificare adiabatică a aerului	163
8.5.4. Amestecul a două cantități de aer cu parametri diferiți	165
8.6. Analiza termodinamică a proceselor care se desfășoară în instalațiile termice cu aer umed	166
8.6.1. Instalații de climatizare	166
8.6.1.a. Generalități	166
8.6.1.b. Instalația de climatizare a aerului pe timp friguros.....	167
8.6.1.c. Instalația de climatizare a aerului pe timp călduros	169
8.6.2. Instalații de uscare cu aer	171
8.6.2.a. Noțiuni generale privind procesul uscării materialelor umede cu ajutorul aerului	171
8.6.2.b. Bilanțul de materiale și bilanțul termic al uscătorului cu aer.....	172
8.6.2.c. Uscătorul ideal și uscătorul real	175
8.6.2.d. Uscătorul cu răcire intermediară a aerului	176
8.6.2.e. Uscătorul cu recircularea aerului.....	177
Cap. IX. MAȘINI ȘI INSTALAȚII PENTRU PRODUCEREA FRIGULUI.....	179
11.1. Generalități	179
11.2. Instalații frigorifice.....	181

11.2.1. Instalația frigorifică cu compresie mecanică de vapori	183
11.2.2. Instalația frigorifică cu comprimare în mai multe trepte	184
Cap. X. POMPE DE CĂLDURĂ	189
10.1. Pompa de căldură cu comprimare mecanică de vapori	190
10.2. Pompe de căldură termochimice cu absorbție	191
10.3. Valorificarea căldurii resurselor energetice secundare cu potențial termic scăzut, cu ajutorul pompelor de căldură	193
 Cap. XI. DINAMICA GAZELOR ȘI VAPORILOR	 196
11.1. Clasificări ale curgerilor	196
11.2. Ecuațiile fundamentale ale curgerii	198
11.2.1. Curgerea fără frecare	199
11.2.2. Curgerea cu frecare	200
11.3. Curgerea prin conducte	200
11.3.1. Curgerea prin conducte fără frecare	201
11.3.2. Curgerea prin conducte cu frecare	202
11.3.3. Calculul conductelor	205
11.4. Măsurarea debitelor de gaze	206
11.4.1. Măsurarea debitului de gaze cu ajutorul tubului Pitot-Prandtl	206
11.4.2. Măsurarea debitului de gaze cu ajutorul diafragmei	207
11.4.2.1. Descrierea procesului de curgere și variația presiunii	208
11.4.2.2. Stabilirea ecuației de debit	209
11.5. Curgerea prin ajutaje	211
11.5.1. Ecuația ajutajului	211
11.5.2. Forma generală a ajutajului și variația parametrilor	213
11.5.3. Viteza în secțiunea de ieșire a unui ajutaj	216
11.5.4. Dimensionarea ajutajelor	216
11.5.5. Ejectorul	218
 BIBLIOGRAFIE	 220