

Anexa 1. Constante fizice

CONSTANTA	SIMBOLUL	VALOAREA
Numărul lui Avogadro	N_A	$6.0221 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Constanta Boltzmann	k_B	$1.3805 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
Constanta universală a gazelor	$R = k_B N_A$	$8.3143 \times 10^3 \text{ J kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ $1.9870 \text{ cal mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Volumul kilomolar normal al gazului ideal	V_0	$22.413 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1}$
Constanta Planck	$\hbar = \frac{h}{2\pi}$	$6.6256 \times 10^{-34} \text{ J s}$ $1.055 \times 10^{-34} \text{ J s}$
Unitatea atomică de masă	u	$1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Viteza luminii în vid	c	$2.9979 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Permitivitatea vidului	ϵ_0	$8.8543 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
Permeabilitatea vidului	μ_0	$1.2566 \times 10^{-6} \text{ H m}^{-1}$
Viteza sunetului în aer uscat ($t = 0^\circ\text{C}$)	v_s	331.36 m s^{-1}
Constanta (nr.) lui Faraday	F	$9.6487 \times 10^7 \text{ C kmol}^{-1}$
Sarcina electronului	e	$1.6021 \times 10^{-19} \text{ C}$
Masa de repaus a electronului	m_e	$9.1085 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Masa de repaus a protonului	m_p	$1.6725 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Masa de repaus a neutronului	m_n	$1.6748 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Masa atomului de azot	m_N	$2.3258 \times 10^{-26} \text{ kg}$
Magnetonul Bohr-Procopiu	$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e c}$	$9.27 \times 10^{-24} \text{ J T}^{-1}$
Magnetonul nuclear	$\mu_N = \mu_B \frac{m_e}{m_p}$	$0.505 \times 10^{-26} \text{ J T}^{-1}$
Constanta Stefan-Boltzmann	σ	$5.67 \times 10^{-8} \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-4}$

Anexa 2. Relații între unele unități

$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$
 $1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyne}$
 $1 \text{ J} = 1 \text{ N m} = 10^7 \text{ ergi}$
 $1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg la } 0 \text{ }^\circ\text{C} = 1.33 \times 10^2 \text{ N m}^{-2}$
 $1 \text{ atm} = 760 \text{ torri} = 1.013 \times 10^5 \text{ N m}^{-2} = 1.013 \times 10^6 \text{ dyne cm}^{-2}$
 $1 \text{ at} = 9.807 \times 10^4 \text{ N m}^{-2} = 1 \text{ kgf cm}^{-2}$
 $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N m}^{-2} = 10^6 \text{ dyne cm}^{-2}$
 $1 \text{ cal} = 4.183 \text{ J}$
 $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}, 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}, 1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$

Formule pentru transformarea temperaturii exprimată în grade Celsius

Convertire din	în	Formulă
Celsius	Fahrenheit	$^\circ\text{F} = ^\circ\text{C} \times 1.8 + 32$
Fahrenheit	Celsius	$^\circ\text{C} = (^\circ\text{F} - 32) / 1.8$
Celsius	Kelvin	$\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.15$
Kelvin	Celsius	$^\circ\text{C} = \text{K} - 273.15$

Exemple de temperaturi în Kelvini

Reacție termonucleară cu carbon	5×10^8
Reacție termonucleară cu heliu	10^8
Soare în interior	10^7
Coroana solară	10^6
Nebuloase vizibile	10^4
Suprafața Soarelui	6×10^3
Punctul de topire al wolframului	3.6×10^3
Punctul de topire al plumbului	6×10^2
Punctul triplu al apei, T_3	273.16
Punctul de înghețare al apei	2.7×10^2
Punctul de fierbere al oxigenului (1 atm)	9×10
Punctul de fierbere al hidrogenului	(1 atm) 2×10
Punctul de fierbere al heliului	(1 atm) 4.2

N.B. 1. Numărul de moli în lucrare este notat cu “*n*” pentru a evita interpretări ambigue în notații (de exemplu, “*v*”=“*v Italic*” și “*v*”=“*v Italic*”). De asemenea, această notație se mai întâlnește în unele lucrări internaționale.

2. De obicei se folosesc două scări de temperatură, scara Celsius, cu precădere în țările europene, și scara Fahrenheit, în Statele Unite ale Americii. Acestea se definesc cu ajutorul scării Kelvin care constituie scara fundamentală a temperaturilor în știință și tehnică. Un grad Celsius reprezintă a $1/273.16$ -a parte din intervalul cuprins între punctul triplu al apei ($T_3=0.01\text{ }^\circ\text{C}$) și punctul de zero absolut ($-273.15\text{ }^\circ\text{C}$), la presiune normală. Raportul de conversiune este $T(^{\circ}\text{C})=T(\text{K})-273.15$ și $T(^{\circ}\text{F}) = 9/5\times T(\text{K})-459.67$. De menționat că temperatura de topire a gheții $T_0=273.15\text{ K}$.

Anexa 3. Distribuția Gauss

Verificați că pentru o variabilă aleatorie gaussiană

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (\text{A.1})$$

valoarea medie și dispersia sunt date de μ și σ .

Rezolvare: Notăm:

$$E(x) \equiv \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx. \quad (\text{A.2})$$

Se știe că:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1, \quad (\text{A.3})$$

deci:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx = \sigma\sqrt{2\pi}. \quad (\text{A.4})$$

Derivând relația anterioară în raport cu parametrul μ , obținem:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{x-\mu}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx = 0, \quad (\text{A.5})$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} x \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx = \mu \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx = \mu \sigma\sqrt{2\pi}. \quad (\text{A.6})$$

Rezultă: $E(x) = \mu.$ (A.7)

Dispersia este dată de

$$E\{(x-\mu)^2\} \equiv \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(x-\mu)^2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx. \quad (\text{A.8})$$

Integrala se rezolvă prin părți notând $u = x - \mu$.

Distribuția Gauss este implimentată în pachetul de programe *Mathematica* ca **NormalDistribution[μ , σ]** din

Statistics`ContinuousDistributions`, care se activează cu **<<Statistics`**. Pentru distribuția cu $\mu = 0$ și $\sigma^2 = 2$ se obțin rezultatele numerice prezentate pe Figurile A.1 și A.2.

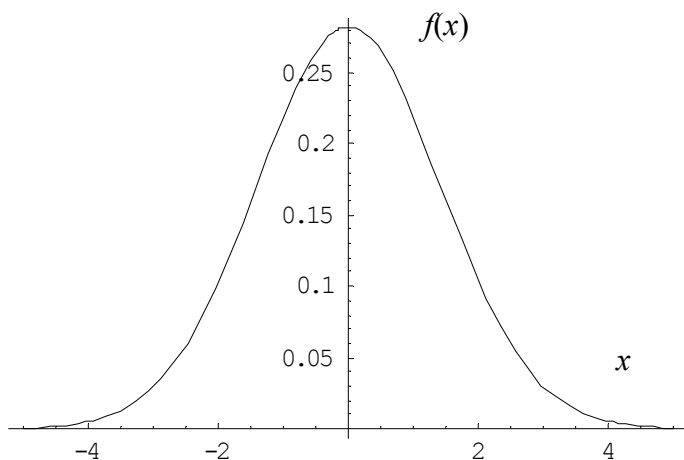


Figura A.1. Funcția densității de probabilitate pentru $\mu=0$ și $\sigma^2=2$.

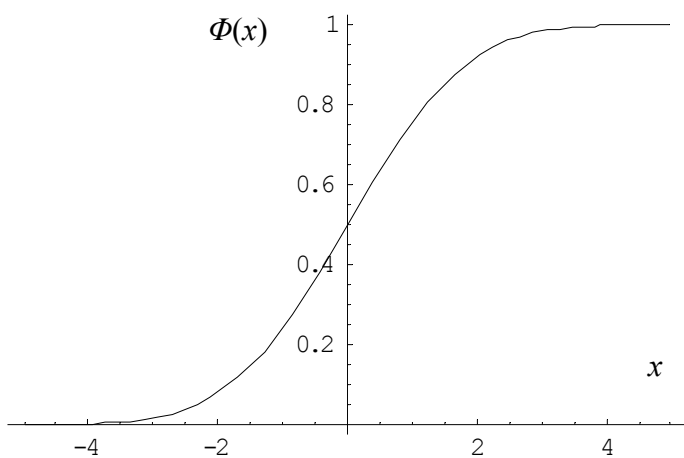


Figura A.2. Funcția cumulativă de distribuție pentru $\mu=0$ și $\sigma^2=2$.

Anexa 4. Curriculum la disciplina “Termodinamica”

I. PRELIMINARII

Sunt descrise principiile termodinamicii moderne. Se studiază detaliat comportamentul termodinamic al sistemelor fizice. Se acordă o importanță deosebită comportamentului sistemelor cu multe particule (molecule atomi, etc.). Se cercetează fluctuațiile mărimilor termodinamice. Se specifică comportamentul clasic al sistemelor în termeni de probabilitate. Se studiază entropia și schimbul de energie între diferite subsisteme.

II. ADMINISTRAREA DISCIPLINEI

Forma de învățământ	Codul disciplinei	Denumirea disciplinei	Responsabil de disciplină	Semestrul	Ore total				Evaluarea	Nr. de credite	
					Total	inclusiv					
						C	S	LI			
cu frecvență la zi	S05O028	Termodinamica	F.Paladi, dr. habil., prof. univ.	5	90	30	30		30	E	4

UNITĂȚI DE CONȚINUT ȘI REPARTIZAREA ORIENTATIVĂ A ORELOR

Nr. d/o	Unități de conținut	Ore					
		Curs		Seminar		Lucrul individual	
		zi	f/r*	zi	f/r*	zi	f/r*
	<i>Noțiunile de bază ale termodinamicii contemporane</i>	6		6			
1.	Parametri termodinamici. Parametri conjugați	2		2			Se prezinta separat in tabelul de mai jos
2.	Forme diferențiale. Jacobieni	2		2			
3.	Ecuatii de stare. Coeficienți termodinamici	2		2			
	<i>Sisteme omogene și cvasiomogene</i>	4		4			
1.	Gazul perfect clasic. Amestecuri de gaze perfecte	2		2			
2.	Distribuția Maxwell-Boltzmann. Ecuația termică de stare						
3.	Gaze perfecte cuantice. Funcții termodinamice ale gazelor cuantice. Gazul Bose. Condensarea Bose. Gazul Fermi	2		2			
	<i>Principiile termodinamicii</i>	4		4			
1.	Principiul întâi al termodinamicii	2		2			
2.	Aplicații ale principiului întâi al termodinamicii la gazele perfecte: capacități termice ale gazelor, relația lui Mayer etc.						
3.	Principiul al doilea al termodinamicii						
4.	Principiul al treilea al termodinamicii. Teorema Nernst						
5.	Entropia (termodinamică, statistică, informațională). Legea creșterii entropiei						

<i>Potențiale termodinamice</i>		8		8	
1.	Ecuțiile fundamentale generalizate. Dependența mărimilor termodinamice de numărul de particule	2		2	
2.	Transformări Legendre. Egalități și inegalități termodinamice	2		2	
3.	Relațiile Maxwell. Relația Gibbs-Duhem	2		2	
4.	Termodinamica mediilor magnetice și a dielectricilor	2		2	
<i>Gazul semiperfect și real</i>		4		4	
1.	Ecuțiile de stare ale gazelor reale. Gazul van der Waals	2		2	
2.	Efectul Joule-Thompson. Procedeul Linde	2		2	
3.	Motoare termice. Lucrul maxim. Ciclul Carnot. Randamentul				
<i>Tranziții de fază</i>		2		2	
1.	Tranziții de ordinul întâi și doi. Teoria Landau a tranzițiilor de fază. Relațiile Clapeyron-Clausius și Ehrenfest	2		2	
2.	Spațiul fazic. Stări staționare. Stabilitatea soluțiilor staționare				
<i>Teoria fluctuațiilor</i>		2		2	
1.	Fluctuațiile mărimilor termodinamice. Structuri coerente spațio-temporale. Procese ireversibile	2		2	
2.	Distribuția Gauss pentru un set de variabile				
<i>Lucrul individual</i>					
1.	Parametri interni, externi, intensivi, extensivi, conjugați, de control, de ordine				2
2.	Entropia și moartea termică a Universului				2

3.	Capacitatea termică (kilomolară, masică, molară, volumică). Formula lui Mayer					2	
4.	Entropia ca funcție de diferite variabile termodinamice					2	
5.	Procese adiabatice. Ecuația adiabatei					2	
6.	Gazul ideal monoatomic. Grade de libertate. Molecule multiatomare					2	
7.	Funcțiile termodinamice ale gazelor cuantice. Distribuții					2	
8.	Fenomenul condensării Bose-Einstein					2	
9.	Metoda funcțiilor caracteristice. Echilibrul sistemelor termodinamice					2	
10.	Molecule van der Waals. Forțele London - van der Waals și efectul Casimir. Potențialul Lennard-Jones în simulări					2	
11.	Funcțiile termodinamice ale heliului lichid. Superfluiditatea heliului lichid					2	
12.	Termodinamica substanțelor dielectrice și magnetice. Polarizarea dielectrică și magnetizarea					2	
13.	Rolul stării intermediare metastabile în cazul tranzițiilor de fază de ordinul întâi					2	
14.	Tranziții de fază „λ generalizate”					2	
15.	Aplicații practice ale termodinamicii					2	
Total		30		30		30	

III. COMPETENȚE

Competențe generale:

- demonstrarea cunoștințelor fundamentale în domeniul termodinamicii și în subdomeniile acesteia;
- propagarea informației, ideilor, problemelor și soluțiilor din domeniul termodinamicii pentru soluționarea altor probleme;
- aplicarea cunoștințelor teoretice în descrierea diferitor stări ale substanței;
- colectarea, interpretarea și analiza datelor relevante din domeniul termodinamicii

Competențe specifice:

- formularea și soluționarea problemelor termodinamice în fizica solidului, opticii și fizica atomului și nucleului;
- utilizarea în activitatea profesională a bazelor teoretice ale termodinamicii pentru evidențierea stărilor de bază ale substanței și tranzițiilor de fază de ordinul întâi și doi;
- formularea problemelor de cercetare și elaborarea proiectelor de investigație din domeniul termodinamicii și fizicii statistice

IV. OBIECTIVE GENERALE

• La nivel de cunoaștere și înțelegere:

- să determine comportarea mărimilor termodinamice în vecinătatea punctelor de tranziții de fază de ordinul întâi și doi, precum și descrierea acestor fenomene

• *La nivel de aplicare:*

- să aplice teoria corelațiilor temporale și spațiale în studiul coeficienților cinetici și al fluctuațiilor mărimilor fizice;
- să extindă teoria termodinamică în cazul substanțelor dielectrice și magnetice;
- să clasifice fenomenele de echilibru și neechilibru luând în considerație principiile fundamentale ale termodinamicii

• *La nivel de integrare:*

- să stabilească locul termodinamicii în contextul fizicii moderne;
- să elaboreze proiecte de cercetare științifică în domeniul termodinamicii;
- să propună explicații cantitative și calitative în comportamentul sistemelor fizice în funcție de temperatură, presiune și câmp extern aplicat;
- să explice cauza sau lipsa existenței fazelor în sistemele unidimensionale, bidimensionale și n -dimensionale

V. OBIECTIVE DE REFERINȚĂ ȘI UNITĂȚI DE CONȚINUT

Obiectivele de referință	Conținuturi
Subiectul 1. Noțiunile de bază ale termodinamicii contemporane	
<ul style="list-style-type: none"> - să identifice deosebirea dintre legitățile termodinamice și statistice pentru sisteme fizice; - să definească parametrii termodinamici; - să definească coeficienții termodinamici; - să aplice Jacobieni; - să obțină ecuația de stare a gazului ideal 	<ul style="list-style-type: none"> - Parametri termodinamici conjugați; - Forme diferențiale; - Ecuații de stare; - Entropia termodinamică; - Condiția de etalonare; - Coeficienți termodinamici

Subiectul 2. Sisteme omogene și cvasiomogene	
<ul style="list-style-type: none"> - să definească gazul perfect clasic și cel cuantic, amestecuri de gaze perfecte; - să utilizeze distribuția Maxwell-Boltzmann; - să obțină ecuația termică de stare; - să realizeze interpretarea statistică a temperaturii; - să definească gazul Bose; - să definească gazul Fermi; - să explice condensarea Bose 	<ul style="list-style-type: none"> - Gazul perfect clasic; - Amestecuri de gaze perfecte; - Distribuția Maxwell-Boltzmann; - Ecuația termică de stare; - Gazul Bose; - Condensarea Bose; - Gazul Fermi
Subiectul 3. Principiile termodinamicii	
<ul style="list-style-type: none"> - să definească principiile întâi, doi și trei ale termodinamicii; - să aplice principiului întâi al termodinamicii la gazele perfecte; - să definească noțiunea de lucru termodinamic; - să însușească legile fundamentale ale termodinamicii; - să definească entropia termodinamică, statistică și informațională; - să formuleze legea creșterii entropiei; - să argumenteze proprietățile entropiei (aditivitate, schimbarea de bază, continuitate, simetrie, valoare maximă a entropiei și incertitudinea) 	<ul style="list-style-type: none"> - Prima lege a termodinamicii; - A doua lege a termodinamicii; - Transformare adiabatică; - Energia internă a sistemului termodinamic; - Lucrul termodinamic; - Teorema Nernst; - Ponderea statistică; - Legea creșterii entropiei

Subiectul 4. Potențiale termodinamice	
<ul style="list-style-type: none"> - să definească noțiunile de entalpie, energie liberă, potențialul lui Gibbs, potențialul chimic al corpului; - să utilizeze transformările Legendre; - să utilizeze egalitățile și inegalitățile termodinamice la soluționarea problemelor; - să obțină și să aplice relațiile Maxwell; - să obțină și să aplice relația Gibbs-Duhem; - să definească și să aplice potențiale termodinamice ale mediilor magnetice și ale dielectricilor 	<ul style="list-style-type: none"> - Metoda potențialelor termodinamice; - Entalpie; - Energia liberă; - Potențialul lui Gibbs; - Potențialul chimic; - Ecuații de stare; - Transformare Legendre; - Relațiile Maxwell; - Relația Gibbs-Duhem; - Lucrul elementar la magnetizare
Subiectul 5. Gazul semiperfect și gazul real	
<ul style="list-style-type: none"> - să treacă de la ecuația de stare a gazului ideal la ecuațiile de stare ale gazelor reale; - să explice constantele ecuației van der Waals; - să explice efectul Joule-Thompson; - să definească coeficientul Joule-Thomson folosind proprietățile Jacobianului; - să analizeze dependența de temperatură a coeficientului Joule-Thomson pentru diferite gaze la presiune atmosferică; - să definească cele patru transformări ale ciclului Carnot și randamentul motoarelor termice 	<ul style="list-style-type: none"> - Ecuațiile de stare ale gazelor reale; - Gazul van der Waals; - Efectul Joule-Thompson; - Coeficientul Joule-Thomson (Kelvin); - Procedul Linde; - Ciclul Carnot; - Lucrul maxim; - Randamentul motoarelor termice

Subiectul 6. Tranziții de fază	
<ul style="list-style-type: none"> - să definească tranzițiile de fază; - să definească ecuațiile fundamentale ale tranzițiilor de fază; - să definească potențialul termodinamic al teoriei Landau-Ghinsburg și temperatura critică la care are loc tranziția; - să obțină și să rezolve ecuații de evoluție pentru cazuri particulare; - să analizeze criteriile de stabilitate pentru diferite sisteme fizice 	<ul style="list-style-type: none"> - Tranziții de ordinul întâi; - Tranziții de ordinul al doilea; - Relația Clapeyron-Clausius; - Relațiile Ehrenfest; - Teoria Landau-Ghinsburg; - Ecuații de evoluție; - Spațiu fazic; - Traiectorie fazică; - Puncte singulare și fixe; - Portret fazic; - Criteriul de stabilitate Lyapunov
Subiectul 7. Teoria fluctuațiilor	
<ul style="list-style-type: none"> - să aprecieze importanța fluctuațiilor mărimilor termodinamice; - să obțină expresia distribuției Gauss pentru un set de variabile 	<ul style="list-style-type: none"> - Fluctuațiile mărimilor termodinamice; - Distribuția Gauss; - Fluctuațiile spațiale; - Corelații temporale

VI. LUCRUL INDIVIDUAL

<i>Nr.</i>	<i>Produsul preconizat</i>	<i>Strategii de realizare</i>	<i>Criterii de evaluare</i>	<i>Termen de realizare</i>
1.	Parametri interni, externi, intensivi, extensivi, conjugați, de	Studiu: obținerea relațiilor dintre derivatele mărimilor	referat	o săptămână

	control, de ordine	termodinamice. Jacobieni		
2.	Entropia și moartea termică a Universului	Studiu: aplicarea legilor termodinamicii în cosmologie	referat	o săptămână
3.	Capacitatea termică (kilomolară, masică, molară, volumică). Formula lui Mayer	Studiu: definirea capacității termice și deducerea formulei lui Mayer	conspect	o săptămână
4.	Entropia ca funcție de diferite variabile termodinamice	Studiu: deducerea entropiei în funcție de diferite variabile termodinamice	conspect	o săptămână
5.	Procese adiabatică. Ecuația adiabatei	Studiu: procese adiabatică în fizică și tehnică	conspect	o săptămână
6.	Energia internă a gazului ideal monoatomic. Grade de libertate. Molecule multiatomare	Studiu: proprietățile gazului ideal (monoatomic, biatomic, poliatomic)	conspect	o săptămână
7.	Funcțiile termodinamice ale gazelor cuantice. Distribuții	Studiu: distribuțiile Bose-Einstein și Fermi-Dirac	conspect	o săptămână
8.	Fenomenul condensării Bose-Einstein	Studiu: observarea experimentală a fenomenului condensării Bose-Einstein (Eric Cornell, Carl Wieman și Wolfgang Ketterle; 1995)	referat	o săptămână
9.	Metoda funcțiilor caracteristice. Echilibrul sistemelor termodinamice	Studiu: proprietățile termodinamice ale particulelor în interacțiune	conspect	o săptămână

10.	Molecule van der Waals. Forțele London - van der Waals și efectul Casimir. Potențialul Lennard-Jones în simulări	Studiu: particularitățile gazului van der Waals; valorile critice ale presiunii P_{cr} , volumului V_{cr} și temperaturii T_{cr} pentru lichidul van der Waals	conspect	o săptămână
11.	Funcțiile termodinamice ale heliului lichid. Superfluiditatea heliului lichid	Studiu: aprecierea specificului fenomenului de superfluiditate a heliului lichid	conspect	o săptămână
12.	Termodinamica substanțelor dielectrice și magnetice. Polarizarea dielectrică și magnetizarea	Studiu: deducerea funcțiilor caracteristice ale substanțelor dielectrice și magnetice	conspect	o săptămână
13.	Rolul stării intermediare metastabile în cazul tranzițiilor de fază de ordinul întâi	Studiu: calculul contribuției eterogenității și câmpului extern la tranziții de fază de ordinul întâi	conspect	o săptămână
14.	Tranziții de fază „ λ generalizate”	Studiu: identificarea tranzițiilor de fază „ λ generalizate”	conspect	o săptămână
15.	Aplicații practice ale termodinamicii	Studiu: exemple din fizică și tehnică: frigider, încălzire centrală, energie regenerabilă, prognoză meteorologică etc.	referat	o săptămână