

CURS 1

INTRODUCERE IN FIZICA

1.1 Fizica și ingineria

Fizica (*physis* = *natura*, l.greacă) studiază structura și proprietățile materiei.

Materia este o categorie filozofică prin care este desemnată realitatea obiectivă, ce există independent de conștiința umană și reflectată adecvat de aceasta; materia are *două forme de existență*:

- **a. substanța** – alcătuită din particule elementare cu masa de repaus nenulă
- **b. câmpul** - alcătuit din particule elementare cu masa de repaus nulă.

Proprietatea esențială a materiei este **mișcarea**.

Fizica este una dintre **științele naturii** alături de chimie și biologie. Ea operează cu **modele** și **teorii**.

Model fizic - Pentru elaborarea modelelor care descriu fenomenelor fizice, fizica se bazează pe acumularea de date experimentale, corelarea acestora, elaborarea de formule și legi care descriu relațiile dintre mărimile fizice implicate în fenomenul studiat. Cu ajutorul modelelor se pot realiza predicții care pot fi corelate la rândul lor cu observații sau experimente ulterioare.

Teorie fizică-un model fizic acceptat. O teorie nu este niciodată complet dovedită.

Metoda științifică de studiu utilizată de fizică constă în încercarea sistematică de a construi teorii ce corelează dovezi evidente legate de fenomenele observate; sunt urmate etapele:

- înregistrarea sistematică a datelor experimentale
- elaborarea unor formule și legi care stabilesc relațiile dintre mărimile măsurate;
- dezvoltarea principiilor generale care guvernează domenii foarte largi ale fenomenelor studiate.

Ingineria este o știință aplicată \Rightarrow utilizează rezultatele cercetărilor obținute de științele naturii pentru elaborarea unor tehnologii în vederea realizării unor produse la scară industrială.

Fizica este o **știință cantitativă** bazată pe *definirea* corectă a mărimilor fizice, realizarea de *experimente* și *măsurători* precise asupra lor și stabilirea de *relații numerice* între valorile mărimilor fizice măsurate.

1.2 Mărimi fizice. Unități de măsură

Mărimile fizice se clasifică în:

-**mărimi fundamentale**- exprimate cu ajutorul *unităților de măsură fundamentale*, alese arbitrar;

-**mărimi derivate** -toate celelalte mărimi fizice pot fi definite pe baza mărimilor fundamentale și se numesc *mărimi derivate*.

Cel mai răspândit sistem de unități de măsură este Sistemul Internațional (SI) în care mărimile fizice fundamentale sunt:

- lungimea, masa și timpul** - mecanica(*metru, kilogram și secundă*)
- temperaturii** – termodinamica (*grad Kelvin*)
- intensitatea curentului** – electricitate (*amper*)

- cantitatea de substanță (molul)
- intensitatea luminoasă (candela)

Tabel 1.1 Mărimi fizice fundamentale ale unităților din SI.

<i>Mărime fizică</i>	<i>Unitate de măsură [SI]</i>	<i>Simbol</i>
Lungimea	metru	m
Masa	kilogram	kg
Timp	secundă	s
Temperatura	kelvin	K
Intensitatea curentului	amper	A
Intensitatea luminoasă	candela	cd
Cantitatea de substanță	mol	mol

În prezent, în știință și în inginerie sunt folosite trei sisteme importante de unități de măsură:

- *sistemul metru – kilogram – secundă (sistemul MKS sau Sistemul International, SI)*
- *sistemul centimetru – gram – secundă (sistemul CGS sau sistemul Gaussian)*
- *sistemul foot-pound-second (picior – livră – secundă în limba engleză (sistemul FPS sau British Engineering System, prescurtat uneori BS sau BU - British units).*

Tabel 1.2 Prefixe pentru multiplii și submultiplii unităților de măsură.

<i>Multiplu</i>	<i>Prefix</i>	<i>Simbol</i>
10^{18}	exa	E
10^{15}	penta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10^1	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

Aceste prefixe pot fi aplicate unităților de măsură ale oricărei mărimi fizice din SI.

1.3 Vectori și scalari

Mărimile fizice se clasifică în:

- *mărimi scalare (scalari)*
- *mărimi vectoriale (vectori)*

Reprezentarea unui vector se poate face folosind- **metoda grafică**
-**metoda analitică**

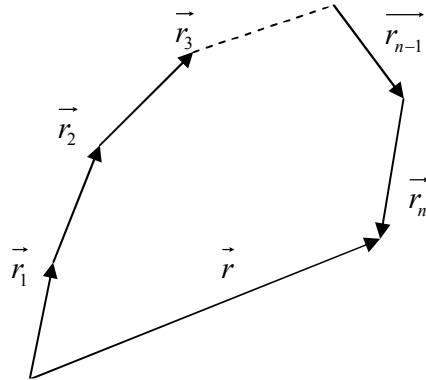


Fig.1.1 Adunarea vectorilor (metoda conturului poligonal).

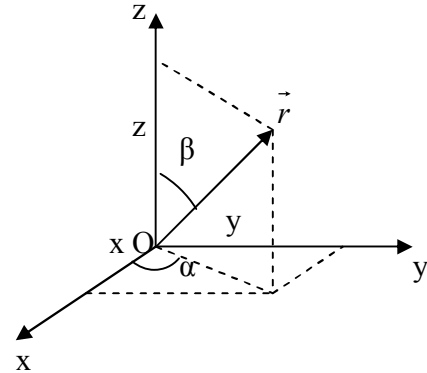


Fig.1.2 Componentele unui vector.

Ducem linii perpendiculare din vârful vectorului pe fiecare dintre axe și obținem cantitățile \vec{r}_x , \vec{r}_y și \vec{r}_z , numite **componentele vectorului**. Procesul se numește **descompunerea vectorului** în componentele sale.

Expresia analitică a vectorului \vec{r} este

$$\vec{r} = r_x \vec{i} + r_y \vec{j} + r_z \vec{k} \quad (1.1)$$

unde \vec{i} , \vec{j} și \vec{k} sunt **vectorii unitate (versorii)** axelor Ox, Oy, Oz.

Din figura 1.2. observăm că cele trei componente ale vectorului \vec{r} sunt

$$\begin{aligned} r_x &= r \cdot \cos \alpha \sin \beta \\ r_y &= r \cdot \sin \alpha \sin \beta \\ r_z &= r \cdot \cos \beta \end{aligned} \quad (1.2)$$

unde r este **mărimea (modulul)** vectorului

$$r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + r_z^2} \quad (1.3)$$

Adunarea mai multor vectori folosind metoda analitică:

-se descompune fiecare vector în componentele sale într-un sistem de coordonate dat

-se însumează algebric componentele individuale de-a lungul unei axe particulare și se obține componenta vectorului sumă de-a lungul acelei axe.

Fie vectorii

$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k} \quad (1.4)$$

$$\vec{b} = b_x \vec{i} + b_y \vec{j} + b_z \vec{k} \quad (1.5)$$

Suma lor va este

$$\vec{s} = (a_x + b_x) \vec{i} + (a_y + b_y) \vec{j} + (a_z + b_z) \vec{k} \quad (1.6)$$

Înmulțirea unui vector cu un scalar - rezultă un vector ale cărui componente sunt produsele dintre componentele vectorului inițial și scalarul dat.

Produsul scalar a doi vectori \vec{a} și \vec{b} este definit

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cos \alpha \quad (1.7)$$

unde a și b sunt modulele vectorilor \vec{a} și \vec{b} , iar α este unghiul dintre cei doi vectori (Fig. 1.3). Produsul scalar a doi vectori este un scalar.

Dacă vectorii au componentele $\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$, respectiv $\vec{b} = b_x \vec{i} + b_y \vec{j} + b_z \vec{k}$, atunci produsul lor scalar va fi

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z \quad (1.8)$$

Produsul vectorial a doi vectori este un vector (Fig. 1.3)

$$\vec{a} \times \vec{b} = \vec{c} \quad (1.9)$$

unde β este unghiul dintre vectorii \vec{a} și \vec{b} . Vectorul rezultat \vec{c} are:

- modulul $c = a \cdot b \cdot \sin \beta$
- direcția perpendiculară pe planul format de \vec{a} și \vec{b}
- sensul dat de deplasarea unui șurub așezat paralel cu \vec{c} (regula burghiului) care se rotește de la \vec{a} la \vec{b} pe drumul cel mai scurt.

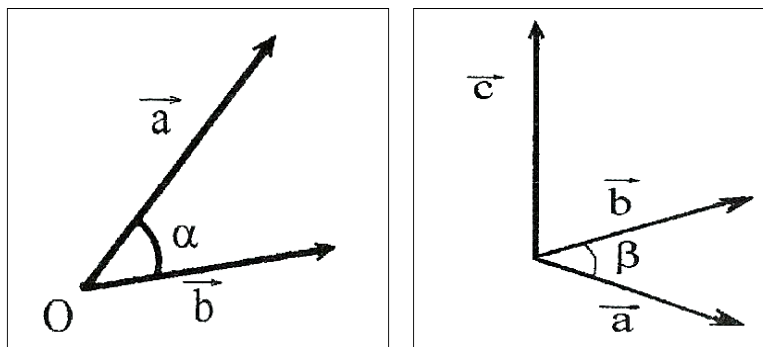


Fig.1.3 Produsul scalar respectiv vectorial a doi vectori

Rezultatul produsului scalar se exprima analitic sub forma determinantului

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = (a_y b_z - a_z b_y) \vec{i} + (a_z b_x - a_x b_z) \vec{j} + (a_x b_y - a_y b_x) \vec{k} \quad (1.10)$$

Există multe mărimi fizice vectoriale definite ca produs vectorial: momentul forței ($\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$), momentul cinetic ($\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$), etc.

MECANICA

1.4 Cinematica punctului material. Mișcarea de translație.

Cea mai veche dintre ramurile fizicii este **mecanica** - studiază mișcarea obiectelor.
- **cinematica**-studiaza mișcarea fără a analiza cauzele sale

- **dinamica** corelează caracteristicile mișcării cu forțele care o determină și cu proprietățile inerțiale ale obiectelor aflate în mișcare
- **statica** se ocupă cu studiul echilibrului corpurilor sub acțiunea forțelor ce acționează asupra lor.

Pentru a simplifica descrierea mișcării obiectelor ale căror dimensiuni și forme nu influențează mișcarea se utilizează noțiunea de **punct material** (un punct matematic ce este caracterizat numai de poziția și masa sa).

Poziția unui punct material este indicată prin **vectorul de poziție**, \vec{r} , (fig.1.4) definit ca vectorul ce unește originea sistemului de axe de coordonate cu punctul material și are expresia

$$\vec{r} = x \cdot \vec{i} + y \cdot \vec{j} + z \cdot \vec{k} \quad (1.11)$$

unde componentele vectorului de poziție (x, y, z) sunt coordonatele punctului material pe cele trei axe.

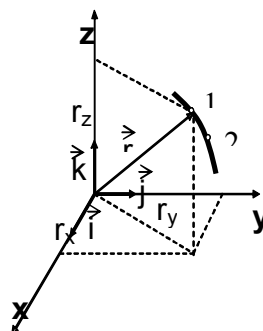


Fig.1.4 Traectoria unui punct material.

Pentru a descrie mișcarea unei particule se utilizează noțiunile: vector de poziție (\vec{r}), viteză (\vec{v}) și accelerație (\vec{a}).

Viteza unui obiect reprezintă raportul dintre distanța parcursă de acel obiect și durata deplasării sale. Viteza este o mărime fizică vectorială.

Definim vectorul deplasare al punctului material (din punctul 1 în punctul 2), $\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$. Considerăm că la momentul t_1 , particula se află în punctul 1 având poziția precizată de vectorul de poziție \vec{r}_1 , iar la momentul t_2 , particula se află la punctul 2, poziția sa fiind dată de \vec{r}_2 .

Viteză medie a punctului material în intervalul de timp $\Delta t = t_2 - t_1$, se definește

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{t_2 - t_1} \quad (1.12)$$

Viteza instantanee se definește

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} + \frac{dz}{dt} \vec{k} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k} \quad (1.13)$$

Vectorul viteză \vec{v} este tangent la traiectoria punctului material.

Dacă vectorul viteză al punctului material se schimbă în timpul mișcării, se spune că punctul material are o **accelerație**.

Accelerația medie a punctului material este o mărime fizică vectorială care se definește prin variația vitezei raportată la intervalul de timp în care se produce ea

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} \quad (1.14)$$

Accelerația instantanee se definește

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt} \vec{i} + \frac{dv_y}{dt} \vec{j} + \frac{dv_z}{dt} \vec{k} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k} \quad (1.15)$$

unde $a_x = d^2x/dt^2$, $a_y = d^2y/dt^2$, $a_z = d^2z/dt^2$.

Dacă se cunoaște evoluția în timp a vectorului de poziție \vec{r} , putem obține prin derivarea sa în raport cu timpul, viteza și accelerația punctului material în fiecare moment al mișcării. Invers, dacă cunoaștem accelerația unui punct material, determinăm viteza sa cu relația

$$\vec{v} = \int \vec{a} dt \quad (1.16)$$

iar vectorul de poziție (ecuația de mișcare a punctului material) cu relația

$$\vec{r} = \int \vec{v} dt \quad (1.17)$$

Componentele vectorului viteză și ecuațiile cinematice ale mișcării sunt

$$\begin{aligned} v_x &= \int a_x dt, \quad v_y = \int a_y dt, \quad v_z = \int a_z dt \\ x &= \int v_x dt, \quad y = \int v_y dt, \quad z = \int v_z dt \end{aligned} \quad (1.18)$$

Pentru componenta după axa Ox a mișcării avem

$$\begin{aligned} v_x &= \int a_x dt = a_x t + v_{ox} \\ x &= \int v_x dt = \frac{t^2 a_x}{2} + v_{ox} t + x_0 \end{aligned} \quad (1.19)$$

Se pot scrie ecuații similare pentru componentele mișcării după axele Oy și Oz .

Pentru a determina în mod complet viteza și poziția punctului material la fiecare moment, este necesar să cunoaștem condițiile inițiale ale mișcării, adică constantele a_{0x} , a_{0y} , a_{0z} , v_{0x} , v_{0y} , v_{0z} , x_0 , y_0 și z_0 sau limitele de integrare pentru ecuațiile 1.16 și 1.17.

1.5 Operatorii fizici

Operator - o expresie matematică ce se aplică asupra unei funcții indicând un șir de operații ce trebuie efectuate cu funcția respectivă.

Dacă operatorul se aplică pe o funcție ce reprezintă o mărime fizică, el se numește **operator fizic** și are și o semnificație fizică bine determinată.

Am utilizat deja operatori fizici fără ca să-i menționăm ca atare deoarece semnificația lor fizică era simplă: operatorii de derivare sau de integrare în raport cu timpul sau cu variabilele de poziție.

În continuare vom discuta câțiva operatori fizici mai importanți.

a. Gradientul

Gradientul este un operator fizic care constă din operatorul matematic nabla, ∇ , aplicat asupra unei mărimi fizice scalare.

Operatorul nabla are expresia

$$\nabla \dots = \frac{d \dots}{d \vec{r}} = \frac{d \dots}{dr} \cdot \frac{\vec{r}}{r} = \frac{\partial \dots}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \dots}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \dots}{\partial z} \vec{k} \quad (1.20)$$

asemănătoare cu aceea a unui vector. Aplicat asupra unei mărimi fizice scalare M conduce la

$$\text{grad } M = \nabla M = \frac{dM}{d\vec{r}} = \frac{dM}{dr} \cdot \frac{\vec{r}}{r} = \frac{\partial M}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial M}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial M}{\partial z} \vec{k} \quad (1.21)$$

$\text{Grad } M$ este un vector.

Gradientului unei mărimi fizice M indica direcția variației maxime a acelei mărimi fizice. Existența gradientului unei mărimi fizice într-un domeniu din spațiu determină un fenomen de transport:

- gradientul temperaturii determină un transport de căldură, din regiunea cu temperatura ridicată în regiunea cu temperatura scăzută;

- gradientul concentrației determină un transport de substanță din regiunea cu concentrație mai ridicată în regiunea cu concentrație mai coborâtă;

b.Divergența

Operatorul divergență constă din operatorul matematic nabla aplicat asupra unei mărimi fizice vectoriale \vec{A} printr-un produs scalar.

Divergența vectorului \vec{A} (unde $\vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k}$) este

$$\text{div} \vec{A} = \nabla \cdot \vec{A} = \left(\frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} \right) \cdot (A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k}) = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z} \quad (1.22)$$

Divergența unei mărimi fizice vectoriale este un scalar.

Dacă divergența unei mărimi fizice este diferită de zero, liniile de câmp ale acelei mărimi fizice sunt dispersive, adică se împrăștie, iar dacă este egală cu zero, liniile de câmp vor fi rotaționale, adică vor fi curbe închise.

Produsul scalar al vectorului nabla (∇) cu el însuși este operatorul nabla pătrat (∇^2)

$$\nabla^2 = \nabla \cdot \nabla = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} = \Delta \quad (1.23)$$

Acest operator se numește operatorul lui Laplace (operatorul laplacean sau pur și simplu laplacean) notat Δ .

c.Rotorul

Operatorul rotor constă din operatorul matematic nabla aplicat asupra unei mărimi fizice vectoriale \vec{A} printr-un produs vectorial. Rotorul vectorului \vec{A} este

$$\text{rot} \vec{A} = \nabla \times \vec{A} = \left(\frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} \right) \times (A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k}) \quad (1.24)$$

$$\nabla \times \vec{A} = \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) \vec{i} + \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) \vec{j} + \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) \vec{k} \quad (1.25)$$

Rotorul unei mărimi fizice vectoriale este un vector.

Dacă rotorul unei mărimi fizice este diferit de zero, liniile de câmp ale acelei mărimi fizice sunt rotaționale (vor fi curbe închise), iar dacă este egal cu zero, liniile de câmp se împrăștie (sunt dispersive).

Utilizarea operatorilor divergență și rotor este importantă în teoria câmpurilor (electrice, magnetice, gravitaționale).

1.6 Dinamica punctului material

Dinamica punctului material studiază cauzele mișcării punctului material.

Newton a pus bazele dinamicii clasice prin formularea celor trei principii (legi) cunoscute sub denumirea de „*legile lui Newton*” sau „principiile dinamicii”.

Principiul I al dinamicii (principiul inerției): Un corp își păstrează starea de mișcare rectilinie și uniformă sau de repaus relativ atâta vreme cât asupra sa nu acționează o forță externă.

Inerția=proprietatea corpurilor de a se opune schimbării stării lor. Cu cât masa corpului este mai mare, cu atât inerția lui este mai mare \rightarrow masa este o măsură a inerției.

Principiul II al dinamicii: Accelerația unui corp este direct proporțională cu forța externă care acționează asupra sa și invers proporțională cu masa sa

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (1.26)$$

În mecanica newtoniană (clasică) nu se ține cont de efectele relativiste (modificarea masei în funcție de viteza corpului) → ecuația (1.26) se poate scrie

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (1.27)$$

Relația (1.27) arată că forța este derivata impulsului în raport cu timpul și constituie cea mai generală definiție a forței. În SI unitatea de măsură pentru masa inerțială este kilogramul, iar pentru forță este newtonul (1N = forța care imprimă o $a = 1 \text{ m/s}^2$ unui corp cu $m = 1 \text{ kg}$)

$$[F] = [m] \cdot [a] = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N} \quad (1.28)$$

Principiul III al dinamicii (principiul acțiunii și reacțiunii): Dacă un corp A exercită o forță asupra corpului B, atunci și corpul B acționează asupra corpului A cu o forță egală în modul și de sens contrar.

Observație importantă: forțele de acțiune–reacțiune se exercită pe obiecte diferite și deci nu pot fi în echilibru.

La cele trei principii menționate au fost adăugate ulterior alte două:

Principiul IV al dinamicii (principiul suprapunerii forțelor): Mai multe forțe care acționează asupra aceluiași corp, acționează independent producând fiecare dintre ele propriul său efect.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots}{m} = \frac{\vec{F}_1}{m} + \frac{\vec{F}_2}{m} + \dots = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \dots \quad (1.29)$$

Principiul V al dinamicii (principiul relativității): Starea de mișcare și de repaus ale unui corp sunt relative depinzând de starea sistemului de referință considerat.

Un exemplu cunoscut este acela al unui călător ce stă pe culoarul unui tren aflat în mișcare. Călătorul este în mișcare față de decor, dar se află în repaus față de tren.