

V. Termodinamica:

Teorema de echipartiție a energiei după gradele de libertate:

- Fiecărui grad de libertate al moleculei unui gaz îi corespunde o energie medie (ε): $\varepsilon = \frac{1}{2} k_B T$ unde k_B - constanta lui Boltzmann, iar T - temperatura termodinamică a gazului.

Grad de libertate:

- $f = 3N - l$
- f – grad de libertate, N – numărul de particule, l – numărul legăturilor

Energia internă a unui sistem:

- $U = Nf\varepsilon = \frac{f}{2} Nk_B T = \frac{f}{2} \nu RT$
- R – constanta universală a gazelor
- f – grade de libertate
- N – numărul de particule
- ε – energia medie
- k_B - constanta lui Boltzmann
- T – temperatura termodinamică a gazului
- ν – numărul de moli
- Unitatea de măsură este J (Joule)

Transformare termodinamică sau **proces termodinamic** = energia internă a sistemului se modifică datorită efectuării de lucru mecanic, pentru parametri externi, și datorită schimbului de căldură pentru parametri interni.

Principiul zero al termodinamicii:

- Dacă două sisteme termodinamice sunt la echilibru termodinamic cu al treilea, atunci ele sunt la echilibru termodinamic între ele.

Două sisteme termodinamice sunt la echilibru termodinamic dacă au aceeași temperatură empirică t .

$$T = t + 273,15$$

$$\Delta T = \Delta t$$

Unitatea de măsură pentru T este K (Kelvin), iar pentru t este °C (grade Celsius).

Principiul întâi al termodinamicii:

- Cantitatea de căldură absorbită de un sistem termodinamic este egală cu creșterea energiei interne a sistemului plus lucrul mecanic efectuat de sistem asupra mediului ambiant.

$$Q = \Delta U + L$$

Q – cantitatea de căldură, L – lucrul mecanic

Lucrul mecanic și cantitatea de căldură au semne contrare. (amândouă sunt mărimi fizice de proces)

Cantitatea de căldură absorbită de sistem este pozitivă, iar cea cedată de sistem este negativă.

- Capacitatea calorică molară:
 - a) Capacitatea calorică molară pentru parametrul $a = \text{constant}$: $dQ = \nu C_a dT$
 - b) Q – cantitatea de căldură, T - temperatura termodinamică a gazului, ν – numărul de moli
 - c) Se măsoară în $\frac{J}{\text{kmol} \cdot K}$
- Capacitatea calorică:
 - a) $C = \frac{\delta Q}{dT}$
 - b) Q – cantitatea de căldură, T - temperatura
 - c) Se măsoară în $\frac{J}{K}$

Principiul al doilea al termodinamicii:

- **Formularea lui Clausius:** Cantitatea de căldură nu poate trece de la sine de la un corp mai rece la un corp mai cald, ci numai invers.
- **Formularea lui Kelvin:** Nu se poate realiza un proces termodinamic ciclic în care întreaga cantitate de căldură să se transforme în lucru mecanic.

Transformările pot fi reversibile (sistemul poate reveni la starea inițială trecând prin aceleași stări intermediare de echilibru), ireversibile (sistemul revine la starea inițială prin alte stări).

Teoremele lui Carnot:

- Randamentul unei mașini termice ideale reversibile depinde numai de temperatura T_1 a sursei calde și de temperatura T_2 a sursei reci și nu depinde de natura substanței de lucru.
- Randamentul unei mașini termice ireversibile este întotdeauna mai mic decât randamentul unei mașini termice ideale reversibile, care funcționează între aceleași limite de temperatură.

Randamentul unei mașini termice ireversibile:

- $\eta_{irev} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$
- Q_1 – cantitatea de căldură primită
- Q_2 – cantitatea de căldură cedată
- Mărime fizică adimensională

Randamentul unei mașini termice reversibile:

- $\eta_{rev} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$
- T_1 – cantitatea de căldură a sursei calde
- T_2 – cantitatea de căldură a sursei reci
- Mărime fizică adimensională

Sistem izolat = un sistem în care schimbul de căldură cu mediul ambiant este nul

Dacă un sistem termodinamic evoluează printr-un proces ireversibil (natural), atunci entropia sistemului crește, iar dacă evoluția se face printrun proces reversibil, atunci entropia lui rămâne constantă.

- **Entropia:**
 - a) Entropia este un parametru de stare ce caracterizează gradul de dezordine a unui sistem termodinamic.

b) $dS = \frac{dQ}{T}$

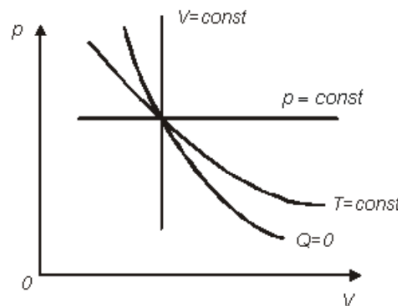
c) Unitatea de măsură a entropiei este $\frac{J}{K}$

Principiul al treilea al termodinamicii:

- Entropia unui sistem termodinamic tinde la zero atunci când temperatura absolută a sistemului tinde către zero.

Transformările gazului ideal:

- Ecuatia de stare a gazului ideal:** $pV = \nu RT$, unde p – presiune, V – volum, T – temperatura, R – constanta universală a gazelor, ν – numărul de moli
- Transformarea politropă – capacitatea calorică molară rămâne constantă: $C = \frac{1}{\nu} \frac{dQ}{dT} = \text{const}$
- Ecuatiile procesului politropic sunt: $pV^n = \text{const}$, $TV^{n-1} = \text{const}$, $pT^{\frac{n}{n-1}} = \text{const}$ unde $n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$ este indicele politropic
- Relația lui Robert Mayer: $C_p - C_v = R$
- Lucrul mecanic într-o transformare politropă: $L = \int_1^2 p dV = \nu \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2)$
- Ecuatia politropiei poate fi particularizată pentru transformările simple ale gazului ideal pentru anumite valori ale indicelui politropic:
 - $n = 0$ conduce la ecuația transformării izobare ($p = \text{const}$)
 - $n = 1$ conduce la ecuația transformării izoterme ($T = \text{const}$)
 - $n = \frac{C_p}{C_v} > 1$ conduce la ecuația transformării adiabatică ($dQ = 0$)
 - $pV^\gamma = \text{const}$, cu $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ este indicele adiabatic
 - $n \rightarrow \infty$ conduce la ecuația transformării izocore ($V = \text{const}$)



Fenomene de transport:

- Difuzia:**
 - Procesul de evoluție spre echilibru, în absența forțelor externe, a unui sistem molecular format din unul sau mai multe componente, având o distribuție neuniformă a concentrațiilor, prin apariția unui flux de substanță care determină egalizarea concentrațiilor.
 - Dacă sistemul neuniform este format dintr-o singură componentă, fenomenul se numește autodifuzie, în caz contrar este interdifuzie.
- Conductibilitatea termică:**
 - Dacă într-un gaz temperatura este distribuită neuniform atunci ia naștere un flux de căldură (energie) dinspre regiunile cu temperatura mai mare spre cele mai reci.
 - Transferul de căldură se realizează în cursul mișcării dezordonate a moleculelor, a căror energie cinetică medie variază de la un loc la altul la fel ca temperatura.

- Vâscozitatea:
 - a) Fenomenul care se manifestă când diferite straturi ale unui gaz se deplasează cu viteze diferite.
 - b) Moleculele vor avea un impuls datorită mișcării ordonate cu viteza u , iar variația acestuia în urma ciocnirii moleculelor din straturi cu viteze diferite determină forța de vâscozitate.

VI. Câmpul electromagnetic:

Câmpul electromagnetic este o formă a materiei caracterizată de 4 vectori: intensitatea câmpului electric, inducția magnetică, inducția electrică, intensitatea câmpului magnetic.

Câmpul electric:

Atomii sunt formați dintr-un nucleu (sarcină pozitivă), care este format din protoni (sarcină pozitivă) și neutroni (fără sarcină electrică), în jurul căruia se mișcă electronii (sarcină negativă).

ioni pozitivi – au pierdut electroni, ioni negativi – au primit electroni

Legea conservării sarcinii electrice afirmă că suma algebrică a sarcinilor unui sistem izolat rămâne constantă.

Distribuția neuniformă a sarcinilor electrice de cele două semne între corpuri sau între părți ale acestora determină electrizarea corpurilor.

Experiența arată că corpurile electrizate interacționează cu forțe electrice: corpurile cu sarcini de același semn se resping iar cele cu sarcini de semn contrar se atrag

Legea lui Coulomb:

- Legea lui Coulomb exprimă forța de interacțiune dintre două corpuri puncti-forme electrizate.
- $$\vec{F} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$
- ϵ – permitivitatea mediului și se măsoară în F/m
- r – distanța dintre sarcini
- F – forța interacțiunii dintre corpuri
- q_1 – sarcina electrică a corpului 1
- q_2 – sarcina electrică a corpului 2

Interacțiunea dintre corpurile încărcate cu sarcini electrice se realizează prin intermediul câmpului electric.

Intensitatea câmpului electric:

- Intensitatea câmpului electric într-un punct al câmpului este egală cu raportul dintre forța cu care acționează câmpul asupra unui corp de probă aflat în acel punct și sarcina electrică a corpului de probă.
- $$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^3} \cdot \vec{r}$$
- E – intensitatea câmpului electric
- Se măsoară în V/m
- q – sarcina electrică a corpului de probă
- F – forța cu care acționează câmpul asupra unui corp de probă

Pentru reprezentarea grafică a unui câmp se utilizează linia de câmp : o curbă tangentă în fiecare punct al său la vectorul intensitate a câmpului și având sensul acestuia. Liniile câmpului electrostatic (creat de sarcini electrice în repaus) sunt linii deschise în sensul că pornesc de pe sarcini pozitive și sfârșesc pe sarcinile negative.

Fluxul câmpului electric:

- $d\phi_e = \vec{E} \cdot d\vec{S}$
- dS – aria suprafeței
- E - intensitatea câmpului electric
- Se măsoară în Vm

Teorema lui Gauss pentru câmpul electric:

- Fluxul câmpului electric printr-o suprafață închisă este egal cu sarcina din interiorul suprafeței, împărțită la permitivitatea dielectrică a mediului.
- $\oint \vec{E} d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$
- ϵ_0 - permitivitatea dielectrică a mediului
- q – sarcina din interiorul suprafeței
- dS – aria suprafeței
- E - intensitatea câmpului electric

Potențialul electric:

- $V = \frac{Q}{4\pi\epsilon r}$
- Se măsoară în V (volt)
- ϵ – permitivitatea mediului și se măsoară în F/m
- r – distanța
- Q – sarcina electrică

Tensiunea electrică:

- $L = q U$
- Se măsoară în V (volt) = J/C
- L – lucrul mecanic efectuat de forțele câmpului electric
- q – sarcina electrică

Energia potențială a sarcinii:

- $W = q V$

Potențialul unui conductor izolat încărcat:

- $C = \frac{Q}{V}$
- C – capacitatea electrică a conductorului, se măsoară în F (farad)
- Q – sarcina electrică
- Se măsoară în V

Capacitatea electrică a condensatorului:

- $C = \frac{Q}{U}$
- C – capacitatea electrică a conductorului, se măsoară în F (farad)
- U – tensiunea electrică
- Q – sarcina electrică

Inducția electrică: $\vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon \frac{F}{q} = \frac{q}{4\pi r^2}$

Permitivitatea relativă a mediului:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Polarizarea dielectricului:

- La introducerea în câmp electric dipolii moleculari tind să se orienteze astfel că pe fețele dielectricului paralele cu armăturile apar sarcini electrice de semn opus. Se spune că dielectricul s-a polarizat.
- Polarizarea dielectricului se petrece și în cazul dielectricilor cu molecule nepolare, în această situație dipolii moleculari fiind induși chiar de câmpul în care este plasat dielectricul.

Curentul electric:

Curentul electric este mișcarea ordonată a sarcinilor electrice. În mod convențional, curentului electric îi se atribuie un sens, în care se mișcă sarcinile pozitive în câmpul aplicat.

Intensitatea curentului electric este: $I = \frac{dq}{dt}$, unde dq este sarcina electrică ce străbate în timpul dt o secțiune normală a conductorului.

Curentul se măsoară în A (amperi).

Legea lui Ohm (forma integrală):

- Raportul dintre diferența de potențial aplicată la capetele unui condensator și intensitatea curentului care îl străbate este constant, egal cu rezistența conductorului.
- $\frac{V_1 - V_2}{I} = \frac{U}{I} = R$

Legea lui Ohm (forma vectorială):

- Pentru materialele cu rezistivitate constantă, densitatea de curent într-un punct este proporțională cu intensitatea câmpului electric în acel punct.
- $\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E} = \sigma \vec{E}$ unde ρ - rezistivitatea electrică și σ - conductivitatea materialului

Rezistența electrică se măsoară în Ω (ohm).

Rezistența conductorului depinde de natura materialului și de dimensiunile conductorului.

Tensiunea electromotoare ($\mathcal{E} = \frac{L}{q}$) este mărimea fizică egală cu lucrul mecanic efectuat de forțele imprimare pentru deplasarea unității de sarcină pozitivă prin circuit. Ea se măsoară în V.

Tensiunea ($U = \frac{L}{q}$) este mărimea fizică egală cu raportul dintre lucrul mecanic efectuat de toate forțele pentru deplasarea unei sarcini pe o porțiune de circuit.

Energia curentului electric: $W = Uq = UIt$

În cazul în care consumatorul este un rezistor: $W = RI^2t = \frac{U^2}{R} t$

Câmpul magnetic:

Câmpul magnetic se manifestă prin acțiunea pe care o exercită asupra:

- sarcinilor electrice în mișcare
- conductorilor parcurși de curent
- magneților permanenți

Câmpului magnetic se caracterizează printr-o mărime vectorială numită inducție magnetică \vec{B} . Aceasta se măsoară în T (tesla).

Forța Lorentz:

- $\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$
- q – sarcina electrică
- v – viteză
- B – câmpul magnetic

Forța electromagnetică:

- $\vec{F}_m = I\vec{l} \times \vec{B}$
- I - curent
- l – lungimea conductorului
- B – câmpul magnetic

Momentul magnetic:

- $\vec{p}_m = I\vec{S}$
- S – suprafața
- I - curent

Sensul vectorului moment magnetic și al linilor de câmp magnetic se obțin cu regula burghiului.

Sursele câmpului magnetic: Câmpul magnetic este creat de sarcini electrice în mișcare, respectiv de curenți electrici, câmpul creat de magneții permanenți având aceeași origine dacă se ține seama de structura lor microscopică.

Teorema lui Gauss:

- Fluxul inducției magnetice prin orice suprafață închisă este zero.
- fluxul magnetic: $\phi_m = \oint \vec{B} \cdot d\vec{S}$ și se măsoară în Wb

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3}$$

q – sarcina electrică punctiformă

μ_0 – permeabilitatea magnetică a vidului

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r} \text{ pentru un conductor rectiliniu}$$

$$B = \mu_0 \frac{I}{2r} \text{ pentru o spirală}$$

$$B = \mu_0 \frac{NI}{l} \text{ pentru un solenoid}$$

Legea lui Ampere:

- Integrala de-a lungul unei curbe închise a produsului $\oint \vec{B} d\vec{l}$ este egală cu permeabilitatea magnetică a vidului înmulțită cu intensitatea curentului ce trece prin suprafața delimitată de conturul închis.
- $\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I$

Inducția electromagnetică: apariția unei tensiuni electromotoare într-un circuit străbătut de un flux magnetic variabil în timp.

Legea lui Faraday:

- Tensiunea electromotoare indusă într-un circuit este egală cu viteza de variație a fluxului magnetic prin suprafața aceluia circuit, luată cu semn schimbat
- $E = -\frac{d\phi_m}{dt}$

Inductanța circuitului:

- pentru solenoid $L = \mu \frac{N^2 S}{l}$
- $\phi_m = LI$
- inductanța se măsoară în H (henry)

Regula lui Lenz:

- Tensiunea electromotoare indusă și curentul indus au un astfel de sens, încât fluxul magnetic produs de curentul indus să se opună variației fluxului magnetic inductor

Autoinducția:

- Fenomenul de autoinducție constă în apariția unei tensiuni electromotoare într-un circuit, ca urmare a variației intensității curentului electric prin circuit.
- Tensiunea autoindusă într-un circuit este direct proporțională cu viteza de variație a curentului din acel circuit
- $E = -L \frac{dI}{dt}$

Energia câmpului magnetic:

- $W = \frac{1}{2} LI^2$

Densitatea de energie a câmpului magnetic:

- $w = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu_0}$

Magnetizația:

- Magnetizația unui material este mărimea fizică egală cu momentul magnetic al unității de volum.
- $\vec{M} = \frac{\sum \vec{p}_m}{V}$ se măsoară în A/m

Intensitatea câmpului magnetic:

- $\vec{H} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}$ se măsoară în A/m

Substanțele paramagnetice – au susceptivitatea magnetică pozitivă

Substanțele diamagnetice – au susceptivitatea magnetică negativă

Substanțele feromagnetice – au susceptivitatea mult mai mare ca zero

Câmpul electromagnetic = ansamblul câmpurilor electric și magnetic, variabile în timp, care se generează reciproc.

Câmpul electromagnetic este un proces **oscilatoriu** care se propagă din aproape în aproape, având o variație spațio-temporală.

Câmpul electromagnetic se propagă în spațiu sub forma undelor electromagnetice.

VII. Unde electromagnetice:

O perturbație a câmpului electromagnetic se propagă în mediul ambian cu o viteză finită, sub formă de unde electromagnetice.

Pentru a obține undele electromagnetice se realizează un circuit oscilant deschis numit și dipol electric oscilant sau **antena**.

O antena dipol oscilant poate fi construită în diferite moduri în funcție de frecvența de lucru.

Un model care funcționează bine în domeniul radiofrecvențelor este constituit din doi conductori rectilinii coliniari conectați la bornele unei surse de tensiune alternativă.

Sarcinile din dipol, $q \sin \omega t$ și $-q \sin \omega t$, produc un câmp electric peste care se suprapune câmpul generat de variația în timp a câmpului magnetic produs de curentul din dipol.

Prin suprapunerea acestor două câmpuri rezultă, în momentul când curentul în conductor este zero, un câmp electric cu linii de câmp închise.

Acest câmp electric se “desprinde” de dipol și începe să se propage.

În semiperioada următoare, procesul se repetă, dar sensul câmpurilor electric și magnetic este inversat.

Distribuția câmpurilor radiației emise de un dipol electric oscilant este destul de complexă, dar la distanțe mari de dipol vectorii \vec{E} și \vec{B} sunt perpendiculari unul pe celălalt și amândoi sunt perpendiculari pe direcția de propagare a unde, unda electromagnetică este astfel o undă transversală.

Într-o undă electromagnetică, vectorii \vec{v} , \vec{E} și \vec{B} sunt perpendiculari, adică formează un triedru rectangular drept.

Vectorul Poynting:

- semnifică intensitatea energetică
- $\vec{S}_p = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{E} \times \vec{B}$

- unitatea de măsură este W/m^2

Densitatea de energie electromagnetică:

- $$w_{em} = \frac{1}{2}(\epsilon E^2 + \mu H^2)$$

Radiația vizibilă este cuprinsă în domeniul lungimilor de undă 400 nm – 750 nm.

Radiația infraroșie e folosită la fotografia în întuneric, instalații militare, cercetare.

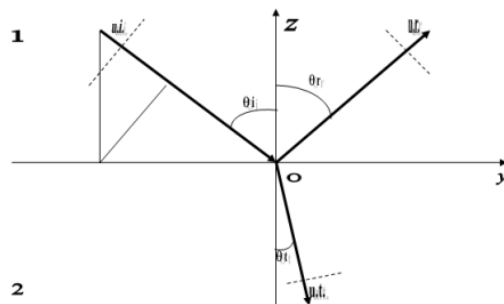
Radiația ultravioletă este generată în Soare, lămpile cu vapor de mercur.

Caracteristicile undelor electromagnetice:

- componenta electrică este de c/v ori mai mare decât cea magnetică
- vectorul câmp electric al undei electromagnetice este cel care determină fenomenele luminoase și de aceea i se spune și vector luminos
- Fenomenele cum sunt reflexia, refracția, interferența, difracția, dispersia, polarizarea – se explică ținând seama de natura ondulatorie electromagnetică a luminii, iar emisia și absorbția luminii – se explică ținând seama de manifestarea corpusculară, fonică a acesteia.

Reflexia și refracția undelor electromagnetice:

- Reflexia reprezintă schimbarea direcției de propagare a undei atunci când, propagându-se printr-un mediu, întâlnește o discontinuitate, fenomen în urma căruia unda se întoarce în mediul inițial.
- Refracția reprezintă schimbarea direcției de propagare a undei atunci când, propagându-se printr-un mediu, întâlnește o discontinuitate, fenomen în urma căruia ea unda nu se mai întoarce în mediul inițial, ci pătrunde în al doilea mediu.



- **Prima lege a reflexiei, respectiv a refracției:** Direcțiile de propagare ale celor trei unde (incidentă, reflectată, transmisă) se găsesc în același plan, numit plan de incidență.
- Indicele de refracție al unui mediu se definește ca raportul dintre viteza undei în vid și viteza undei într-un anumit mediu de propagare. $n = c / v$
- **A doua lege a reflexiei:** Reflexia undelor are loc în așa fel încât unghiul de incidență este egal cu unghiul de reflexie.
- **A doua lege a refracției:** Refracția undelor se face în așa fel încât produsul dintre indicele de refracție și sinusul unghiului de refracție este constant pentru ambele medii.

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$$

Dispersia luminii:

- Fenomenul determinat de dependența indicelui de refracție al mediului de lungimea de undă a luminii se numește dispersie a luminii.
- Fenomenul de dispersie a fost studiat pentru prima oară de către Newton, observând trecerea unui fascicul de lumină albă (naturală) printr-o prismă, având ca rezultat descompunerea luminii în culorile componente: roșu, orange, galben, verde, albastru, indigo, violet.
- Dependența indicelui de refracție de lungimea de undă poate fi redată de relația lui Cauchy: $n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$
- Curcubeul se explică prin combinarea efectelor de dispersie, reflexie și refracție a luminii în picăturile fine de apă din atmosferă.

Legea de absorbție a lui Beer: $I(d) = I(0) \exp\left(-\frac{1}{\delta} d\right)$

Pătrunderea undei electromagnetice în mediul conductor este condiționată atât de pulsația undei, cât și de conductibilitatea materialului conductor.

Interferența luminii:

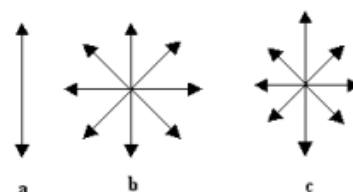
- Dispozitivul lui Young constă dintr-o sursă de lumină monocromatică S urmat de un paravan prevăzut cu două fante dreptunghiulare și paralele S1 și S2 și apoi un ecran pe care se observă interferența.
- **Principiul lui Huygens:** punctele de pe frontul de undă care ating fantele emit noi unde, cele două fante devenind surse coerente.
- Ca rezultat al interferenței, pe ecran vor apărea franje luminoase alternând cu altele întunecoase paralele cu fantele. Distanța dintre două franje luminoase sau întunecoase succesive se numește **interfranță**.
- Aplicații: straturile antireflex, straturile reflectătoare, filtrele interferențiale.

Difracția luminii:

- Fenomenul de difracție constă în deformări ale frontului de undă la întâlnirea obstacolelor și, ca rezultat, undele luminoase pătrund și în domeniul umbrei geometrice.
- **Rețeaua de difracție:** este formată dintr-un ansamblu de N fante identice, paralele și echidistante.
- Distanța dintre două fante succesive se numește **constanta rețelei**.

Polarizarea luminii:

- Fenomenul de polarizare este o caracteristică specifică tuturor undelor transversale.
- Planul ce conține direcția de vibrație a vectorului \vec{E} și direcția de propagare se numește plan de polarizare.
- Unda luminoasă al cărui vector intensitate a câmpului electric este conținut mereu într-un singur plan se numește liniar polarizată. (a)
- Lumina naturală nu conține nici o direcție privilegiată de vibrație, de aceea se numește nepolarizată. (b)
- La trecerea luminii prin anumite medii se constată că anumite direcții de vibrație sunt favorizate față de direcțiile perpendiculare; în acest caz spunem că lumina este parțial polarizată. (c)



- Gradul de polarizare:
 - a) $P = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}$
 - b) pentru lumina naturală: $I_1 = I_2$, $P=0$
 - c) pentru lumina total polarizată: $P=1$
 - d) pentru lumina parțial polarizată: $0 < P < 1$
- Metode de obținere a luminii polarizate:
 - a) prin dicroism (absorbție selectivă) $\longrightarrow I = I_o \cos^2 \alpha$
 - b) prin reflexie *legea lui Malus.*
 - c) prin dublă refracție (birefringență)
 - apariția a două raze care se reflectă pe direcții diferite: una, numită rază ordinară, care respectă legile refracției, iar a doua, deviată se numește rază extraordinară
 - există trei tipuri de birefringență: mecanică, electrică, magnetică
 - birefringența circulară magnetică (efectul Faraday): La substanțe formate din molecule simetrice se poate crea o disimetrie prin plasarea acestora într-un câmp magnetic, ale cărui linii de câmp coincid cu direcția de propagare a luminii polarizate liniar; rotirea planului de polarizare în acest caz constituie efectul Faraday.

Optic izotrope = proprietățile optice sunt independente de direcție sau de starea de polarizare.

VIII. Mecanica cuantică:

Radiația termică:

- Radiația termică reprezintă emisia de energie în mediul ambiant, sub forma undelor electromagnetice, pe care o realizează orice corp, indiferent de temperatura la care se află.
- Această emisie se face pe seama energiei interne a corpului și are loc în mod continuu, pe tot spectrul de lungimi de undă, dar cu intensitate diferită pentru diferite lungimi de undă.
- Radiația termică depinde în mod esențial de temperatura absolută T la care se află corpul.
- Mărimile caracteristice radiației termice sunt:
 - a) Fluxul magnetic radiant integral sau puterea radiantă:
 - reprezintă energia totală emisă de un corp în unitatea de timp
 - $\phi = \frac{dW}{dt}$
 - se măsoară în W
 - b) Fluxul energetic spectral:
 - reprezintă energia emisă sau absorbită de un corp în unitatea de timp, dar numai în intervalul de lungimi de undă $(\lambda, \lambda + \infty)$
 - $\phi_\lambda = \frac{d\phi}{d\lambda}$
 - se măsoară în W/m
 - c) Intensitatea energetică a unei surse punctiforme:
 - reprezintă fluxul de radiație emis în unitatea de unghi solid
 - $I = \frac{d\phi}{d\Omega}$
 - se măsoară în W/sr
 - d) Radianța:
 - reprezintă fluxul energetic emis, în toate direcțiile, de o suprafață oarecare, raportat la unitatea de suprafață
 - $R = \frac{d\phi}{dS}$
 - se măsoară în W/m²
 - e) Radianța spectrală:
 - reprezintă fluxul energetic emis, în toate direcțiile, de o suprafață oarecare, raportat la unitatea de suprafață, dar numai în intervalul infinitesimal de lungimi de undă $(\lambda, \lambda + \infty)$
 - $R_\lambda = \frac{dR}{d\lambda}$
 - f) Densitatea de energie radiată:
 - reprezintă energia electromagnetică medie radiată de un corp, în toate direcțiile, raportată la unitatea de volum
 - $w = \frac{dW}{dV}$
 - se măsoară în J/m³
 - g) Densitatea spectrală de energie radiată:
 - reprezintă energia radiată de un corp, în toate direcțiile, raportată la unitatea de volum, dar numai în intervalul infinitesimal de lungimi de undă $(\lambda, \lambda + \infty)$
 - $w_\lambda = \frac{dw}{d\lambda}$

- Legea lui Wien: $w_\lambda = \frac{1}{\lambda^5} F(\lambda T)$
- Legea lui Stefan-Boltzmann: $R = k\sigma T^4$

Efectul fotoelectric:

- Efectul fotoelectric constă în emisia de electroni de către un metal iradiat cu radiații monocromatice din domeniul ultraviolet (sau din domeniul vizibil, pentru metalele alcaline).
- Legea I: Intensitatea de saturație a curentului fotoelectric este proporțională cu fluxul radiației monocromatice
- Legea a II-a: Energia cinetică a fotoelectronilor extrași este direct proporțională cu frecvența radiației monocromatice și nu depinde de fluxul radiației incidente
- Legea a III-a: Efectul fotoelectric apare doar peste o anumită frecvență de prag ν_p , frecvență care este specifică fiecărui metal
- Legea a IV-a: Efectul fotoelectric se produce într-un timp foarte scurt, încât se poate considera că se produce practic instantaneu.
- Ecuația lui Einstein: $\frac{hc}{\lambda} = L_{ex} + \frac{m_0 V^2}{2}$
- $L_{ex} = h\nu_p$
- m_0 – masa de repaus
- c – viteza luminii în vid

Formule:

- $L_{ex} = \frac{hc}{\lambda_0}$
- $V_{max} = \sqrt{\frac{2hc}{m} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)}$

Lumina are o natură corpusculară.

Efectul Compton:

- Efectul Compton constă în ciocnirea unui foton din domeniul razelor X cu o țintă fixă, în urma căruia o parte din energia fotonului incident este transferată țintei.
- În cadrul efectului Compton se observa conservarea impulsului: $p_{0f} = p_f + m\vec{v}$
- Această relație se poate proiecta pe axele de coordonate:
 - a) Ox: $\frac{h\nu_0}{c} = \frac{h\nu}{c} \cos \theta + mV \cos \varphi$
 - b) Oy: $0 = \frac{h\nu}{c} \sin \theta - mV \sin \varphi$
- În cazul efectului Compton, legea conservării energiei se scrie:

$$h\nu_0 + m_0 c^2 = h\nu + \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$
- Variația lungimii de undă a fotonilor împrăștiați sub unghiul θ față de direcția inițială în procesul de difuzie Compton este: $\Delta\lambda = 2\lambda \sin^2 \frac{\theta}{2}$

- Energia cinetică a electronului de recul este: $E_c = (m - m_0)c^2 = h(\nu - \nu_0)$

Efectele fotoelectric și Compton confirmă faptul că radiația, pe lângă o natură ondulatorie, adică electromagnetică, are și o natură corpusculară (este formată din fotoni).

Dualismul undă-corpusul:

- Se referă la faptul că radiația electromagnetică are o natură duală: ondulatorie și corpusculară.
- Ipoteza lui Broglie: Fiecărei microparticule i se asociază o undă (numită unda de Broglie), care are **lungimea de undă**: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ (se măsoară în m) și, respectiv frecvența: $\nu = \frac{E}{h}$
 - a) m – masa
 - b) p – impulsul
 - c) h – constanta lui Planck
 - d) E – energia corpului
- Viteza de fază a unei monocromatice de Broglie: $V_f = \frac{dr}{dt} = \frac{E}{p} = \frac{mc^2}{mv} = \frac{c^2}{v} > c$ (se opune teoriei relativității)
- Viteza de grup este $V_g = \frac{pc^2}{E} = V = \frac{dr}{dt}$ verifică ipoteza de a asocia unei particule nu o singură undă de Broglie, ci un grup de unde.

Relațiile de nedeterminare a lui Heisenberg:

- $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar$
- $\Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar$
- Acestea accentuează imposibilitatea măsurării exacte a poziției, vitezei și energiei unei particule, instrumentul măsurătorii acționând asupra particulei și modificând sistemul căruia îi aparține
- \hbar - constanta redusă a lui Planck
- Δx – imprecizia poziției
- Δp_x – imprecizia impulsului
- Δt – durata
- ΔE – imprecizia de măsurare a energiei microparticulei

Electronul posedă moment cinetic orbital și moment cinetic propriu.

Momentul de spin / spinul = momentul cinetic propriu al unui electron

IX. Elemente de fizica stării solide:

Corpul solid se manifestă prin două forme / stări de existență:

- starea amorfă (obținută prin răcirea stării lichide a unor corpuri care nu au o
- temperatură de topire bine determinată și care, prin răcire, devin din ce în ce mai vâscoase)
- starea cristalină (prezintă o aranjare a unităților structurale ale sistemului într-o ordine bine definită în cele 3 dimensiuni spațiale; această așezare ordinară are loc în cadrul unui grup limitat de unități structurale, care se numește structură cristalină sau celulă elementară, cât și pe domenii mai extinse)

Rețeaua cristalină este o abstracție matematică de puncte așezate periodic în spațiu.

Energia maximă pe care o au electronii la 0K în groapa de potențial se numește energie Fermi.

Nivelul Fermi separă, la $T = 0K$, stările complet ocupate de electroni de stările complet libere.

Mobilitatea electronilor:

- reprezintă raportul modulelor vitezei de drift și a intensității câmpului electric exterior
- $\mu = \frac{v_d}{E}$
- se măsoară în $\frac{m^2}{Vs}$

Formarea benzilor de energie:

- Între atomii constituenți ai corpurilor solide, cristaline sau amorse, se exercită forțe de atracție sau de respingere, forțe care se găsesc în stare de echilibru pentru o anumită distanță de echilibru caracteristică fiecărei substanțe.
- Forțele de interacțiune dintre atomii solidelor determină trei tipuri de legături: legătura ionică, covalentă și metalică.
- **Le cristalele ionice**, punctele nodale ale rețelei cristaline sunt ocupate alternant de ioni ai elementelor puternic electronegative, respectiv puternic electropozitive.
- Fiecare cation stabilește forțe de atracție cu toți anionii rețelei și forțe de respingere cu ceilalți cationi.
- **Legătura covalentă** se realizează prin forțe de interacțiune numite forțe de schimb.
- Diamantul este prototipul rețelei atomice cu legături covalente.
- Legătura covalentă este specifică cristalelor semiconductoare.
- La cristalele covalente sarcina electrică este localizată în legături, iar acestea sunt orientate în spațiu și sunt puternice.
- **În legătura metalică**, electronii liberi provin din electronii de valență și sunt localizați în legături, ca la cristalele covalente, sau legați în ioni, ca la cristalele ionice.
- Legătura Van de Waals – între moleculele neutre există forțe de atracție slabe.
- Prin examinarea interacțiunii dintre doi atomi învecinați se poate explica formarea benzilor de energie.
- Cauza ce determină apariția benzilor de energie permisă este interacțiunea dintre electronii diferiților atomi, a cărei intensitate crește odată cu apropierea atomilor.
- Benzile de energie permisă sunt separate prin benzi de energie interzisă.

Clasificarea corpurilor solide din punct de vedere al structurii de benzi:

- **bandă de valență (BV)** sau bandă fundamentală: este banda de energie permisă ocupată (parțial sau total) de electroni de valență
- **banda interzisă (BI)**
- **banda de conducție (BC):** banda de energie permisă, care e situată desupra benzi interzise
- Din analiza structurii și a lărgimii benzilor energetice permise și interzise, corpurile se împart în: conductori, semiconductori și izolatori

Semiconductorii pot fi:

- semiconductori intrinseci (fără impurități), a căror conducție electrică se datorează doar trecerii electronilor din BV în BC
- semiconductori extrinseci (cu impurități), la care conducția electrică se datorează, în plus, și unui număr foarte mic de atomi străini

Semiconductorii intrinseci:

- La temperaturi scăzute, toți electronii sunt atașați de atomii de care aparțin.
- Atomii în rețeaua cristalină sunt legați prin legături covalente, nu există electroni liberi, la $T=0$.
- Dacă temperatura crește, datorită agitației termice, o parte din legături slăbesc și unii electroni pot trece din BV în BC, având energie suficientă să treacă peste banda interzisă (BI).
- Prin plecarea unui electron, în locul lui rămâne un gol.
- Deoarece în ansamblu materialul semiconductor este neutru, golul din legătura chimică se manifestă ca o sarcină electrică pozitivă, egală în valoare cu sarcina electronului.
- Alături de fenomenul de generare a gurilor, prin trecerea unui electron din BV în BC, există și fenomenul invers, de dispariție al acestora, adică de recombinare a electronilor cu gurile, prin trecerea electronilor din BC în BV.
- La semiconductorul intrinsec concentrațiile purtătorilor sunt egale: $n=p$
- $\sigma_0 = e \cdot n_0 (\mu_e + \mu_g)$ - conductivitatea inițială a semiconductorului, n – concentrația, μ - mobilitatea
- La semiconductoare rezistivitatea depinde de temperatură conform legii:
$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \rho_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{2kT}\right)$$

Semiconductorii extrinseci:

- În funcție de raportul dintre valența dopantului și valența semiconductorului de bază se pot deosebi:
 - a) semiconductori de tip n, dacă $v_{\text{dop}} > v_{\text{baza}}$, de tip donor
 - b) semiconductori de tip p, dacă $v_{\text{dop}} < v_{\text{baza}}$, de tip acceptor
- În semiconductorii extrinseci dopați cu impurități acceptoare, purtătorii majoritari de sarcină sunt gurile din BV datorate impurităților acceptoare și a celor creați prin trecerea electronilor semiconductorului de bază din BV în BC. Purtătorii minoritari sunt electronii semiconductorului de bază trecuți din BV în BC.
- În semiconductorii dopați cu impurități donoare, purtătorii de sarcină sunt electronii, de aceea semiconductorii aceștia extrinseci se numesc de tip n. Purtătorii majoritari sunt electronii, iar purtătorii minoritari - gurile, create de electronii semiconductorului de bază.

Joncțiunea p-n:

- Joncțiunea p-n este zona de trecere de la semiconductorul p la semiconductorul n în aceeași rețea cristalină.
- Joncțiunea este polarizată direct dacă zona p a acesteia se conectează la polul pozitiv al sursei iar zona n la polul negativ.

- Joncțiunea este polarizată invers dacă zona p a acesteia se conectează la polul negativ al sursei iar zona n la polul pozitiv.
- Curentul prin joncțiunea polarizată invers este foarte mic și la creșterea tensiunii tinde spre o valoare de saturație numit **curent invers de saturație** I_s .

Dioda electroluminiscentă (LED) este o joncțiune p-n care emite lumină.

Ecuatia caracteristică a diodei ideale:

- $I = I_s \left[\exp\left(\frac{eU}{mkT}\right) - 1 \right]$
- I_s – curentul invers de saturație
- T – temperatura
- k – constanta Boltzmann
- U – tensiunea la bornele diodei
- m – coeficient dependent de natura chimică a diodei și de modul de preparare al joncțiunii
- e – constanta lui Euler
- I – curentul prin diodă, măsurat în Amperi

Efectul fotovoltaic:

- Efectul fotovoltaic este fenomenul fizic în care semiconductorul absoarbe fotoni ai radiației cu care este iluminat, și crează perechi electron-gol.
- Perechile create în joncțiune sau destul de aproape de ea, sunt separate de câmpul electric al joncțiunii, care împinge electronii spre regiunea n și golurile spre regiunea p.
- Astfel, apare o tensiune electromotoare.
- Condiția este ca energia fotonilor să fie mai mare ca lărgimea benzii interzise, pentru a facilita saltul.

Efectul Seebeck:

- Efectul Seebeck constă în generarea unei tensiuni electromotoare între sudurile a două metale diferite sau două semiconductoare diferite sau un metal și un semiconductor când sudurile se află la temperaturi diferite.
- Tensiunea electromotoare: $\varphi = \alpha \Delta T$, unde α este coeficientul termoelectric

Efectul Peltier:

- Efectul Peltier se produce dacă prin circuitul închis a două fire de natură chimică diferită trece un curent electric continuu și constă în încălzirea unei suduri și răcirea celeilalte.
- Este efect opus efectului Seebeck.