1. MĂRIMI FIZICE. UNITĂŢI DE MĂSURĂ

A. MĂRIME FIZICĂ

Descrierea şi explicarea fenomenelor trebuie să fie atât calitativă cât şi cantitativă, iar cantitatea se determină numai prin măsurare.

Experienţa ne arată că unele proprietăţi ale corpurilor sau fenomenelor sunt măsurabile în timp ce altele nu. De exemplu: întinderea spaţială a unui corp, durata producerii unui fenomen, starea de încălzire a unui sistem, sunt proprietăţi ce pot fi măsurate. Proprietăţi cum sunt mirosul sau gustul nu pot fi măsurate. Astfel de proprietăţi se pot deosebi, dar nu se pot compara.

DEFINIŢIE. Orice proprietate măsurabilă a unui corp sau fenomen determină o ***mărime fizică*.**

B. MĂSURAREA MĂRIMILOR FIZICE

Măsurarea implică două operaţii:
- alegerea unităţii de măsură
- compararea unităţii de măsură cu mărimea ce se măsoară.

Exemplu. Lungimea unei mese poate fi măsurată cu un băţ, observând de câte ori lungimea băţului se cuprinde în lungimea mesei. Rezultatul măsurătorii este, să zicem, L = 3,5 beţe. Acest rezultat nu reprezintă nimic pentru o persoană care nu a văzut băţul respectiv.

Pentru ca rezultatul măsurătorii efectuate să aibă semnificaţie pentru toţi cei interesaţi, aceştia trebuie să hotărască în prealabil asupra lungimii băţului. Astfel, lungimea băţului poate deveni unitate de măsură.

DEFINIŢIE. ***A măsura*** înseamnă a compara experimental mărimea fizică dată cu o mărime fizică de acelaşi fel care a fost aleasă drept ***unitate de măsură****.*

Măsurarea diferitelor mărimi fizice se poate efectua: a) direct; b) indirect.

a) *Măsurarea directă.* În exemplul de mai sus, lungimea mesei s-a putut măsura direct, prin compararea ei cu unitatea de lungime. Aşadar, lungimile corpurilor sau distanţele dintre corpuri pot fi măsurate direct prin compararea lor cu unitatea de lungime. Şi alte mărimi fizice cum ar fi: durata unui eveniment, masa unui corp, temperatura unui sistem pot fi măsurate direct prin compararea lor cu unităţile de măsură corespunzătoare.

b) Măsurarea indirectă. Dacă dorim să măsurăm densitatea unui corp, nu comparăm direct densitatea corpului cu unitatea de densitate 1 kg/m^3, ci comparăm mai întâi masa corpului cu unitatea de masă, apoi volumul cu unitatea de volum şi în final determinăm densitatea prin calcul. De exemplu, dacă masa corpului este $m = 0{,}5\,\mathrm{kg}$ şi volumul acestuia este $V = 0{,}5\,\mathrm{L}$, atunci densitatea lui va fi: $\rho = 10^3\,\mathrm{kg/m^3}$.

Majoritatea mărimilor fizice se măsoară indirect.

OBSERVAŢIE. Orice măsurare fizică este întotdeauna un proces de interacţiune între obiectul măsurat şi instrumentele de măsură, proces care poate modifica sau nu starea obiectului măsurat.

CONCLUZIE. Pentru măsurarea mărimilor fizice se definesc, prin convenţie, unităţi de măsură de aceeaşi natură cu mărimile de măsurat.

În afară de stabilirea unităţii de măsură, pentru măsurarea unei mărimi fizice trebuie să se indice un *instrument de măsură* şi un *procedeu de măsurare*.

C. MĂRIMI FIZICE FUNDAMENTALE ŞI DERIVATE

DEFINIŢIE:

Mărimile fizice ale căror unităţi de măsură au fost definite riguros şi prin intermediul cărora se exprimă unităţile de măsură ale tuturor celorlalte mărimi fizice se numesc ***mărimi fizice fundamentale***.

Mărimile fizice ale căror unităţi de măsură se exprimă cu ajutorul unităţilor de măsură ale mărimilor fizice fundamentale se numesc ***mărimi fizice derivate***.

Unităţile de măsură ale mărimilor fizice fundamentale se numesc ***unităţi de măsură fundamentale***.

Unităţile de măsură ale mărimilor fizice derivate se numesc ***unităţi de măsură derivate***.

Nu există vreo lege a naturii care să ne impună alegerea anumitor mărimi drept fundamentale sau să indice numărul acestora. Dar, pentru unităţile de măsură fundamentale se stabilesc definiţii şi etaloane care să satisfacă o serie de condiţii:

- să poată fi reconstituite;
- să permită o variaţie minimă faţă de influenţele factorilor externi;
- să poată fi folosite în tehnica măsurării;
- să fie construite din materiale care nu suferă în timp modificări fizico–chimice.

2. SISTEME DE UNITĂŢI

DEFINIŢIE. Mărimile fundamentale alese şi unităţile lor de măsură determină ***sistemul de unităţi de măsură***.

În anul 1960, la Paris, la Conferinţa Generală de Mărimi şi Greutăţi a fost adoptat ***Sistemul Internaţional de Unităţi*** (SI). În SI există şapte unităţi de măsură fundamentale, dintre care primele trei intervin în mecanică şi în toată fizica, celelalte unităţi fiind alese pentru fiecare domeniu fundamental al fizicii.

1. Unitatea de lungime: ***metru (m)***
2. Unitatea de timp: ***secundă (s)***.
3. Unitatea de masă: ***kilogram (kg)***.
4. Unitatea de temperatură termodinamică: ***Kelvin* (K)**. $\theta({}^{0}C) = T(K) - 273{,}15$
5. Unitatea de cantitate de substanţă: ***kilomol (kmol)***.
6. Unitatea de curent electric: ***amper (A)***.
7. Unitatea de intensitate luminoasă: ***candela (cd)***.

În tabelul de mai jos sunt specificate cele 7 mărimi fizice şi unităţi de măsură fundamentale SI cu simbolurile lor :

Nr. crt.	Mărimea fizică	Simbolul mărimii fizice	Unitatea de măsură SI	Simbolul unităţii de măsură
1.	Lungime	L, l, λ	metru	m
2.	Timpul	T, t, τ	secundă	s
3.	Masa	M, m, μ	kilogram	kg
4.	Temperatura	T, θ	Kelvin	K
5.	Cantitatea de substanţă	ν	kilomol	kmol
6.	Intensitatea curentului electric	I, i	amper	A
7.	Intensitatea luminoasă	I	candela	cd

OBSERVAŢII:

- Fiecărei mărimi fizice îi corespunde o singură unitate de măsură în SI.
- Aceeaşi denumire a unei unităţi SI poate corespunde mai multor mărimi fizice diferite.

Având în vedere varietatea mărimilor fizice care trebuie măsurate, când se fac măsurători se utilizează un sistem de multipli şi submultipli. Pentru multiplii şi submultiplii diferitelor unităţi se folosesc următoarele prefixe :

Multipli		unităţi	Submultipli		unităţi
deca	da	10	deci	d	10^{-1}
hecto	h	10^2	centi	c	10^{-2}
kilo	k	10^3	mili	m	10^{-3}
mega	M	10^6	micro	μ	10^{-6}
giga	G	10^9	nano	n	10^{-9}
tera	T	10^{12}	pico	p	10^{-12}
peta	P	10^{15}	femto	f	10^{-15}
exa	E	10^{18}	atto	a	10^{-18}

Multiplii secundei:
- minutul (min) : 1 min = 60 s;
- ora (h): 1 h = 60 min = 3600 s;

Multiplii kilogramului:
- chintalul (q): 1 q = 100 kg = 10^2 kg;
- tona (t) : 1 t = 1000 kg = 10^3 kg.

În practică pentru kilogram se utilizează curent următorii submultipli:
- gramul (g): 1 g = 0,001 kg = 10^{-3} kg;
- miligramul (mg): 1 mg = 0,000001 kg = 10^{-6} kg.

3. MĂRIMI SCALARE. MĂRIMI VECTORIALE. VECTORI

Există două tipuri de mărimi fizice:
- mărimi scalare
- mărimi vectoriale

DEFINIŢIE. ***Mărimile scalare*** sunt acele mărimi fizice pe care le putem caracteriza complet precizând numai valoarea lor (numărul care rezultă atunci când le comparăm cu mărimea etalon).

Exemple *de mărimi fizice scalare*: masa, timpul, densitatea, energia, temperatura, intensitatea curentului electric, intensitatea luminoasă etc.

DEFINIŢIE. ***Mărimile vectoriale*** sunt acele mărimi fizice pe care le putem caracteriza complet numai dacă, pe lângă valoarea numerică mai precizăm şi orientarea lor (direcţia şi sensul).

Exemple *de mărimi vectoriale* : forţa, impulsul, momentul forţei, momentul cinetic, intensitatea câmpului gravitaţional (electric, magnetic) etc.

Fiecărei mărimi fizice vectoriale i se asociază un vector.

Vectorul este un segment de dreaptă orientat caracterizat de următoarele elemente (fig.1):
- *direcţia vectorului* – reprezentată de orientarea în spaţiu a dreptei xx'
- *originea vectorului sau punctul de aplicaţie al vectorului* punctul *O*
- *sensul vectorului* – precizat prin săgeata ataşată la vârf.
- *vârful sau extremitatea vectorului* – punctul *V*
- *modulul vectorului* – precizat de măsura segmentului *OV*

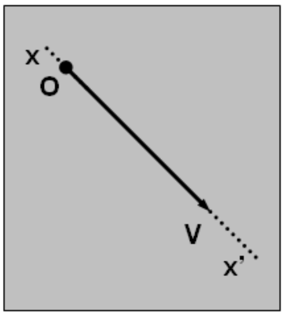


Fig.1

Notarea vectorilor.

Vectorul din fig.1 se poate nota: $\overrightarrow{OV}$ sau mai simplu $\vec{a}$ ($\vec{b}, \vec{c}$ etc.).

Modulul vectorului $\overrightarrow{OV}$ se poate nota: $|\overrightarrow{OV}|$ sau mai simplu *OV.* Modulul vectorului $\vec{a}$ se poate nota $|\vec{a}|$ sau ***a.***

Poziţia relativă a vectorilor. Vectorii $\vec{a}$ şi $\vec{b}$ (fig.2) se pot afla în următoarele poziţii relative:

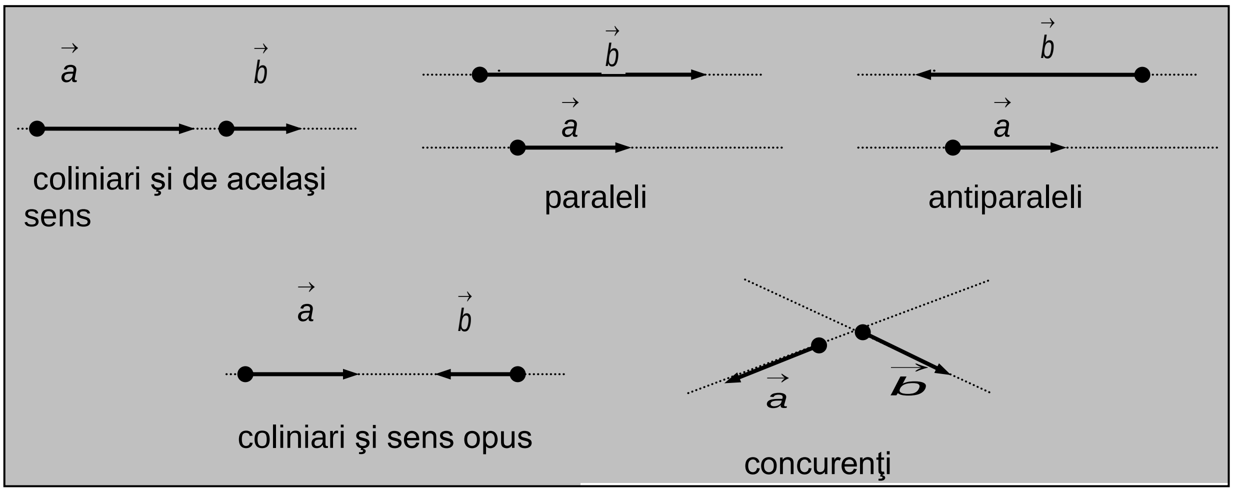


Fig.2

Egalitatea vectorilor. Doi vectori $\vec{a}$ şi $\vec{b}$ se numesc egali, ceea ce vom nota $\vec{a} = \vec{b}$, dacă sunt paraleli şi au modulele egale $|\vec{a}| = |\vec{b}|$.

Componentele unui vector

A. COMPONENTA VECTORULUI PE O AXĂ.

Fie vectorul $\overrightarrow{AB} = \vec{a}$ coplanar cu dreapta (d) (fig.3). O direcţie în spaţiu, de exemplu direcţia dreptei (d) se specifică printr-un *versor.*

DEFINIŢIE. Vectorul al cărui modul este egal cu unitatea şi cu ajutorul căruia se specifică o direcţie în spaţiu se numeşte ***versor*** al direcţiei respective.

Dacă atribuim dreptei (d) o origine O şi un sens pozitiv, obţinem o axă (de exemplu Ox). Vom nota cu $\vec{i}$ versorul axei Ox. Versorul $\vec{i}$ indică direcţia şi sensul axei Ox.

Fie un vector $\overrightarrow{AB}$ orientat sub unghiul α faţă de axa Ox. Pentru a obţine *proiecţia* şi *componenta* vectorului $\overrightarrow{AB}$ pe dreapta axa Ox procedăm astfel:

– prin extremităţile vectorului $\overrightarrow{AB}$ se duc perpendiculare pe dreapta (d), care determină pe aceasta segmentul [A'B']; măsura acestui segment se numeşte proiecţia vectorului $\overrightarrow{AB}$ pe dreapta (d).

– orientând segmentul [A'B'] obţinem componenta vectorului pe axa Ox pe care am notat-o cu $\overrightarrow{A'B'}$

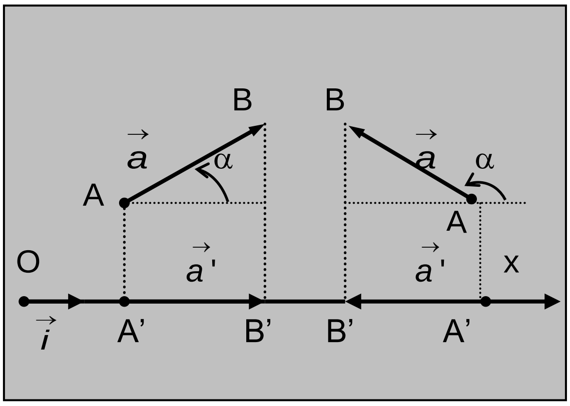


Fig. 3

Mărimea vectorului $\overrightarrow{A'B'}$ se numeşte *proiecţia* vectorului $\overrightarrow{AB}$ pe axa Ox şi se notează AB_x. Din fig.3 observăm că:

$$AB_x = |\overrightarrow{AB}| \cos\alpha$$

Exemple. Analizând fig.4, observăm că:

$AB_x = 2$

$CD_x = -3$

$EF_x = 0$

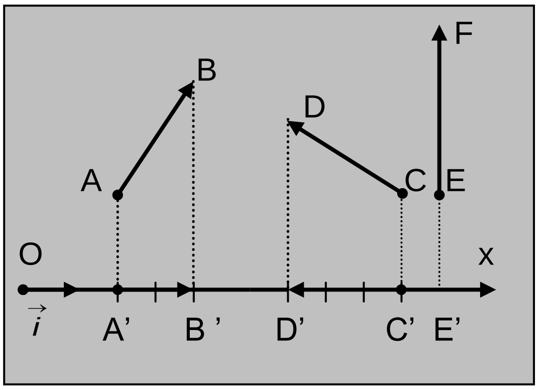


Fig.4

B. COMPONENTELE VECTORULUI PE DOUĂ AXE PERPENDICULARE.

Fie vectorul $\overrightarrow{AB} = \vec{a}$, coplanar cu două axe perpendiculare Ox şi Oy.

Notăm cu $\vec{i}$ versorul axei Ox şi cu $\vec{j}$ versorul axei Oy (fig.5).

Pentru a obţine *componentele* şi *proiecţiile* vectorului $\overrightarrow{AB}$ = $\vec{a}$ pe cele două axe procedăm astfel:

– prin extremităţile vectorului $\overrightarrow{AB}$ se duc perpendiculare pe cele două axe care determină pe acestea segmentele [*A'B'*] şi respectiv [*A"B"*];

– orientând segmentele obţinem *componentele* vectorului pe cele două axe care: $\overrightarrow{A'B'}$ = $\vec{a}_x$ şi respectiv $\overrightarrow{A''B''}$ = $\vec{a}_y$;

– modulele vectorilor $\vec{a}_x$ şi respectiv $\vec{a}_y$, cu semnul plus sau cu minus (după cum vectorii respectivi sunt orientaţi în acelaşi sens sau în sens opus cu versorii axelor), reprezintă *proiecţiile* vectorului $\vec{a}$ pe cele două axe, a_x şi respectiv a_y:

$a_x = a \cos \alpha$, $a_y = a \sin \alpha$.

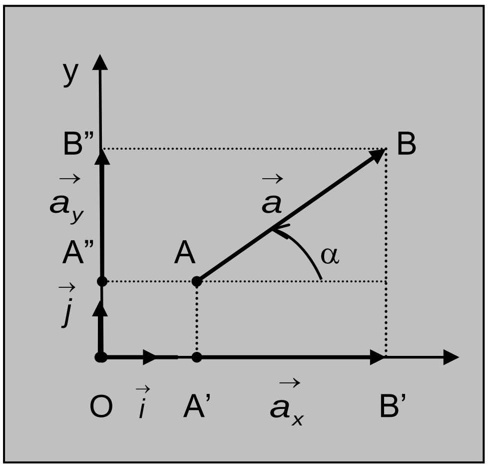


Fig.5

Utilizând componentele vectorului $\vec{a}$, putem scrie *expresia analitică a vectorului* $\vec{a}$ în plan:

$$\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j}\ .$$

4. OPERAŢII CU VECTORI

Operaţiile matematice cu vectori pe care le vom studia în cele ce urmează sunt:
- *adunarea* (*compunerea*) vectorilor
- *scăderea* vectorilor
- *înmulţirea* unui vector cu un scalar
- *înmulţirea scalară* a doi vectori
- *înmulţirea vectorială* a doi vectori.

4.1. ADUNAREA (COMPUNEREA) VECTORILOR

DEFINIŢIE. Rezultatul adunării (compunerii) unui sistem format din doi sau mai mulţi vectori se numeşte ***vectorul sumă*** sau ***rezultanta*** sistemului de vectori.

A. ADUNAREA (COMPUNEREA) A DOI VECTORI CONCURENŢI PRIN REGULA PARALELOGRAMULUI.

Considerăm doi vectori concurenţi coplanari $\vec{a}$ şi $\vec{b}$ ale căror direcţii formează unghiul α. Pentru a compune cei doi vectori prin regula paralelogramului procedăm astfel:

- deplasăm vectorii pe suporturile lor până când vor avea originea comună;
- construim paralelogramul având ca laturi cei doi vectori;
- diagonala paralelogramului ce porneşte din originea comună orientată de la O spre C va fi rezultanta celor doi vectori: $\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$;
- modulul rezultantei se determină, în acest caz, cu ajutorul relaţiei:

$$R = \sqrt{a^2 + b^2 + 2\,ab\cos\alpha}$$

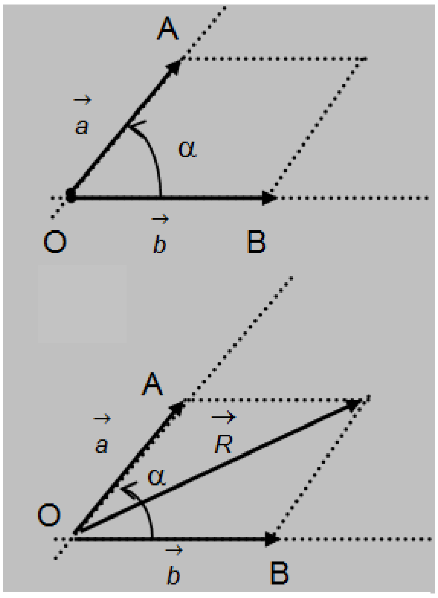


Fig. 6

Cazuri particulare. Analizăm situaţiile în care vectorii $\vec{a}$ şi $\vec{b}$ sunt coliniari:

a) $\alpha = 0° \Rightarrow R = a + b$. În acest caz rezultanta este orientată pe aceeaşi direcţie cu vectorii $\vec{a}$ şi $\vec{b}$.

b) $\alpha = 180° \Rightarrow R = a - b$. În acest caz rezultanta este orientată pe aceeaşi direcţie cu vectorii $\vec{a}$ şi $\vec{b}$, în sensul vectorului de modul mai mare.

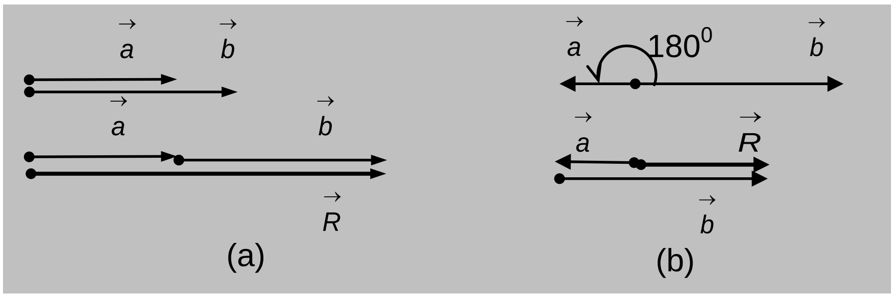


Fig. 7

B. REGULA POLIGONULUI.

Considerăm un sistem de vectori coplanari: $\vec{a}_1$, $\vec{a}_2$, $\vec{a}_3$, $\vec{a}_4$ şi $\vec{a}_5$ (fig.8a). Pentru a obţine rezultanta acestui sistem de vectori, utilizând regula poligonului, procedăm astfel:

- aşezăm vectorii unul după altul (fig.8b);
- rezultanta sistemului $\vec{R} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_3 + \vec{a}_4 + \vec{a}_5$ se obţine unind originea primului vector cu vârful ultimului vector şi orientând astfel segmentul obţinut (fig.8c).

OBSERVAŢIE. Regula poligonului se poate utiliza pentru orice sistem de vectori coplanari, indiferent de numărul vectorilor din sistem.

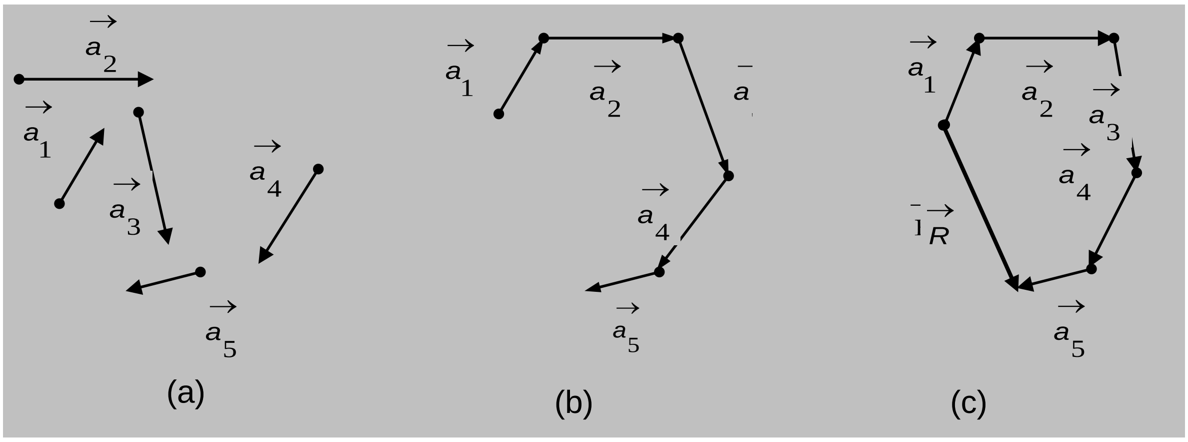


Fig.8

C. METODA ANALITICĂ DE COMPUNERE A VECTORILOR.

Pentru a compune un sistem de *N* vectori coplanari concurenţi $\vec{a}_1, \vec{a}_2, ..., \vec{a}_N$, utilizând metoda analitică, procedăm astfel:

- alegem un sistem ortogonal format din două axe Ox şi Oy cu originea în punctul de concurenţă al sistemului de vectori;
- descompunem fiecare vector din sistem în raport cu cele două axe şi obţinem astfel componentele: $\vec{a}_{1x}, \vec{a}_{2x}, ..., \vec{a}_{Nx}$; $\vec{a}_{1y}, \vec{a}_{2y}, ..., \vec{a}_{Ny}$;
- calculăm proiecţiile fiecărui vector din sistem pe cele două axe: a_{1x}, a_{2x}, …, a_{Nx},; a_{1y}, a_{2y}, …, a_{Ny};
- calculăm proiecţiile rezultantei pe cele două axe, cu ajutorul relaţiei:

$$R_x = a_{1x} + a_{2x} + \ldots + a_{Nx},\ R_y = a_{1y} + a_{2y} + \ldots + a_{Ny}$$

- determinăm modulul rezultantei, cu ajutorul relaţiei:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

- stabilim orientarea rezultantei în raport cu sistemul de axe, precizând măsura unghiului θ format de vectorul $\vec{R}$ cu axa *Ox*, care se determină cu ajutorul relaţiei:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{R_y}{R_x}$$

4.3. SCĂDEREA VECTORILOR

DEFINIŢIE. Rezultatul scăderii a doi vectori se numeşte ***vectorul diferenţă***.

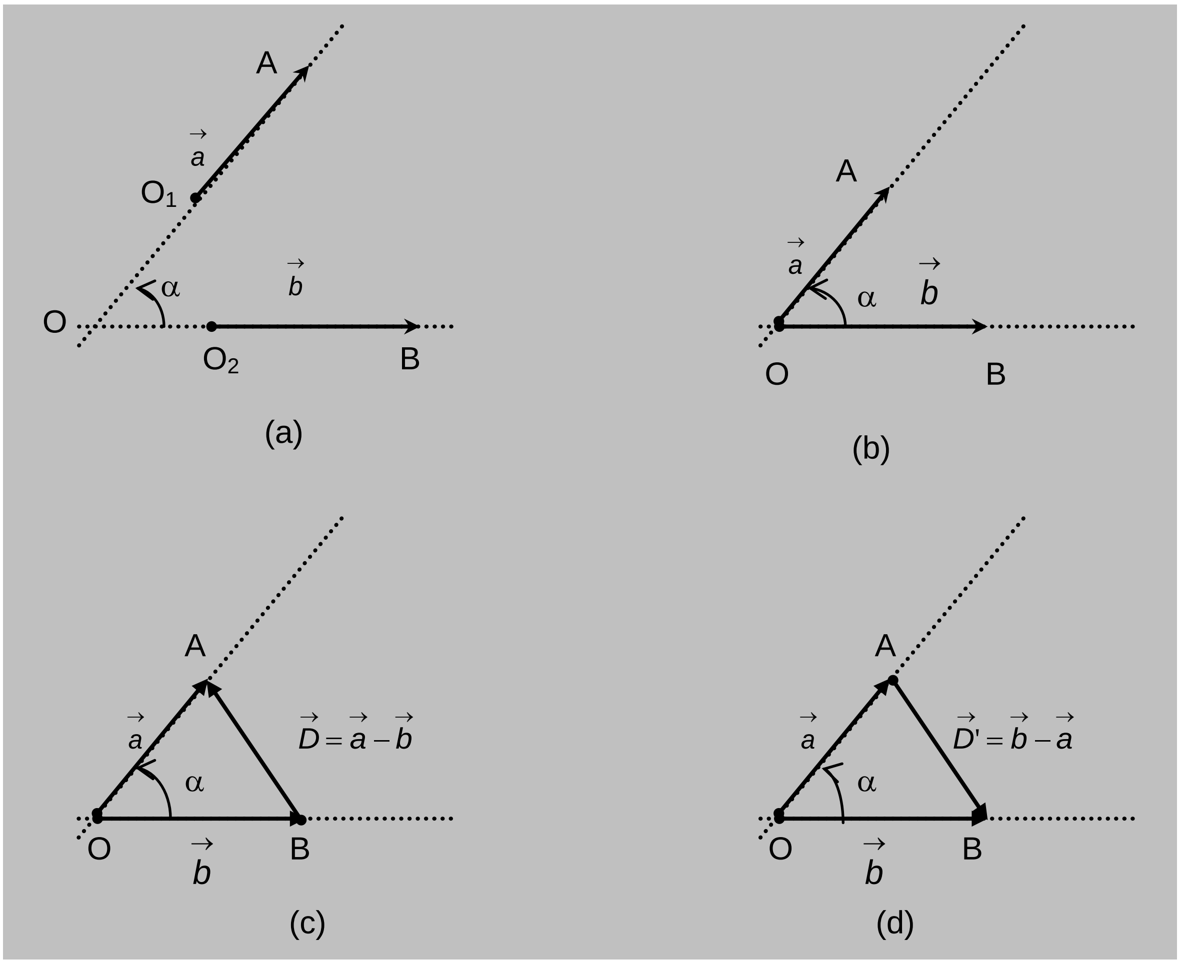


Fig. 9

Fiind daţi vectorii concurenţi coplanari $\vec{a}$ şi $\vec{b}$ ale căror direcţii formează unghiul α (fig. 9 a) pentru a determina vectorul diferenţă, procedăm astfel:

- deplasăm vectorii pe suporturile lor până când vor avea originea comună (fig. 9 b);
- unim vârfurile celor doi vectori şi orientăm segmentul astfel obţinut către descăzut; obţinem astfel vectorul diferenţă $\vec{D} = \vec{a} - \vec{b}$ (fig. 9 c) sau $\vec{D}' = \vec{b} - \vec{a}$ (fig. 9 d);
- modulul vectorului diferenţă $\vec{D}$ sau $\vec{D}'$ se determină cu ajutorul relaţiei:

$$D = D' = \sqrt{a^2 + b^2 - 2\,ab\cos\alpha}$$

Cazuri particulare. Analizăm situaţiile în care vectorii $\vec{a}$ şi $\vec{b}$ sunt coliniari:
a) $\alpha = 0° \Rightarrow D = D' = a - b$. În acest caz rezultanta este orientată pe aceeaşi direcţie cu vectorii $\vec{a}$ şi $\vec{b}$, iar sensul este dat de sensul vectorului de modul mai mare.
b) $\alpha = 180° \Rightarrow D = D' = a + b$. În acest caz rezultanta este orientată pe aceeaşi direcţie cu vectorii $\vec{a}$ şi $\vec{b}$.

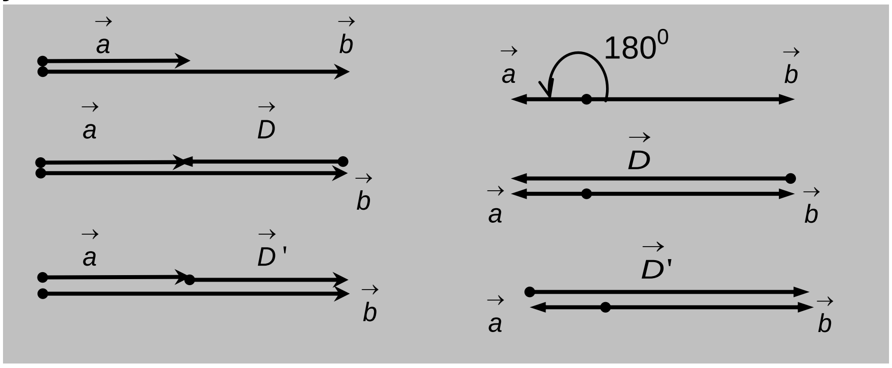


Fig. 10

4.4. ÎNMULŢIREA VECTORILOR

A. ÎNMULŢIREA UNUI VECTOR CU UN SCALAR

Fie vectorul $\vec{a}$ şi scalarul s ($s \in \Re$). Produsul dintre scalarul s şi vectorul $\vec{a}$ este un vector $\vec{b}$. Vom nota:

$$\vec{b} = s\vec{a}$$

Vectorul $\vec{b} = s\vec{a}$ are următoarele elemente:

- modulul de s ori mai mare decât al vectorului $\vec{a}$;
- aceeaşi direcţie ca şi vectorul $\vec{a}$;
- este orientat în acelaşi sens cu vectorul $\vec{a}$, dacă $s > 0$ şi în sens opus dacă $s < 0$ (fig.11).

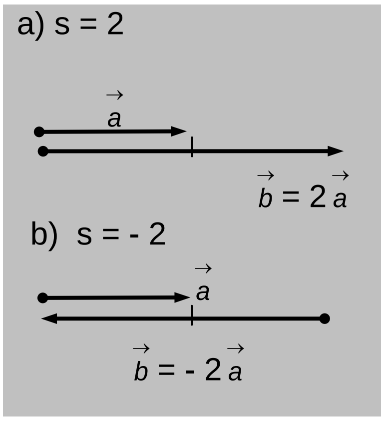


Fig. 11

B. PRODUSUL SCALAR

Considerăm doi vectori $\vec{a}$ şi $\vec{b}$ coplanari ale căror direcţii formează unghiul α. Produsul scalar al vectorilor $\vec{a}$ şi $\vec{b}$ este un scalar s, notat:

$$s = \vec{a} \cdot \vec{b}$$

Valoarea produsului scalar, $s = \vec{a} \cdot \vec{b}$, este egală cu produsul dintre modulele vectorilor şi cosinusul unghiului dintre ei, adică:

$$s = \vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cos \alpha$$

Produsul scalar are următoarele proprietăţi:

- este *comutativ*, adică : $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{b} \cdot \vec{a}$
- este *distributiv* faţă de adunarea şi scăderea vectorilor, adică:

$$\vec{a} \cdot (\vec{b} + \vec{c}) = \vec{a} \cdot \vec{b} \pm \vec{a} \cdot \vec{c}$$

OBSERVAŢII

- $\vec{i} \cdot \vec{i} = \vec{j} \cdot \vec{j} = 1$, $\vec{i} \cdot \vec{j} = \vec{j} \cdot \vec{i} = 0$.
- $\vec{a} \cdot \vec{b} = 0 \Leftrightarrow \vec{a} \perp \vec{b}$

C. PRODUSUL VECTORIAL.

Considerăm doi vectori $\vec{a}$ şi $\vec{b}$ coplanari ale căror direcţii formează unghiul α (fig.12). Produsul vectorial al vectorilor $\vec{a}$ şi $\vec{b}$ este un vector $\vec{c}$, notat:

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b}$$

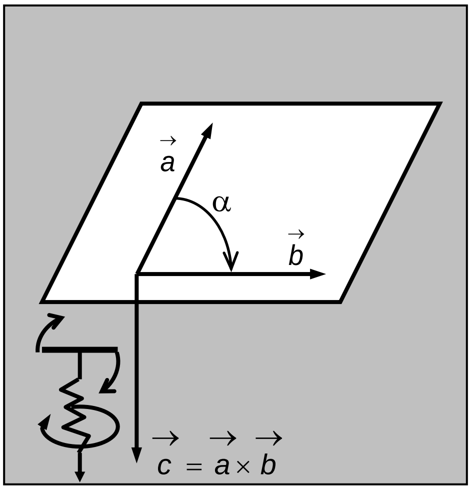


Fig. 12

Vectorul produs vectorial $\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b}$ are următoarele elemente:

- *direcţia*: perpendiculară pe planul definit de direcţiile vectorilor $\vec{a}$ şi $\vec{b}$;
- *sensul* se stabileşte cu regula burghiului drept, astfel: *se aşează un burghiu normal cu filet pe dreapta perpendicular pe planul definit de vectorii* $\vec{a}$ *şi* $\vec{b}$; *vectorul* $\vec{a}$ *(primul factor al produsului) este rotit cu unghiul cel mai mic până când coincide direcţia lui* $\vec{b}$; *sensul vectorului produs vectorial* $\vec{c}$ *este sensul de înaintare burghiului atunci când acesta este rotit în acelaşi sens ca şi vectorul* $\vec{a}$;
- *modulul*:

$$c = |\vec{a} \times \vec{b}| = ab \sin \alpha$$

Produsul vectorial are următoarele proprietăţi:

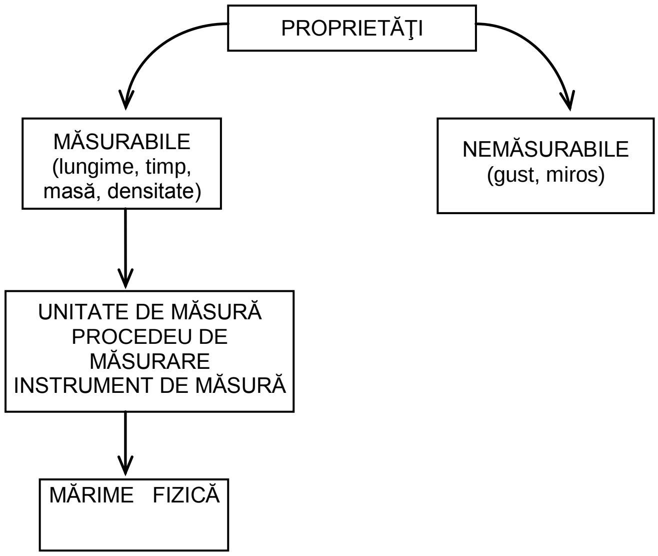
- este *anticomutativ*, adică: $\vec{a} \times \vec{b} = -\vec{b} \times \vec{a}$;
- este *distributiv* faţă de adunarea şi scăderea vectorilor, adică:

$$\vec{a} \times (\vec{b} \pm \vec{c}) = \vec{a} \times \vec{b} \pm \vec{a} \times \vec{c}.$$

REZUMAT:

- Orice proprietate măsurabilă a unui corp sau fenomen determină o ***mărime fizică*.**

- ***A măsura*** înseamnă a compara experimental mărimea fizică dată cu mărimea fizică de acelaşi fel care a fost aleasă drept ***unitate de măsură*.**



- Mărimile fizice ale căror unităţi de măsură au fost definite riguros şi prin intermediul cărora se exprimă unităţile de măsură ale tuturor celorlalte mărimi fizice se numesc ***mărimi fizice fundamentale***.

- Mărimile fizice ale căror unităţi de măsură se exprimă prin unităţile de măsură ale mărimilor fizice fundamentale se numesc ***mărimi fizice derivate***.

- Unităţile de măsură ale mărimilor fizice fundamentale se numesc ***unităţi de măsură fundamentale***.

- Unităţile de măsură ale mărimilor fizice derivate se numesc ***unităţi de măsură derivate***.

- Mărimile fundamentale alese şi unităţile lor de măsură determină ***sistemul de unităţi de măsură***.

- În SI s-au ales ***şapte mărimi fizice fundamentale*** cu unităţile lor: lungime (metru), timp (secundă), masă (kilogram), temperatură (Kelvin), cantitate de substanţă (kilomol), intensitate a curentului electric (amper), intensitate luminoasă (candela).

- ***Mărimile scalare*** sunt acele mărimi fizice pe care le putem caracteriza complet precizând numai valoarea lor (numărul care le măsoară faţă de o unitate).

- ***Mărimile vectoriale*** sunt acele mărimi fizice pe care le putem caracteriza complet numai dacă pe lângă valoarea lor mai precizăm şi orientarea lor (direcţia şi sensul).

- ***Vectorul*** este un segment de dreaptă orientat caracterizat de următoarele elemente: suportul vectorului, direcţia vectorului, originea vectorului sau punctul de aplicaţie al vectorului, vârful sau extremitatea vectorului, modulul vectorului, sensul vectorului.

- ***Operaţiile matematice*** care se pot efectua cu vectori sunt: a*dunarea* (*compunerea)* vectorilor, *scăderea* vectorilor, *înmulţirea* unui vector cu un scalar, *înmulţirea scalară* a doi vectori, *înmulţirea vectorială* a doi vectori.

Cinematica se ocupă cu studiul mişcării corpurilor, fără să ţină cont de interacţiunile acestora cu exteriorul.

MIŞCAREA ŞI REPAUSUL

A. MIŞCAREA ŞI REPAUSUL.

DEFINIŢII. Un corp se găseşte în ***mişcare*** când îşi schimbă continuu poziţia faţă de un alt corp considerat „ fix”.

Un corp se găseşte în ***repaus*** când nu-şi schimbă poziţia faţă de un alt corp considerat „fix”.

B. RELATIVITATEA MIŞCĂRII ŞI A REPAUSULUI.

Observăm că starea de mişcare sau de repaus a unui corp se raportează la un alt corp presupus fix. În realitate, însă, şi acest corp se poate afla la rândul lui în mişcare faţă de un alt corp. Astfel mişcarea şi repausul sunt relative, adică depind de corpul la care ne raportăm. Iată câteva exemple.

Exemplul 1. Să ne imaginăm că un elev care merge de acasă către şcoală se opreşte la un moment dat din mers. *Este elevul în repaus sau în mişcare* ? Nu putem răspunde la această întrebare în sens absolut. Se poate răspunde în mai multe moduri, ca de exemplu: *elevul este în repaus faţă de Pământ şi în mişcare faţă de Soare.*

Exemplul 2. Să ne imaginăm acum că stăm pe o banchetă într-un tren aflat în mers. *Suntem în repaus sau în mişcare* ? Un răspuns ar putea fi: s*untem în repaus faţă de pereţii vagonului, dar în mişcare faţă de gară.*

CONCLUZIE. *Mişcarea mecanică şi repausul sunt relative, adică depind corpul sau corpurile la care raportăm mişcarea corpului studiat. Acelaşi corp poate fi în acelaşi timp şi în repaus şi în mişcare, dar faţă de corpuri diferite.*

SISTEM DE REFERINŢĂ

Pentru a descrie mişcarea sau repausul este nevoie de un reper spaţial şi un reper temporal.

Reperul spaţial este constituit din sistemul de obiecte fizice în raport cu care este specificată poziţia oricărui punct material, sau în general, a oricărui obiect fizic. Fiecărui reper spaţial îi vom asocia, de regulă, un sistem de axe de coordonate cu ajutorul cărora putem preciza coordonatele spaţiale ale obiectului.

Reperul temporal este constituit dintr-un “ceasornic”, asociat reperului spaţial. Prin “ceasornic” înţelegem un proces fizic (în general un proces de mare regularitate), ale cărui evenimente sunt luate drept reper pentru definirea succesiunii ce caracterizează orice altă mulţime de evenimente.

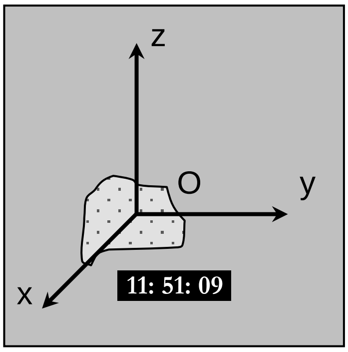


Fig. 13

DEFINIŢIE. Ansamblul format din corpul de referinţă, sistemul de coordonate pentru precizarea poziţiei şi cronometru pentru precizarea momentului de timp constituie ***un sistem de referinţă*** (SR).

Sistemele de referinţă faţă de care studiem mişcarea corpurilor se clasifică în *referenţiale inerţiale* şi *referenţiale neinerţiale*. In cazul sistemelor de referinţă inerţiale, acestea se mişcă rectiliniu şi uniform unele faţă de celelalte. Sistemele de referinţă neinerţiale sunt acelea care nu se mişcă rectiliniu şi uniform unele faţă de celelalte.

PUNCT MATERIAL. MOBIL

Corpurile au anumite dimensiuni şi, în general, mişcările corpurilor sunt complicate, adică diferite părţi ale corpurilor pot executa mişcări diferite.

Există, însă, şi situaţii în care toate particulele unui corp aflat în mişcare se mişcă identic. O astfel de mişcare se numeşte *mişcare de translaţie*. În acest caz este suficient să analizăm mişcarea unui singur punct ce aparţine corpului respectiv, adică putem reduce corpul la un *punct material*.

DEFINIŢIE. Numim ***punct material*** un punct geometric ce aparţine unui corp, în care considerăm concentrată toată substanţa corpului şi căruia îi atribuim toate proprietăţile acestuia: masă, greutate, inerţie etc.

În unele situaţii, când studiem mişcarea unui corp în raport cu un SR oarecare, nu ne interesează nici masa corpului, nici dimensiunile acestuia. Atunci punctul material devine un *mobil*, adică un punct geometric care se mişcă.

Obişnuim să reprezentăm mobilele sau punctele materiale prin mici dreptunghiuri sau mici cercuri (fig.14).

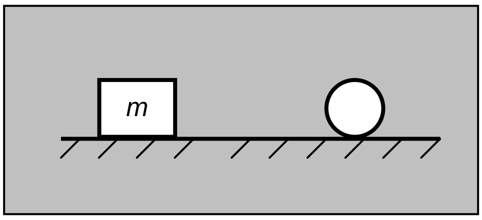


Fig. 14

VECTOR DE POZIŢIE

Poziţia mobilului aflat în mişcare (plană) poate fi precizată cu ajutorul *vectorului de poziţie al mobilului* $\vec{r}$ (fig.15).

În timpul mişcării, vectorul de poziţie îşi schimbă atât modulul cât şi orientarea, adică este o funcţie de timp:

$$\vec{r} = \vec{r}(t)$$

DEFINIŢIE. Funcţia care descrie dependenţa de timp a vectorului de poziţie al mobilului constituie ***legea de mişcare*.**

Proiecţiile vectorului de poziţie pe cele două axe sunt tocmai coordonatele mobilului: $x(t)$ şi $y(t)$.

Cunoscând vectorul de poziţie $\vec{r}(t)$, adică modulul $r(t)$ şi unghiul $\alpha(t)$, determinăm coordonatele:

$$\begin{cases} x(t) = r\cos\alpha(t) \\ y(t) = r\sin\alpha(t) \end{cases}$$

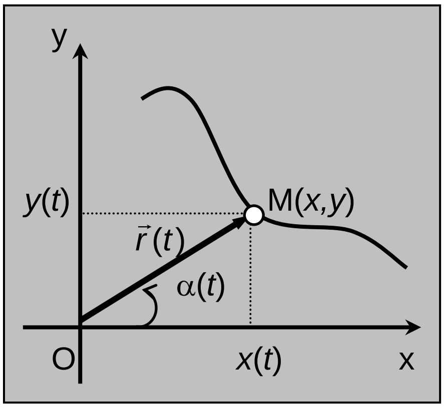


Fig.15

Invers, cunoscând coordonatele mobilului la momentul *t*, *x*(*t*) şi *y*(*t*), putem determina modulul şi orientarea vectorului de poziţie $\vec{r}(t)$, cu ajutorul relaţiilor:

$$\begin{cases} |\vec{r}(t)| = \sqrt{[x(t)]^2 + [y(t)]^2} \\ \text{tg}\,\alpha(t) = \dfrac{y(t)}{x(t)} \end{cases}$$

TRAIECTORIE

În timpul mişcării unui mobil faţă de un SR acesta descrie un anumit drum în spaţiu; vom spune că mobilul se mişcă pe o anumită *traiectorie*.

DEFINIŢIE.

Locul geometric al vârfurilor vectorilor de poziţie ai mobilului în timpul mişcării se numeşte ***traiectorie***.

Linia descrisă de un mobil în timpul mişcării lui faţă de un SR se numeşte ***traiectorie***.

OBSERVAŢII.

- Traiectoria nu este o mărime fizică. Forma traiectoriei depinde de sistemul de referinţă faţă de care se mişcă mobilul.

În funcţie de forma pe care o pot avea, traiectoriile se clasifică astfel (fig.16):

- traiectorii rectilinii (linii drepte – fig.16 a);
- traiectorii curbilinii (linii curbe – fig.16 b – în particular, circulare – fig.16 c).

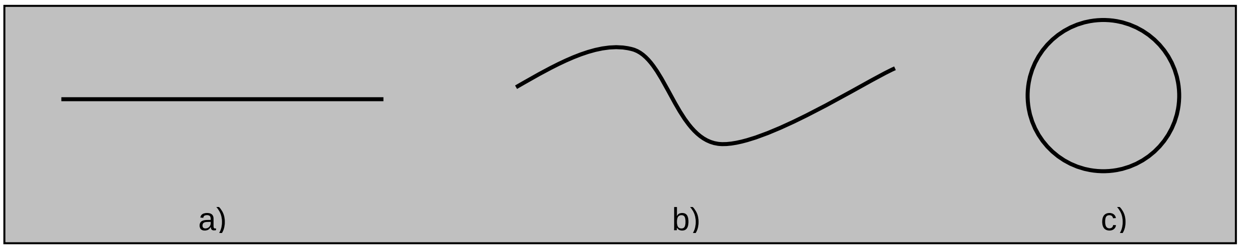


Fig. 16

DEPLASARE. VECTORUL DEPLASARE

Considerăm un mobil aflat într-o mişcare plană pe o traiectorie oarecare, astfel încât la momentul t_1 mobilul se află în punctul M_1 descrisă de vectorul $\vec{r}_1$, iar la momentul $t_2 > t_1$ mobilul se află în punctul M_2 descrisă de vectorul $\vec{r}_2$ (fig.17).

Construim *vectorul deplasare* al mobilului în intervalul de timp Δ*t*, $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$

DEFINIŢIE. Se numeşte ***vector deplasare*** al mobilului în intervalul de timp $\Delta t = t_2 - t_1$ variaţia vectorului de poziţie: $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$.

Proiecţiile vectorului deplasare pe axe sunt tocmai deplasările mobilului pe axele de coordonate, care au avut loc în intervalul de timp Δ*t*:

$$\begin{cases} \Delta x = x_2 - x_1 \\ \Delta y = y_2 - y_1 \end{cases}$$

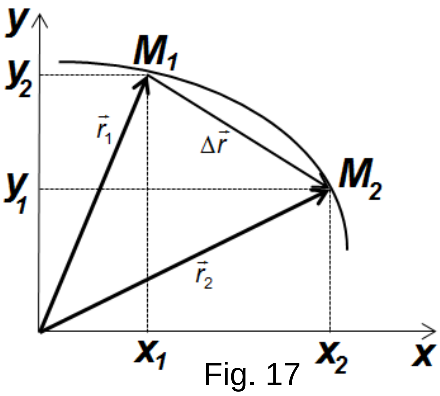


Fig. 17

Cunoscând vectorul deplasare $\Delta\vec{r}$, adică modulul $|\Delta\vec{r}|$ şi orientarea precizată prin unghiul β, determinăm deplasările pe axe:

$$\begin{cases} \Delta x = |\Delta\vec{r}|\cos\beta \\ \Delta y = |\Delta\vec{r}|\sin\beta \end{cases}$$

Invers, cunoscând deplasările mobilului pe axe Δ*x* şi respectiv Δ*y*, putem determina modulul şi orientarea vectorului deplasare $\Delta\vec{r}$, astfel:

$$\begin{cases} |\Delta\vec{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \\ \operatorname{tg}\beta = \dfrac{\Delta y}{\Delta x} \end{cases}$$

OBSERVAŢIE. În cazul mişcării rectilinii direcţia vectorului deplasare $\Delta\vec{r}$ coincide cu direcţia traiectoriei.

CAZUL MIŞCĂRII RECTILINII

Considerăm un mobil aflat într-o mişcare rectilinie, care la momentul t_1 mobilul se află în punctul M_1 de coordonată x_1, iar momentul t_2 mobilul se află în punctul M_2 de coordonată x_2.

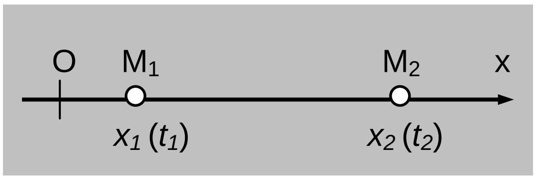


Fig. 18

DEFINIŢIE. Se numeşte ***deplasare*** a mobilului în intervalul de timp $\Delta t = t_2 - t_1$, variaţia coordonatei sale: $\Delta x = x_2 - x_1$.

OBSERVAŢIE. Deplasarea Δ*x* este pozitivă (Δ*x* > 0), dacă mobilul se mişcă în sensul pozitiv al axei Ox şi negativă (Δ*x* < 0), dacă mobilul se mişcă în sensul negativ al axei Ox.

Concluzie:

O mişcare este complet determinată dacă se cunoaşte traiectoria şi legea de mişcare.

VITEZA. VECTORUL VITEZĂ

Aceeaşi deplasare a unui mobil se poate realiza mai repede sau mai încet, adică într-un interval mai mic sau mai mare de timp. În primul caz spunem că mobilul a avut o *viteză* mai mare, iar în al doilea caz o *viteză* mai mică.

Vectorul viteză medie.

Considerăm un mobil aflat într-o mişcare plană pe o traiectorie oarecare, astfel încât la momentul t_1 mobilul se află în punctul M_1 descrisă de vectorul $\vec{r}_1$, iar la momentul $t_2 > t_1$ mobilul se află în punctul M_2 descrisă de vectorul $\vec{r}_2$ (fig.17).

DEFINIŢIE. Se numeşte ***vector viteză medie***, $\vec{v}_m$, al mobilului în intervalul de timp Δt, raportul dintre vectorul deplasare $\Delta\vec{r}$ şi durata acestei deplasări Δt :

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_2}{t_2 - t_1}$$

Orientarea vectorului viteză medie în intervalul de timp Δt coincide cu orientarea vectorului deplasare în acelaşi interval de timp.

Modulul vectorului viteză medie va fi :

$$|\vec{v}_m| = \frac{|\Delta\vec{r}|}{\Delta t}$$

Proiecţiile vectorului viteză medie în intervalul de timp Δt pe axele de coordonate vor fi determinate de proiecţiile vectorului deplasare în acelaşi interval de timp şi se calculează astfel :

$$\begin{cases} v_{my} = \dfrac{\Delta y}{\Delta t} = \dfrac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1} \\ v_{mx} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} = \dfrac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \end{cases}$$

b) Vectorul viteză momentană (instantanee). Pentru a determina vectorul viteză la momentul t când mobilul trece prin punctul M descris de vectorul de poziţie $\vec{r}$, este necesar să determinăm vectorul viteză medie pe un interval de timp foarte mic ($\Delta t \to 0$), căreia îi corespunde o deplasare foarte mică $\Delta\vec{r} \to 0$, între punctele M_1 şi M_2 foarte apropiate pe traiectorie.

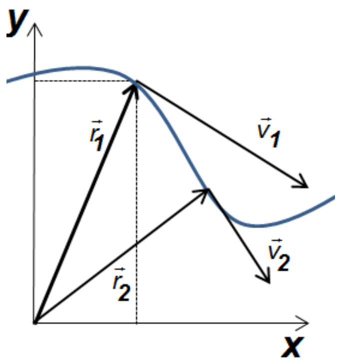


Fig. 20

În acest caz vectorul deplasare devine tangent la traiectorie, deci şi vectorul viteză va fi tangent la traiectorie în punctul M (fig.19). Prin urmare, vectorul viteză la momentul t se determină astfel:

$$\vec{v}(t) = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \text{ (când } \Delta t \to 0\text{)}$$

Vectorul viteză este tangent la traiectorie în punctul considerat şi are acelaşi sens cu sensul în care se mişcă mobilul pe traiectorie.

Modulul vectorului viteză va fi:

$$|\vec{v}| = \frac{|\Delta\vec{r}|}{\Delta t} \text{ (când } \Delta t \to 0\text{)}$$

Proiecţiile vectorului viteză la momentul t pe axele de coordonate se calculează astfel:

$$\begin{cases} v_x(t) = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} \\ v_y(t) = \dfrac{\Delta y}{\Delta t} \end{cases} \text{(când } \Delta t \to 0) \quad \text{sau} \quad \begin{cases} v_x(t) = \dfrac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t} \\ v_y(t) = \dfrac{y(t+\Delta t) - y(t)}{\Delta t} \end{cases} \text{(când } \Delta t \to 0)$$

VITEZA ÎN MIŞCAREA RECTILINIE

DEFINIŢIE. Se numeşte ***viteza medie*** a mobilului, v_m, în intervalul de timp Δt raportul dintre deplasare $\Delta x = x_2 - x_1$ şi durata acestei deplasări $\Delta t = t_2 - t_1$:

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

Viteza momentană (instantanee). Pentru a determina viteza unui mobil aflat în mişcare rectilinie de-a lungul axei Ox la momentul *t*, *v*(*t*), când trece prin punctul M de coordonată *x* , calculăm viteza medie pe un interval de timp foarte mic de timp ($\Delta t \to 0$) căreia îi corespunde o deplasare foarte mică a mobilului $\Delta x \to 0$, adică:

$$v(t) = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \text{(când } \Delta t \to 0)$$

sau mai explicit, $v(t) = \dfrac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t}$ (când $\Delta t \to 0$).

OBSERVAŢIE. Viteza este pozitivă ($v > 0$), dacă mobilul se mişcă în sensul pozitiv al axei Ox şi negativă ($v < 0$), dacă mobilul se mişcă în sensul negativ al axei Ox.

Unitatea de măsură în SI pentru viteză se stabileşte pe baza relaţiei de definiţie:

$$[v_m]_{SI} = \frac{[s]_{SI}}{[t]_{SI}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}\left(\frac{\text{metru}}{\text{secundă}}\right).$$

ACCELERAŢIA. VECTORUL ACCELERAŢIE

În timpul mişcării unui mobil vectorul viteză variază atât ca modul, cât şi ca orientare. O aceeaşi variaţie a vectorului viteză se poate produce în intervale de timp diferite. Pentru a compara neuniformitatea mişcărilor se introduce mărimea fizică vectorială numită acceleraţie

a) Vectorul acceleraţie medie. Considerăm un mobil aflat într-o mişcare plană care la momentul t_1 trece prin poziţia descrisă de vectorul $\vec{r}_1$, având viteza $\vec{v}_1$ iar la momentul $t_2 > t_1$ trece prin poziţia descrisă de vectorul $\vec{r}_2$, având viteza $\vec{v}_2$. În intervalul de timp $\Delta t = t_2 - t_1$ variaţia vectorului viteză al mobilului este egală cu $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$.

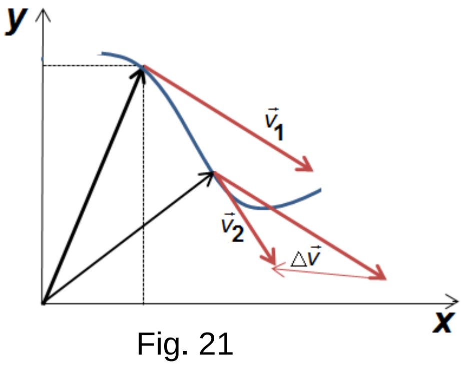


Fig. 21

DEFINIŢIE. Se numeşte ***vector acceleraţie medie***, $\vec{a}_m$, al mobilului în intervalul de timp Δt, raportul dintre variaţia vectorului viteză $\Delta\vec{v}$ şi durata acestei variaţii Δt:

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

Pentru a determina vectorul acceleraţie la momentul t când mobilul trece printr-un punct descris de vectorul de poziţie $\vec{r}$, este necesar să determinăm vectorul acceleraţie medie pe un interval de timp foarte mic (Δt→0), căruia îi corespunde o variaţie foarte mică a vitezei $\Delta\vec{v}$ →0, între două puncte foarte apropiate pe traiectorie, adică:

$$\vec{a}(t) = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad (\text{când } \Delta t \to 0)$$

Modulul vectorului acceleraţie va fi:

$$|\vec{a}| = \frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t} \quad (\text{când } \Delta t \to 0)$$

A. CAZUL MIŞCĂRII RECTILINII

În cazul mişcării rectilinii direcţia vectorului viteză nu variază. Din acest motiv direcţia vectorului acceleraţie este aceeaşi cu cea a vectorului viteză.

a) Acceleraţia medie. Considerăm un mobil aflat într-o mişcare rectilinie, care la momentul t_1 trece prin punctul M_1 de coordonată x_1, având viteza v_1, iar la momentul $t_2 > t_1$ trece prin punctul M_2 de coordonată x_2 având viteza v_2 (fig.22).

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

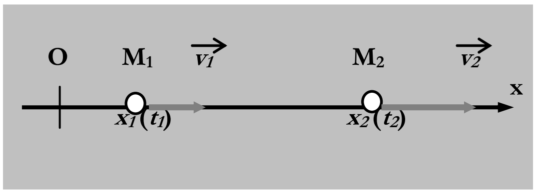


Fig.22

b) Acceleraţia momentană (instantanee). Acceleraţia medie caracterizează numai global variaţia vitezei unui mobil într-un anumit interval de timp mai mare sau mai mic. De multe ori însă este necesar să determinăm acceleraţia unui mobil la un moment bine precizat.

Pentru a determina acceleraţia unui mobil aflat în mişcare rectilinie de-a lungul axei Ox la momentul t, $a(t)$, când trece prin punctul M de coordonată x calculăm acceleraţia medie pe un interval de timp foarte mic de timp (Δt→0) căreia îi corespunde o variaţie a vitezei mobilului foarte mică Δv → 0, adică:

$$a(t) = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (\text{când } \Delta t \to 0)$$

sau, mai explicit, $a(t) = \dfrac{v(t+\Delta t) - v(t)}{\Delta t}$ (când Δt → 0).

OBSERVAŢIE. În funcţie de semnul vitezei şi de semnul acceleraţiei pe traiectoria rectilinie, mişcarea mobilului poate fi *accelerată* sau *încetinită*. Astfel, alegând sensul pozitiv pe axa mişcării Ox în sensul vitezei, distingem următoarele situaţii:

- $v > 0$ şi $a > 0$ - mobilul se mişcă *accelerat* în sensul pozitiv al axei Ox;
- $v > 0$ şi $a < 0$ – mobilul se mişcă *încetinit* în sensul pozitiv al axei Ox;
- $v < 0$ şi $a > 0$ – mobilul se mişcă *încetinit* în sensul negativ al axei Ox;
- $v < 0$ şi $a < 0$ – mobilul se mişcă *accelerat* în sensul negativ al axei Ox.

B. ACCELERAŢIA ÎN MIŞCAREA CURBILINIE

Considerăm un mobil aflat într-o mişcare curbilinie. La momentul t_1 trece prin punctul M_1, poziţie descrisă de vectorul $\vec{r}_1$, având viteza $\vec{v}_1$ iar la momentul $t_2 > t_1$ trece prin punctul M_2, poziţie descrisă de vectorul $\vec{r}_2$, având viteza $\vec{v}_2$ (fig.23).

În intervalul de timp $\Delta t = t_2 - t_1$ variaţia vectorului viteză al mobilului este egală cu $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$.

– Direcţia vectorului acceleraţie este aceeaşi cu cea a vectorului $\Delta\vec{v}$, respectiv pe direcţia razei de curbură a traiectoriei în punctul considerat.

– Sensul vectorului acceleraţie este spre interiorul centrului de curbură a traiectoriei în punctul considerat.

– Modulul este egal cu $|\vec{a}| = \dfrac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t}$

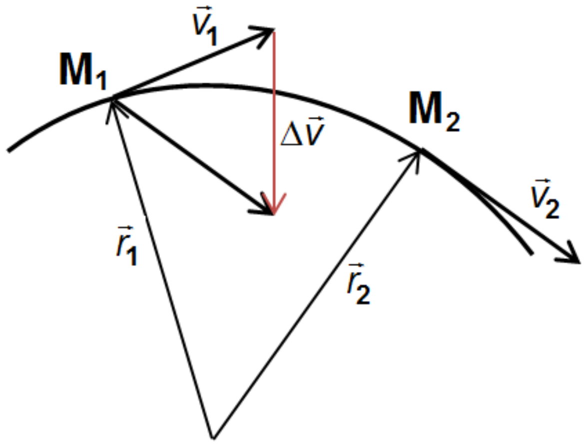


Fig. 23

Unitatea de măsură SI pentru acceleraţie:

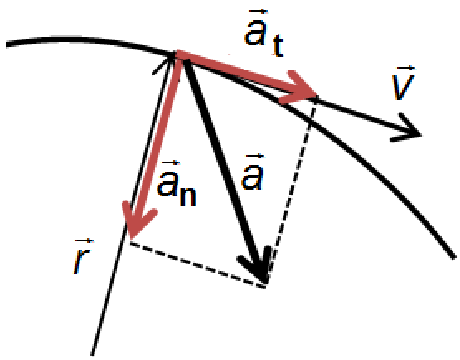
$$[a]_{SI} = \frac{[v]_{SI}}{[t]_{SI}} = \frac{\frac{m}{s}}{s} = \frac{m}{s^2}$$

Concluzie:

Vectorul acceleraţie are două componente:

- acceleraţia tangenţială datorată variaţiei modulului vectorului viteză. Este orientat tangent la traiectorie, iar sensul este acelaşi cu cel al vectorului viteză dacă $v_2 > v_1$ şi sens opus dacă $v_2 < v_1$

- **acceleraţia normală** datorată variaţiei orientării vectorului viteză. Este orientat de-a lungul razei de curbură a traiectorie, iar sensul este spre interiorul centrului de curbură.



Rezumat:

- Un corp este în ***mişcare*** când îşi schimbă continuu poziţia faţă de un alt corp considerat „fix”.
- Un corp este găseşte în ***repaus*** când nu-şi schimbă poziţia faţă de un alt corp considerat „fix”.
- Mişcarea mecanică şi repausul sunt ***relative***, adică mişcarea corpului studiat depinde de corpul sau corpurile la care o raportăm. Acelaşi corp poate fi în acelaşi timp şi în repaus şi în mişcare, dar faţă de corpuri diferite.
- Ansamblul format din corpul de referinţă, sistemul de coordonate pentru precizarea poziţiei şi cronometru pentru precizarea momentului constituie un ***sistem de referinţă*** (SR).
- Numim ***punct material*****,** un punct geometric ce aparţine unui corp, în care considerăm concentrată toată substanţa corpului şi căruia îi atribuim toate proprietăţile corpului: masă, greutate, inerţie etc.
- Linia descrisă de un mobil în timpul mişcării lui faţă de un SR se numeşte ***traiectorie***.
- Funcţia care descrie dependenţa de timp a coordonatei mobilului constituie ***legea de mişcare***.
- Numim ***coordonată s*** a mobilului în mişcare curbilinie lungimea arcului de curbă de la origine până la mobil, ţinând seama de sensul pozitiv ales pe traiectorie.
- Se numeşte ***deplasare*** a mobilului într-un intervalul de timp $\Delta t = t_2 - t_1$, variaţia coordonatei sale: $\Delta s = s_2 - s_1$.
- Se numeşte ***viteză medie*** a mobilului, v_m, pe o porţiune de traiectorie, în intervalul de timp Δt raportul dintre deplasarea curbilinie $\Delta s = s_2 - s_1$ şi durata acestei deplasări $\Delta t = t_2 - t_1$: $v_m = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$.
- **Viteza instantanee** (momentană) la momentul t, se obţine calculând viteza medie pe un interval de timp foarte mic ($\Delta t \to 0$), căreia îi corespunde o deplasare foarte mică $\Delta s \to 0$, adică: $v(t) = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$ (când $\Delta t \to 0$); $[v]_{SI}$ = m/s.
- Se numeşte ***acceleraţia medie*** a mobilului, a_m, în mişcarea rectilinie, în intervalul de timp Δt raportul dintre variaţia vitezei $\Delta v = v_2 - v_1$ şi durata acestei variaţii $\Delta t = t_2 - t_1$: $a_m = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$.
- ***Acceleraţia instantanee*** (***momentană***) la momentul t, în mişcarea rectilinie, se obţine calculând acceleraţia medie pe un interval de timp foarte mic ($\Delta t \to 0$), căreia îi corespunde o variaţie foarte mică a vitezei $\Delta v \to 0$, adică: $a(t) = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ (când $\Delta t \to 0$);
- $[a]_{SI}$ = m/s^2.

MIŞCAREA RECTILINIE UNIFORMĂ

A. DEFINIREA MIŞCĂRII

DEFINIŢIE. Spunem că un mobil are o ***mişcare rectilinie uniformă*** faţă de un SR dat, dacă, prin definiţie, traiectoria mobilului este o dreaptă, iar modulul vitezei mobilului, faţă de SR considerat, rămâne constant în timp.

Vom considera mişcarea mobilului pe direcţia axei Ox şi vom alege sistemul de referinţă chiar pe axa mişcării, în originea axei.

B. LEGEA MIŞCĂRII

Considerăm un mobil care la *momentul iniţial* t_0 porneşte într-o mişcare rectilinie uniformă pe direcţia axei Ox, din punctul M_0 de *coordonată iniţială* x_0, cu *viteza v.* La momentul *t*, mobilul trece prin punctul M de coordonată *x* (fig.24).

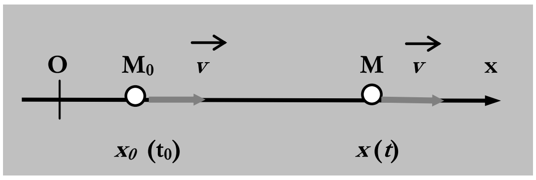


Fig. 24

Ne propunem să stabilim dependenţa de timp a coordonatei *x*, adică *legea mişcării*: $x = x(t)$.

Deoarece viteza este constantă, viteza medie pentru orice interval de timp coincide cu viteza momentană, adică $v = v_m$.

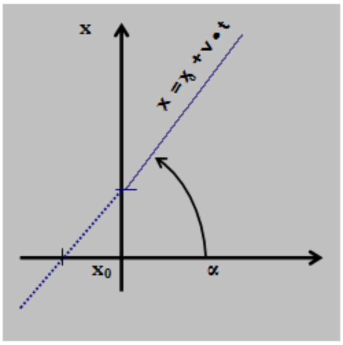
$$v_m = \frac{x - x_0}{t - t_0} \Rightarrow v = \frac{x - x_0}{t - t_0} \Rightarrow x - x_0 = v(t - t_0).$$

Legea mişcării rectilinii şi uniforme:

$$x(t) = x_0 + v(t - t_0)$$

OBSERVAŢIE. Legea mişcării rectilinii uniforme este un polinom de gradul întâi în timp, adică o funcţie liniară de timp. Graficul legii mişcării rectilinii şi uniforme este o dreaptă.

C. REPREZENTAREA GRAFICĂ A LEGII MIŞCĂRII



Reprezentăm grafic legea mişcării $x(t) = x_0 + v(t - t_0)$. Graficul acestei dependenţe (G_x) este o dreaptă în planul *t*O*x*. Stabilim intersecţia graficului funcţiei cu axele de coordonate:

- pentru a stabili intersecţia graficului cu axa O*t* (abscisa), rezolvăm ecuaţia $x(t) = 0 \Rightarrow t = -\frac{x_0}{v}$
- pentru a stabili intersecţia graficului cu axa O*x*, calculăm $x(0) = x_0$.

În funcţie de semnele coordonatei iniţiale x_0 şi vitezei *v*, dreapta ce reprezintă graficul funcţiei $x(t) = x_0 + v(t - t_0)$ este dispusă diferit în planul *t*O*x*.

Tangenta unghiului α format de graficul legii mişcării cu axa timpului (panta graficului) este egală cu viteza mişcării mobilului $tg\alpha = v$.

MIŞCAREA RECTILINIE UNIFORM VARIATĂ

A. DEFINIREA MIŞCĂRII

DEFINIŢIE. Spunem că un mobil are o ***mişcare rectilinie uniform variată*** faţă de un SR dat, dacă, traiectoria mobilului este o dreaptă, iar modulul acceleraţiei mobilului, faţă de SR considerat, rămâne constant în timp.

Vom considera mişcarea mobilului în direcţia axei Ox şi vom alege sistemul de referinţă chiar pe axa mişcării în originea axei.

Fie un mobil care la *momentul iniţial* t_0 porneşte într-o mişcare rectilinie uniform variată în direcţia axei Ox, din punctul M_0 de *coordonată iniţială* x_0, cu *viteza iniţială* v_0 şi *acceleraţia* a. La momentul t, mobilul trece prin punctul M de coordonată x (fig.25).

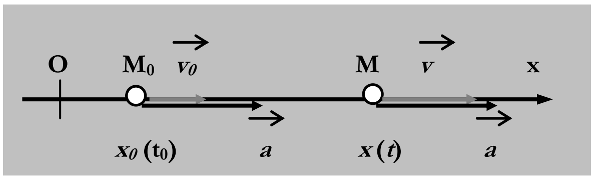


Fig.25

Ne propunem să stabilim:

- variaţia vitezei v în funcţie de timp, adică *legea vitezei*: $v = v(t)$;
- variaţia coordonatei în funcţie de timp, adică *legea de mişcare*: $x = x(t)$;
- variaţia coordonatei de viteză, $x = x(v)$ cunoscută şi sub denumirea de *formula lui Galilei.*

A. LEGEA VITEZEI

Deoarece acceleraţia este constantă, acceleraţia medie în orice interval de timp coincide cu acceleraţia mobilului, a, la orice moment de timp, adică $a = a_m$.

Acceleraţia medie a mobilului în intervalul de timp $\Delta t = t - t_0$ va fi:

$$a_m = \frac{v - v_0}{t - t_0} \Rightarrow a = \frac{v - v_0}{t - t_0}.$$

Legea vitezei în mişcarea rectilinie uniform variată:

$$v(t) = v_0 + a(t - t_0)$$

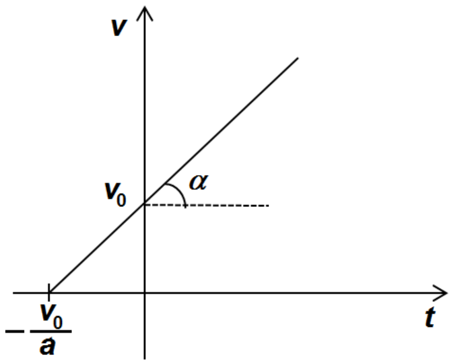
OBSERVAŢIE. Legea vitezei în mişcarea rectilinie uniform variată este un polinom de gradul întâi în timp, adică o funcţie liniară de timp. Graficul legii vitezei este o dreaptă.

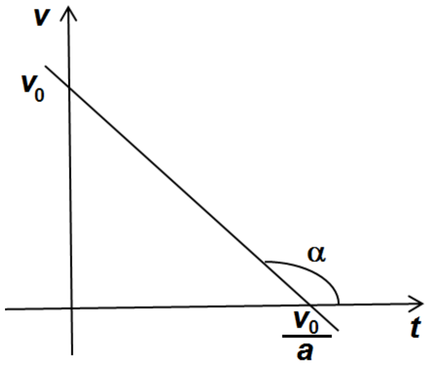
B. REPREZENTAREA GRAFICĂ A LEGII VITEZEI

Reprezentăm grafic legea vitezei $v(t) = v_0 + a(t - t_0)$. Graficul acestei dependenţe (G_x) este o dreaptă în planul tOv. Stabilim intersecţia graficului funcţiei cu axele de coordonate:

- pentru a stabili intersecţia graficului cu axa Ot (abscisa), rezolvăm ecuaţia $v(t) = 0 \Rightarrow t = -\frac{v_0}{a}$
- pentru a stabili intersecţia graficului cu axa Ox, calculăm $v(0) = v_0 + at_0$.

În funcţie de semnele coordonatei iniţiale x_0 şi vitezei v, dreapta ce reprezintă graficul funcţiei $x(t) = x_0 + v(t - t_0)$ este dispusă diferit în planul tOx.





Tangenta unghiului α format de graficul legii vitezei cu axa timpului (panta graficului) este egală cu acceleraţia mobilului $tg\alpha = a$.

C. LEGEA MIŞCĂRII

În cazul unei funcţii de gradul I, valoarea medie a funcţiei pe un interval dat este egală cu media aritmetică a valorilor funcţiei corespunzătore capetelor intervalului. Astfel, în intervalul de timp $\Delta t = t - t_0$ avem:

$$\left.\begin{aligned} v_m &= \frac{v + v_0}{2} = \frac{v_0 + a\,(t - t_0) + v_0}{2} = v_0 + \frac{a\,(t - t_0)}{2} \\ \frac{x - x_0}{t - t_0} &= v_0 + \frac{a\,(t - t_0)}{2} \end{aligned}\right| \Rightarrow x - x_0 = v_0\,(t - t_0) + \frac{a\,(t - t_0)^2}{2},$$

Legea mişcării rectilinii uniform variate:

$$x(t) = x_0 + v_0\,(t - t_0) + \frac{a\,(t - t_0)^2}{2}$$

OBSERVAŢIE. Legea mişcării rectilinii uniform variate este un polinom de gradul doi în timp. Graficul legii mişcării este o parabolă.

D. FORMULA LUI GALILEI

Eliminând timpul t între ecuaţiile care descriu dependenţa de timp a vitezei şi respectiv dependenţa de timp a coordonatei, obţinem dependenţa coordonatei în funcţie de viteză, cunoscută şi sub denumirea de *formula lui Galilei*.

$$v = v_0 + a\,(t - t_0) \Rightarrow t - t_0 = \frac{v - v_0}{a},$$

$$x = x_0 + v_0\,(t - t_0) + \frac{a\,(t - t_0)^2}{2} \Rightarrow x = x_0 + v_0 \cdot \frac{v - v_0}{a} + \frac{1}{2} \cdot a \cdot \left(\frac{v - v_0}{a}\right)^2,$$

$$x = x_0 + \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \Rightarrow 2\,a\,x = 2\,a\,x_0 + v^2 - v_0^2,$$

de unde rezultă, în final, *formula lui Galilei* :

$$v^2 = v_0^2 + 2\,a\,(x - x_0)$$

MIŞCAREA CIRCULARĂ UNIFORMĂ

Dacă legăm un corp de o sfoară şi o învârtim, corpul se mişcă pe un cerc, adică execută o mişcare circulară.

În structura multor mecanisme, maşini-unelte, motoare, intră diferite piese, roţi, osii ale căror particule descriu cercuri în jurul unei axe de rotaţie, deci au o mişcare circulară.

DEFINIŢIE. Spunem că un mobil execută o ***mişcare circulară*** faţă de un SR dat, dacă traiectoria mobilului este un cerc.

OBSERVAŢIE. Mişcarea circulară este un caz particular al mişcării curbilinii, deci, vectorul viteză al mobilului, la orice moment, este tangent la traiectorie în punctul considerat şi are acelaşi sens cu sensul în care se mişcă mobilul pe cerc.

DEFINIŢIE. Spunem că un mobil execută o ***mişcare circulară uniformă*** faţă de un SR dat, dacă traiectoria este un cerc şi viteza mobilului rămâne constantă în modul.

OBSERVAŢII:

- În timpul mişcării circulare uniforme, vectorul viteză, fiind tangent la traiectorie, deşi rămâne constant în modul, îşi schimbă permanent orientarea (fig.27).

- Mobilul care execută o mişcare circulară uniformă străbate arce de cerc egale în intervale de timp egale.

\

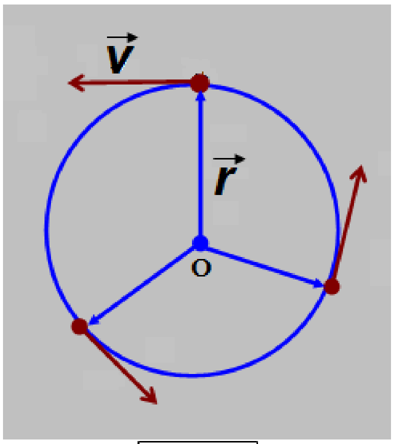


Fig.27

Elementele caracteristice mişcării circulare uniforme sunt:

- raza vectoare $\vec{r}$,
- perioada T,
- turaţia (frecvenţa) ν
- viteza liniară v ,
- viteza unghiulară ω ,
- acceleraţia centripetă (normală) a_{cp} .

Raza vectoare ($\vec{r}$) este un vector cu originea în centrul traiectoriei şi cu vârful pe corpul mobil. Modulul razei vectoare coincide cu raza traiectoriei: $|\vec{r}| = R$

Perioada (T) reprezintă intervalul de timp în care mobilul străbate un cerc complet. După o perioadă, mişcarea se repetă fără ca mobilul să-şi schimbe sensul de mişcare. De aceea spunem că mişcarea circulară este o mişcare periodică continuă; $[T]_{SI}$ = s.

Frecvenţa de rotaţie sau turaţia (ν) reprezintă numărul de rotaţii pe care le execută mobilul într-un interval de timp dat; $[\nu]_{SI} = s^{-1}$.

OBSERVAŢIE. Dacă în intervalul de timp Δt, mobilul aflat în mişcare circulară uniformă efectuează N rotaţii, atunci, $T = \frac{\Delta t}{N}$ şi $\nu = \frac{N}{\Delta t}$, deci $\nu = \frac{1}{T}$

Viteza liniară. Poziţia mobilului pe traiectorie poate fi determinată cu ajutorul coordonatei curbilinii, adică a lungimii arcului de cerc de la un punct-origine O până la mobil, considerată pozitivă în sensul trigonometric (antiorar).

Considerăm un mobil care la momentul iniţial t_0 porneşte din punctul M_1 într-o mişcare circulară uniformă cu viteza *v*. La momentul *t* mobilul trece prin punctul de M_2 În intervalul de timp $\Delta t = t - t_0$, mobilul străbate lungimea arcului de cerc $\Delta s = s - s_0$ (fig.28).

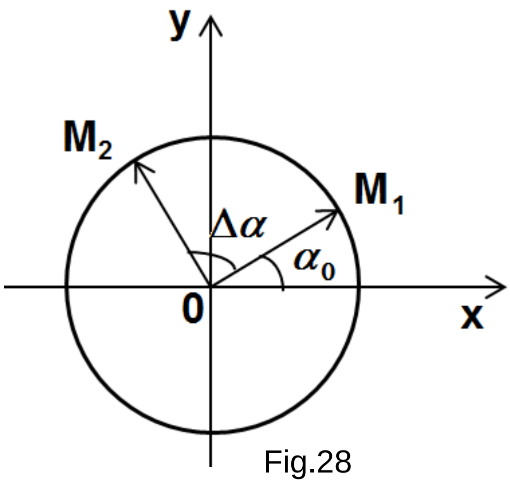


Fig.28

DEFINIŢIE. Se numeşte ***viteza liniară*** a mobilului, *v,* lungimea arcului de cerc străbătut de mobil în unitatea de timp $v = \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$.

OBSERVAŢII.

- Viteza liniară, *v*, a mobilului aflat în mişcare circulară uniformă se consideră pozitivă când mobilul se deplasează în sens trigonometric şi negativă când mobilul se deplasează în sens orar.
- Viteza liniară a mobilului în mişcarea circulară uniformă se mai numeşte *viteză tangenţială* sau *periferică*.

***Viteza unghiulară*.** Poziţia mobilului pe traiectorie mai poate fi determinată şi cu ajutorul *coordonatei unghiulare*, ce reprezintă măsura unghiului la centru, α, format de raza vectoare a mobilului la un moment dat, *t*, cu raza de referinţă CO (fig.28).

OBSERVAŢII:

- Coordonata unghiulară α se consideră pozitivă dacă măsurarea unghiului se realizează în sens trigonometric.
- Unitatea de măsură SI pentru coordonata unghiulară se numeşte radian (rad).

DEFINIŢIE. Se numeşte ***radian*** unghiul la centru care subîntinde un arc de cerc egal cu raza cercului**.**

θ [rad] = $\alpha(rad) = \dfrac{\pi\, \alpha^0}{180}$.

Considerăm un mobil care la momentul iniţial t_0 porneşte din punctul de coordonată unghiulară α_0 într-o mişcare circulară uniformă cu viteza *v*. La momentul *t* mobilul trece prin punctul de coordonată unghiulară α. În intervalul de timp $\Delta t = t - t_0$, raza vectoare a mobilului descrie la centru un unghi $\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0$ (fig.28).

DEFINIŢIE. Se numeşte ***viteză unghiulară*** ω, a unui mobil aflat în mişcare circulară uniformă, unghiul la centru măturat de raza vectoare în unitatea de timp:

$$\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}$$

Conform definiţiei, unitatea de măsură SI pentru viteza unghiulară va fi:

$$[\,\omega\,]_{SI} = \frac{\text{rad}}{\text{s}}\left(\frac{\text{radian}}{\text{secundă}}\right).$$

Pornind de la definiţia vitezei unghiulare se poate stabili legea mişcării circulare uniforme exprimată în mărimi unghiulare,

$$\alpha(t) = \alpha_0 + \omega(t - t_0)$$

OBSERVAŢII:

- Relaţia dintre viteza liniară şi viteza unghiulară: $\left.\begin{array}{l} v = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{R\Delta\alpha}{\Delta t} \\ \omega = \dfrac{\Delta\alpha}{\Delta t} \end{array}\right| \Rightarrow v = \omega R$

- Ţinând seama că într-o perioadă T, mobilul descrie un unghi la centru egal cu 2π rad, rezultă că $\omega T = 2\pi$. Aşadar $T = \dfrac{2\pi}{\omega}$,.

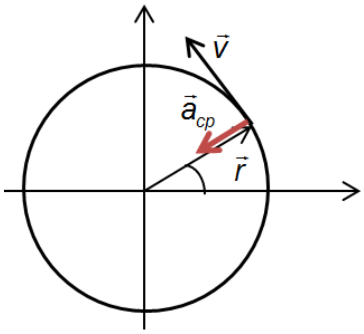
Acceleraţia centripetă. Când mobilul se mişcă uniform pe circumferinţă, viteza lui rămâne constantă în mărime, dar îşi schimbă continuu direcţia (deoarece vectorul viteză rămâne mereu tangent la traiectorie). Apare astfel o acceleraţie centripetă (normală), notată $\vec{a}_{cp}$ sau $\vec{a}_n$, datorită schimbării direcţiei vitezei.

Se demonstrează că acceleraţia centripetă este direct proporţională cu pătratul vitezei liniare şi invers proporţională cu raza cercului, adică:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \omega v = \frac{4\pi^2}{T^2} R = 4\pi^2 \nu^2 R .$$

Vectorul acceleraţie centripetă este orientat pe direcţia razei cercului, spre centrul cercului. Sub formă vectorială se poate scrie:

$$\vec{a}_{cp} = -\omega^2 \vec{r} .$$



Această relaţie vectorială exprimă atât modulul acceleraţiei normale (centripete) cât şi orientarea. În mişcarea circulară uniformă acceleraţia centripetă este constantă ca modul, dar îşi schimbă permanent direcţia.

REZUMAT

Mişcarea rectilinie uniformă

• Spunem că un mobil are o ***mişcare rectilinie uniformă*** faţă de un SR dat, dacă, prin definiţie, traiectoria mobilului este o dreaptă, iar modulul vitezei mobilului, faţă de SR considerat, rămâne constant în timp.

• Legea mişcării rectilinii şi uniforme: $x(t) = x_0 + v\,(t - t_0)$

• Legea mişcării rectilinii uniforme este un polinom de gradul întâi în timp, adică o funcţie liniară de timp. Graficul legii mişcării rectilinii şi uniforme este o dreaptă.

Mişcarea rectilinie uniform variată

• Spunem că un mobil are o ***mişcare rectilinie uniform variată*** faţă de un SR dat, dacă, prin definiţie, traiectoria mobilului este o dreaptă, iar modulul acceleraţiei mobilului, faţă de SR considerat, rămâne constant în timp.

• Mişcarea rectilinie uniform variată este descrisă de următoarele ecuaţii:

- legea vitezei: $v(t) = v_0 + a\,(t - t_0)$;
- legea mişcării: $x(t) = x_0 + v_0\,(t - t_0) + \dfrac{a\,(t - t_0)^2}{2}$;

• formula lui Galilei $v^2 = v_0^2 + 2\,a\,(x - x_0)$ Legea vitezei în mişcarea rectilinie uniform variată este un polinom de gradul întâi în timp, adică o funcţie liniară de timp. Graficul legii vitezei este o dreaptă

• Legea mişcării rectilinii uniform variate este un polinom de gradul doi în timp. Graficul legii mişcării este o parabolă.

Mişcarea circulară uniformă

• Spunem că un mobil execută o ***mişcare circulară uniformă*** faţă de un SR dat, dacă, prin definiţie, traiectoria este un cerc şi viteza mobilului rămâne constantă în modul.

• Legea mişcării circulare uniforme în mărimi unghiulare: $\theta(t) = \theta_0 + \omega\,(t - t_0)$

• Relaţii între mărimile caracteristice mişcării circulare uniforme: $v = R\,\omega$, $T = \dfrac{2\,\pi}{\omega}$,

$\nu = \dfrac{\omega}{2\,\pi}$, $\omega = \dfrac{2\,\pi}{T} = 2\,\pi\,\nu$, $v = R\,\omega = 2\,\pi\,\nu\,R = \dfrac{2\,\pi}{T}\,R$

• Acceleraţia centripetă în mişcarea circulară uniformă: $\vec{a}_{cp} = -\,\omega^2\,\vec{r}$,

$a_{cp} = \dfrac{v^2}{R} = \omega^2\,R = \omega\,v = \dfrac{4\,\pi^2}{T^2}\,R = 4\,\pi^2\,\nu^2\,R$

PRINCIPIILE MECANICII NEWTONIENE

Mecanica clasică a fost elaborată de Isaac Newton[1] şi, de aceea, mai este cunoscută sub denumirea de mecanica newtoniană. La baza mecanicii clasice stau trei legi foarte generale, numite principii:

- principiul I (principiul inerţiei);
- principiul al II-lea (principiul acţiunii forţei);
- principiul al III-lea (principiul acţiunilor reciproce sau principiul acţiunii şi reacţiunii).

Separat de aceste principii, Newton a formulat principiul suprapunerii forţelor. Pe baza acestor principii se pot explica toate fenomenele de mişcare mecanică.

PRINCIPIUL INERŢIEI

Ştim din experienţă că un corp care se găseşte în repaus nu se poate pune în mişcare singur, fără ca asupra lui să acţioneze un alt corp sau sistem de corpuri. Dacă lansăm, însă, o bilă pe o pistă acoperită cu nisip, bila se opreşte foarte repede, iar dacă o lansăm pe o pardoseală lucioasă (cu aceeaşi viteză iniţială), ea se va deplasa mult mai departe, iar pe gheaţă se va mişca şi mai mult. Aceasta deoarece influenţa nisipului asupra bilei este mult mai mare decât influenţa pardoselii şi influenţa pardoselii mai mare decât cea a gheţii. Dacă n-ar exista influenţe exterioare asupra bilei ea ar trebui să se mişte practic la nesfârşit.

Aceste observaţii şi multe altele l-au condus pe Newton (1686) la formularea primului principiu al mecanicii.

PRINCIPIUL INERŢIEI. *Un corp îşi păstrează starea de repaus relativ sau de mişcare rectilinie uniformă în care se află atât timp cât asupra lui nu acţionează alte cauze din exterior care să-i schimbe această stare*.

OBSERVAŢII.

- Principiul inerţiei a fost descoperit încă de Galileo Galilei[2] în anul 1632, care, după numeroase experienţe a ajuns la următoarea concluzie: ”*pentru a menţine un corp în mişcare rectilinie uniformă trebuie eliminate toate influenţele asupra lui din partea tuturor celorlalte corpuri*”.

---

[1] **NEWTON, Sir Isaac** (1642 - 1727), matematician, fizician şi astronom englez. A fost profesor la Universitatea Cambridge. Este fondator al mecanicii clasice (newtoniană) şi al mecanicii cereşti. A elaborat noţiunile de bază ale mecanicii clasice şi a enunţat cele trei principii ce stau la baza acesteia. A enunţat legea atracţiei universale (1687). A avut contribuţii în optică şi în matematică.

[2] **GALILEI, Galileo** (1564-1642), fizician, astronom şi matematician renascentist italian. A fost profesor la Padova şi Pisa. Fondator al mecanicii clasice şi al metodei experimentale în ştiinţă. A descoperit în anul 1583 izocronismul micilor oscilaţii ale pendulului, legile căderii libere a corpurilor, legea inerţiei, legea compunerii vitezelor. A studiat mişcarea pe plan înclinat şi mişcarea proiectilelor şi a introdus corect noţiunile de viteză şi acceleraţie. Adept al sistemului heliocentric copernician, a fost silit de inchiziţie să-şi retracteze afirmaţiile negându-şi public convingerile.

- Din practică se ştie, de exemplu, că mişcarea rectilinie uniformă a unui vehicul trebuie permanent întreţinută prin acţiunea din exterior. Vehiculul trebuie tras, împins sau trebuie acţionat de un motor. Aceasta deoarece în realitate există totdeauna acţiuni ce se opun mişcării, de obicei frecări, care trebuie compensate.

Pentru a pune în mişcare un corp, pentru a-l opri sau pentru a-i curba traiectoria trebuie să acţionăm asupra sa. La orice acţiune exterioară, care caută să-i schimbe starea de repaus sau de mişcare rectilinie uniformă, corpul se opune.

- Ştim de la cinematică că repausul şi mişcarea unui corp sunt relative şi depind de alegerea sistemului de referinţă. Corpul pe care îl studiem poate să fie în repaus, mişcare rectilinie uniformă, accelerată sau orice alt fel de mişcare ne putem închipui, privit din diferite sisteme de referinţă, indiferent ce forţe acţionează sau nu asupra lui. E vreo problemă cu principiul inerţiei? Nicidecum!. Putem să facem o clasificare a sistemelor de referinţă în sisteme de referinţă pentru care principiul I este valabil şi sisteme de referinţă în care acesta nu este valabil.

DEFINIŢIE: Sistemele de referinţă din care vedem corpul studiat mişcându-se cu viteză constantă sau îl vedem în repaus atunci când asupra lui NU acţionează nici un alt corp se numesc **sisteme de referinţă inerţiale (SRI).** Celelalte sisteme de referinţă se numesc neinerţiale (accelerate).

Conform principiului inerţiei, mişcarea rectilinie uniformă se autoîntreţine. Orice acţiune exterioară strică o astfel de mişcare curbând traiectoria sau modificând mărimea vitezei adică produce o acceleraţie.

DEFINIŢIE. Se numeşte ***inerţie*** proprietatea unui corp de a se opune la orice acţiune exterioară care tinde să-i schimbe starea repaus sau de mişcare rectilinie uniformă în care se află.

Efectele inerţiei le simţim cu toţii la pornirea sau oprirea bruscă a unui mijloc de transport în care ne aflăm sau când acesta virează, schimbându-şi direcţia de mers.

Dacă ne aflăm într-un vagon de tramvai şi acesta porneşte din repaus avem tendinţa de a cădea pe spate; aceasta deoarece, datorită inerţiei, corpul nostru se opune schimbării stării de repaus, iar picioarele ne sunt antrenate de mişcarea tramvaiului. Când tramvaiul se găseşte în mişcare rectilinie uniformă, noi ne mişcăm împreună cu el. Dacă îşi încetineşte brusc mişcarea, suntem proiectaţi în faţă deoarece, în virtutea inerţiei, vrem să ne continuăm mişcarea uniformă rectilinie în care ne găsim.


Galileo Galilei

Se constată că inerţia corpurilor este cu atât mai pronunţată cu cât corpurile sunt mai masive, adică cu cât conţin mai multă substanţă.

DEFINIŢIE. Se numeşte ***masă*** mărimea fizică care caracterizează cantitativ inerţia corpurilor, fiind proporţională cu cantitatea de substanţă conţinută în corp.

Masa unui corp se notează de obicei cu litera *m* sau *M*. Unitatea de măsură SI pentru masă: $[m]_{\mathrm{SI}} = \mathrm{kg}$.

FORŢA

DEFINIŢIE. Influenţele pe care le exercită corpurile unele asupra altora se numesc ***interacţiuni***.

În fizică se cunosc patru tipuri de interacţiuni:
- *interacţiuni gravitaţionale,* care se manifestă între toate corpurile din natură;
- *interacţiuni electromagnetice,* care se manifestă între corpurile încărcate cu sarcină electrică în repaus sau în mişcare;
- *interacţiuni tari (nucleare),* care se manifestă în unele procese din interiorul nucleului atomic;
- *interacţiuni slabe,* care se manifestă în unele procese de dezintegrare radioactivă.

DEFINIŢIE. ***Forţa*** este o mărime fizică vectorială care caracterizează interacţiunea dintre corpuri.

OBSERVAŢIE.
Efectele forţelor asupra corpurilor sunt:
- *efectul dinamic* care constă în modificarea stării de mişcare a corpurilor
- *efectul static* care constă în deformarea corpurilor.

PRINCIPIUL FUNDAMENTAL AL MECANICII

Efectul dinamic al forţelor ne arată că ele modifică viteza corpurilor adică imprimă corpurilor o acceleraţie. Experienţele efectuate cu diverse corpuri au condus la următoarele concluzii:
- acceleraţia a imprimată unui corp de o forţă F este direct proporţională cu forţa şi invers proporţională cu masa m a corpului: $a \sim F / m$;
- vectorul acceleraţie $\vec{a}$ are aceeaşi orientare ca şi vectorul forţă $\vec{F}$.

Isaac Newton după numeroase observaţii şi experienţe efectuate cu diferite corpuri aflate în diverse stări de mişcare, după studii temeinice, a formulat principiul al doilea al mecanicii:

Principiul acţiunii forţei: *Forţa ce acţionează asupra unui corp este egală cu produsul dintre masa corpului şi acceleraţia imprimată, de forţa dată, corpului:*

$$\vec{F} = m\,\vec{a}$$

Observaţii:
- În ecuaţia $\vec{F} = m\vec{a}$, cunoscută şi sub denumirea de *ecuaţia fundamentală a dinamicii*, $\vec{F}$, reprezintă în realitate rezultanta tuturor forţelor ce acţionează asupra corpului.
- În ecuaţia, $\vec{F} = m\vec{a}$ forţa poate fi de orice natură: forţă gravitaţională, forţă de frecare, forţă elastică, forţă electrică etc.
- Principiul II este valabil doar în sisteme de referinţă inerţiale şi forma acestuia nu se schimbă la trecerea de la un SRI la altul.
- Dacă asupra unui corp aplicăm forţa $\vec{F}$, atunci corpul se va deplasa uniform accelerat cu acceleraţia $\vec{a} = \frac{1}{m}\vec{F}$ unde m este o constantă de proporţionalitate având dimensiunea unei mase. Numim această constantă masa inerţială.

- Vectorul forţă şi vectorul acceleraţie au aceeaşi direcţie şi acelaşi sens (m > 0).

- Unitatea de măsură SI a forţei o putem stabili:

$$[F]_{SI} = [m]_{SI} \cdot [a]_{SI} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N}.$$

*Un **newton** este forţa care, acţionând asupra unui corp cu masa de un kilogram îi imprimă acestuia o acceleraţie de un metru pe secundă la pătrat.*

- Valoarea unei forţe se măsoară cu dinamometrul.
- Se observă din expresia Principiului II că pentru o forţă constantă, efectul (adică acceleraţia) este cu atât mai mic cu cât masa inerţială a corpului este mai mare. Am definit inerţia ca şi tendinţă a corpurilor de a-şi păstra starea de repaus sau mişcare rectilinie uniformă. Corpurile reuşesc acest lucru (să-şi păstreze starea de repaus sau mişcare rectilinie uniformă) cel mai uşor atunci când masa lor inerţială este mare.

Într-o primă formulare putem spune că masa (inerţială) este o măsură a inerţiei corpurilor. Dar această definiţie nu ne arată cum să măsurăm mărimea fizică numită masă (inerţială).

Pe de altă parte, pornind de la principiul II vedem că putem defini masa inerţială ca şi raportul dintre mărimea rezultantei forţelor şi mărimea acceleraţiei corpului *a*. Dacă folosim această ecuaţie ca şi formulă de definiţie a masei inerţiale, avem şi modul de măsurare: forţele le măsurăm cu un dinamometru iar acceleraţia corpului o măsurăm cu o riglă şi cu un cronometru. Calculând apoi raportul rezultatelor măsurătorilor obţinem masa inerţială a corpurilor. Operaţii cam complicate dacă trebuie să cumpărăm 2 kg de castraveţi de la piaţă.
Măsurarea masei nu se face, practic, aproape niciodată aşa. De obicei aşezăm corpul pe o balanţă şi determinăm cu ajutorul acesteia valoarea masei exprimată în kilograme. De fapt prin această metodă determinăm mărimea forţei de interacțiune dintre corp şi Pământ. Rezultatul acestei măsurători este de fapt masa gravitaţională.

În principiu, masa inerţială şi cea gravitaţională NU sunt întotdeauna identice.

- Masa gravitaţională se referă la un fenomen specific: interacţiunea gravitaţională
- Masa inerţială este constanta de proporţionalitate care leagă acceleraţia unui corp de forţele care produc acea acceleraţie. Cele două mase se referă la proprietăţi diferite şi deci, în principiu, nu ar avea nevoie să fie egale.

Toate experimentele au indicat că, în limita erorilor experimentale, masa inerţială (măsurată conform definiţiei) şi masa gravitaţională (măsurată cu balanţa) sunt egale. În cadrul relativităţii generalizate se constată că apar diferenţe.

Impulsul este o mărime fizică vectorială ce caracterizează cantitatea de mişcare pe care o posedă un corp

$$\vec{p} = m\,\vec{v}$$

Rescriem principiul fundamental al dinamicii

$$\vec{F} = m\,\vec{a} \Rightarrow \vec{F} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \Rightarrow \vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$$

Obţinem formularea dată de Newton principiului fundamental al dinamicii '*Modificarea mişcării este proporţională cu forţa motorie imprimată; şi ea are loc în direcţia liniei drepte pe care acţionează forţa.'*

PRINCIPIUL ACŢIUNILOR RECIPROCE

După cum ştim, un corp lăsat liber cade, deoarece este atras de Pământ. Dacă aşezăm, însă, el pe masă corpul nu mai cade, deşi Pământul continuă să-l atragă. Ajungem astfel la concluzia că asupra corpului aşezat pe masă trebuie să acţioneze o forţă îndreptată în sus care-l împiedică să cadă.

Plecând de la aceste observaţii, Newton a formulat cel de-al treilea principiu al mecanicii.

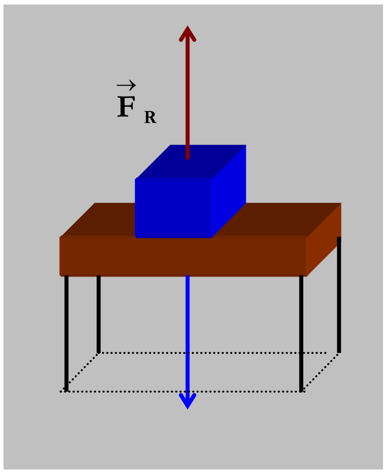


Fig.29

PRINCIPIUL ACŢIUNILOR RECIPROCE.
Când un corp acționează asupra altui corp cu o forță (numită forță de acțiune), cel de-al doilea corp acționează și el asupra primului cu o forță (numită forță de reacțiune) de aceeași mărime și de aceeași direcție, dar de sens contrar.

OBSERVAŢII.

- Principiul acţiunilor reciproce mai este cunoscut şi sub denumirea de *principiul acţiunii şi reacţiunii*. Forţa care acţionează asupra corpului se numeşte, de obicei, *forţă de acţiune* ($\vec{F}_a$), iar forţa cu care corpul reacţionează se numeşte *forţă de reacţiune* ($\vec{F}_r$). Conform principiului acţiunilor, reciproce cele două forţe sunt egale în modul şi de sens opus: $\vec{F}_a = -\vec{F}_r$.

- Deşi forţele de acţiune şi reacţiune sunt egale în modul şi de sens opus ele nu-şi fac echilibru, deoarece ele acţionează asupra unor corpuri diferite.

- Principiul acţiunilor reciproce arată că forţele se manifestă numai când interacţionează corpurile şi apar întotdeauna în perechi.

În exemplul de mai sus corpul *acţionează* asupra suprafeţei mesei cu greutatea lui, iar *reacţiunea* este forţa cu care masa apasă asupra corpului de jos în sus. Forţa de acţiune, $\vec{F}_a$, se exercită asupra mesei, iar forţa de reacţiune, $\vec{F}_r$, se exercită asupra corpului.

O barcă aflată pe lac este legată cu o frânghie de un pom de pe mal. Pentru a apropia barca de mal, omul din barcă trage de frânghie. Forţa de acţiune cu care omul trage frânghia este egală şi de sens contrar cu forţa de reacţiune care deplasează barca spre mal.

TIPURI DE FORŢE

A. GREUTATEA CORPURILOR

Interacţiunea dintre corpuri se realizează fie prin contactul lor nemijlocit, fie la distanţă prin intermediul unui câmp fizic. Un asemenea câmp este câmpul gravitaţional. Câmpul gravitaţional este generat de o masă de substanţă şi se manifestă prin forţe de atracţie, către corpul care a generat câmpul, a tuturor corpurilor din spaţiul cu câmp. Datorită existenţei câmpului gravitaţional, Pământul şi orice corp de la suprafaţa se atrag reciproc.

DEFINIŢIE. Forţa cu care un corp este atras de Pământ se numeşte ***greutate*** a corpului.

Orice corp ridicat deasupra suprafeţei Pământului şi lăsat liber, într-o incintă vidată, cade accelerat spre Pământ. Acceleraţia căderii libere, în vid, denumită *acceleraţie gravitaţională*, se notează cu g şi are aceeaşi valoare pentru toate corpurile, într-un loc dat pe suprafaţa Pământului, indiferent de natura, dimensiunile şi masa acestora, $g \approx 9{,}8\,m/s^2$

OBSERVAŢIE. Acceleraţia gravitaţională, g, depinde de altitudine şi puţin de latitudine, astfel:

- acceleraţia gravitaţională scade pe măsură ce creşte altitudinea;
- acceleraţia gravitaţională are valoarea maximă la poli: $g_M = 9{,}832\,m/s^2$ şi valoarea minimă la ecuator: $g_m = 9{,}781\,m/s^2$; la nivelul mării şi la paralela 45^0, acceleraţia gravitaţională are valoarea: $g_0 = 9{,}806\,m/s^2$.

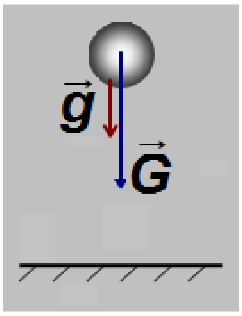


Fig.30

Conform principiului acţiunii forţei $\vec{F} = m\vec{a}$, în cazul căderii libere a unui corp de masă m, în vid (fig.30), rezultă:

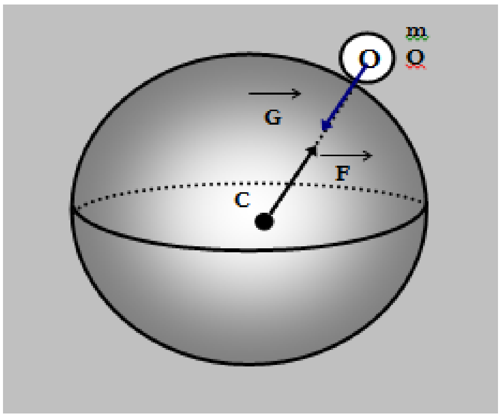
$$\vec{G} = m\vec{g}$$

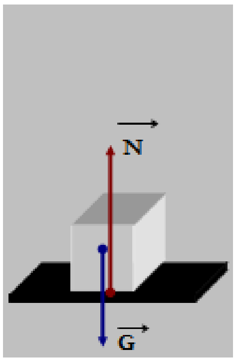
Vectorul greutate $\vec{G}$ are următoarele caracteristici (fig.30):

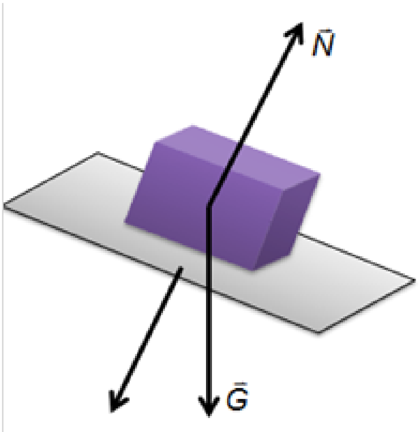
- *punctul de aplicaţie* este centrul de greutate, O, al corpului;
- *direcţia* coincide cu raza terestră, CO, corespunzătoare locului în care se află corpul;
- *sensul* este dinspre centrul de greutate al corpului, O, către centrul Pământului, C.

OBSERVAŢIE. Conform principiului acţiunilor reciproce şi corpul de masă m acţionează asupra Pământului cu o forţă *egală* în modul şi de sens *contrar* : $\vec{F} = -\vec{G}$

Corpurile de la suprafaţa Pământului care nu sunt libere, ci se află pe un suport sau sunt suspendate de un fir, acţionează cu o forţă egală cu greutatea asupra suportului sau firului.



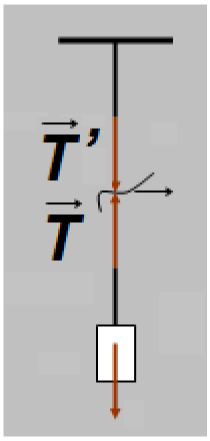




Orice corp aşezat pe o suprafaţă orizontală acţionează asupra acesteia cu greutatea lui $\vec{G}$; conform principiului acţiunilor reciproce, însă şi suprafaţa acţionează asupra corpului cu o forţă egală în modul şi de sens contrar, $\vec{N}$, *forţa de reacţiune normală,* perpendiculară pe suprafaţă, astfel încât corpul va fi în repaus.

În orice secţiune transversală a unui fir de care este suspendat un corp acţionează două forţe egale în modul şi opuse ca sens. Oricare din aceste două forţe se numeşte *tensiune elastică* din fir şi se notează cu *T*.

Dacă masa firului este neglijabilă, tensiunea elastică din fir are aceeaşi valoare în orice secţiune transversală a firului. Când corpul suspendat este în repaus sau când se mişcă rectiliniu uniform, faţă de un sistem de referinţă inerţial (în care este valabil principiul inerţiei), atunci tensiunea din fir este egală cu greutatea corpului suspendat (fig. 31).



La contactul a două corpuri apar de obicei două tipuri de forţe:
1) Forţe de reacţiune din partea suprafeţelor în contact, perpendiculare pe suprafaţa de contact a corpurilor (forţe de reacţiune normală)
2) Forţe de frecare, în planul suprafeţei de contact, atunci când există tendinţa de mişcare relativă a celor două corpuri.

Forţa de frecare apare datorită întrepătrunderii asperităţilor şi neregularităţilor microscopice ale celor două suprafeţe în contact şi sunt orientate în sens opus tendinţei de mişcare relativă a suprafeţelor în contact.

B. FORŢA DE FRECARE.

a) Forţa de frecare. Dacă o sanie este împinsă pe o suprafaţă orizontală, iar după ce a căpătat o anumită viteză asupra saniei nu mai acţionează forţa de tracţiune, în virtutea inerţiei, sania, îşi continuă mişcarea, dar treptat viteza se va micşora până când se va opri. Cauza care a făcut ca sania să se oprească trebuie să fie o forţă care a acţionat asupra ei pe direcţia şi în sens contrar sensului de mişcare.

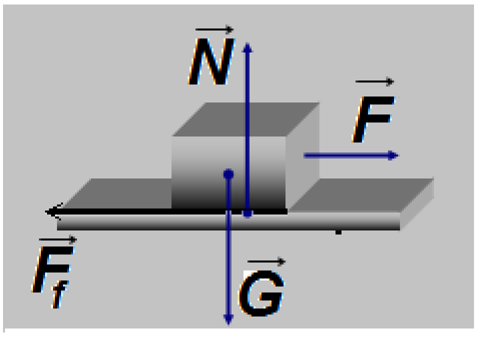


Fig. 32

DEFINIŢIE. Forţa care apare în timpul mişcării unui corp pe suprafaţa altui corp şi care se opune mişcării se numeşte ***forţă de frecare***.

Forţa de frecare, $\vec{F}_f$, acţionează în lungul suprafeţei de contact (tangenţial la suprafaţa de contact) şi este îndreptată în sens contrar vitezei corpului (fig.32). Datorită forţei de frecare, mişcarea corpului este încetinită.
Experimental s-a constat că valoarea forţei de frecare este direct proporţională cu valoarea forţei de apăsare pe plan $F_f = k \cdot N$.

– când cele două corpuri se află în repaus unul faţă de celălalt coeficientul *k* se numeşte coeficient de frecare static, notat cu k_s
– când cele două corpuri se deplasează unul faţă de celălalt coeficientul *k* se numeşte coeficient de frecare cinetic k_c

S-a constatat experimental că pentru toate corpurile coeficientul de frecare static k_s este mai mare decât coeficientul de frecare cinetică (dinamică) k_c. Asta înseamnă că e nevoie de o forţa mai mare pentru mişcarea de pe loc a unui obiect greu, dar, odată corpul pus în mişcare, forţa de frecare va avea o valoare mai mică.

Forţa de frecare se manifestă nu numai la contactul dintre corpurile solide, ci şi la contactul dintre un corp solid şi un mediu fluid. De asemenea, frecarea se manifestă atât la contactul între două medii fluide cât şi în mediul fluid în mişcare. Din această cauză, pentru deplasarea unei nave în apă sau pentru deplasarea lichidelor sau a gazelor prin conducte orizontale sunt necesare motoare, pompe sau compresoare care să învingă forţele de frecare.

OBSERVAŢIE. În planul de contact (planul alunecării) apar de fapt *două* forţe de frecare, *acţiunea* şi *reacţiunea*, egale în modul şi de sensuri contrare, una acţionând asupra corpului şi cealaltă asupra planului.

Frecarea este un fenomen dăunător, dar şi util. Frecarea este dăunătoare atunci când apare între diferite piese mobile ale unei maşini, deoarece micşorează randamentul acesteia şi produce uzura pieselor. Într-adevăr, datorită frecării, o maşină consumă energie suplimentară necesară învingerii forţelor de frecare. Astfel, la un automobil care circulă cu viteză constantă pe un drum orizontal, motorul trebuie să funcţioneze consumând combustibil, pentru a putea învinge forţele de frecare, care sunt:

- forţa de frecare a caroseriei maşinii cu aerul;
- forţa de frecare în interiorul maşinii, între piesele mobile în mişcare (din motor şi transmisie);
- forţa de frecare de rostogolire a roţilor pe drum.

Frecarea este, însă, şi utilă. Astfel, dacă nu ar exista forţa de frecare, nu am putea merge, piciorul alunecându-ne înapoi, nu ar putea ţine îmbinările la diferite piese de maşini, s-ar desface piuliţele de şuruburi, cuiele ar ieşi afară, ar aluneca curelele de transmisie pe roţi şi nu ar mai fi posibilă transmiterea mişcării, ar aluneca roţile autovehiculelor pe şosea, ceea ce ar împiedica mişcarea acestora etc.

b) Frecarea de alunecare şi frecarea de rostogolire. Frecarea între două corpuri poate avea loc în două feluri.

Dacă un corp alunecă pe suprafaţa altui corp, cum alunecă sania pe zăpadă, pistonul în interiorul cilindrului, bandajul roţilor pe saboţii de frâne etc., atunci are loc o *frecare de alunecare* .

La o astfel de frecare, aceeaşi suprafaţă a corpului în mişcare este în contact permanent cu suprafaţa pe care alunecă. Dacă un corp cilindric se rostogoleşte pe o suprafaţă, se produce o *frecare de rostogolire.* Astfel, la mişcarea roţilor unui autocamion pe şosea sau a unei bile pe o suprafaţă netedă, are loc frecarea de rostogolire. La o astfel de frecare, diferitele puncte ale corpului cilindric vin în contact cu suprafaţa de rostogolire.

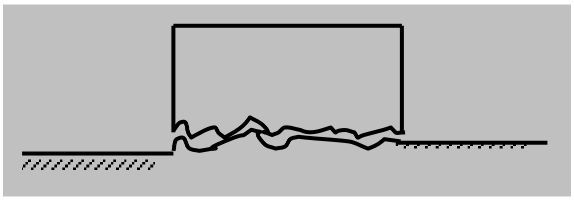


Fig. 33

Suprafeţele în contact observate la microscop.

Frecarea de alunecare se explică prin faptul că suprafeţele în contact nu sunt netede, adică au mici asperităţi, oricât de bine ar fi şlefuite (fig.33). Prin alunecarea suprafeţelor, asperităţile se întrepătrund, împiedicând mişcarea. Când apăsarea dintre suprafeţe este mare, asperităţile sunt smulse, fapt care măreşte forţa de frecare. În acest fel se explică uzura pieselor în mişcare, de exemplu, la frecarea osiilor în interiorul lagărelor.

Frecarea de rostogolire se produce când ambele suprafeţe care vin în contact sau numai una dintre ele se deformează sub acţiunea forţei normale pe suprafaţa de sprijin. Frecarea de rostogolire este cu mult mai mică decât frecarea de alunecare. Astfel, împingerea unei piese grele se face mult mai uşor, dacă între piesă şi suprafaţa de deplasare se aşează doi cilindri. Tocmai de aceea, în tehnică, frecarea de alunecare este înlocuită, pe cât posibil, prin frecarea de rostogolire. Pentru aceasta se folosesc rulmenţii cu bile sau rulmenţii cu role. Prin folosirea rulmenţilor, forţele de frecare sunt micşorate, iar randamentul maşinilor creşte.

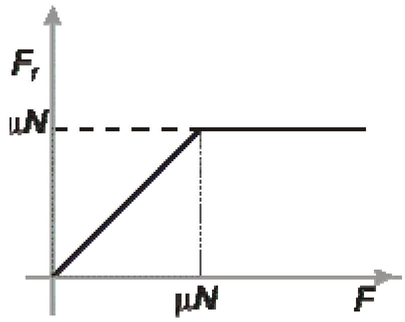
Legile frecării de alunecare. Frecarea de alunecare se studiază cu ajutorul unui dispozitiv numit *tribometru*. S-au stabilit astfel, pe cale experimentală, legile frecării de alunecare.

LEGEA I. *Forţa de frecare (statică şi de alunecare) este direct proporţională cu forţa exercitată pe suprafaţa de contact şi nu depinde de mărimea acestei suprafeţe*:

$$F_f = \mu N$$

Coeficientul de proporţionalitate, notat cu litera grecească μ (miu), se numeşte *coeficient de frecare.*

În figura alăturată este reprezentată dependenţa forţei de frecare de mărimea forţei de tracţiune aplicat unui corp aflat pe un plan orizontal. Dacă $F < F_{f\,s\max} = \mu N$ corpul este în repaus.



LEGEA a II-a. *Coeficientul de frecare la alunecare depinde de natura corpurilor aflate în contact.*

LEGEA a III-a. *Coeficientul de frecare la alunecare depinde de gradul de şlefuire al suprafeţelor aflate în contact (scade pe măsură ce gradul de şlefuire este mai ridicat).*

Reguli ce trebuie respectate în aplicarea principiului II al mecanicii:

1. se alege sistemul de referinţă (un sistem de axe xoy, axa ox fiind pe direcţia şi în sensul mişcării corpului).
2. se figurează forţele ce acţionează asupra fiecărui corp în parte;
3. se descompun forţele pe axele ox, respectiv pe oy
4. se aplică principul II pentru fiecare corp în parte pe fiecare axă

Aplicaţie

Planul înclinat.

Orice plan care formează un unghi diedru cu planul orizontal se numeşte ***plan înclinat***.

1. Vom calcula acceleraţia unui corp lăsat să alunece liber pe planul înclinat considerând că între corp şi suprafaţa planului nu există frecări.

Asupra corpului acţionează:

- greutatea $\vec{G}$
- reacţiunea normală din partea planului înclinat $\vec{N}$

Pentru aceasta descompunem greutatea $\vec{G}$ în două componente (fig. IV.14) :

- componenta paralelă cu planul înclinat (*greutatea tangenţială*) $\vec{G}_t$;

- componenta perpendiculară pe planul înclinat (*greutatea normală)* $\vec{G}_n$.

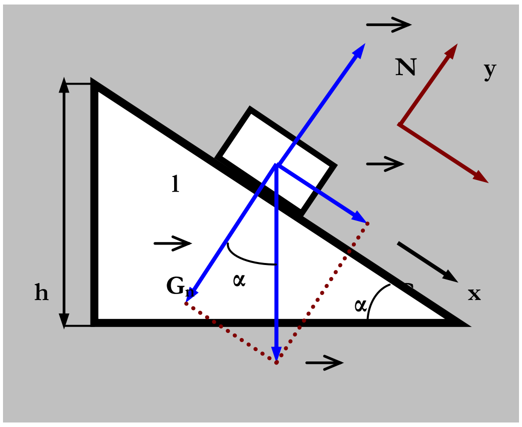


Fig.34

Atunci $\vec{G} = \vec{G}_t + \vec{G}_n$

Observăm faptul că $G_t = G\sin\alpha$ şi $G_n = G\cos\alpha$

Conform principiului fundamental al dinamicii, $m\vec{a} = \vec{G} + \vec{N}$.

Proiectând ecuaţia vectorială pe axele de coordonate, obţinem sistemul:

$$\left\{\begin{array}{l} m\,a = G_t \\ 0 = N - G_n \end{array}\right| \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} a = g\sin\alpha \\ N = mg\cos\alpha \end{array}\right.$$

2. Vom calcula acceleraţia unui corp lăsat să alunece liber pe planul înclinat considerând că între corp şi suprafaţa planului există frecări.

Asupra corpului acţionează:

- greutatea $\vec{G}$
- reacţiunea normală din partea planului înclinat $\vec{N}$
- forţa de frecare dintre corp şi suprafaţa planului $\vec{F}_f$

$$m\vec{a}_c = \vec{G} + \vec{N} + \vec{F}_f$$

Proiectând ecuaţia vectorială pe axele de coordonate, obţinem sistemul:

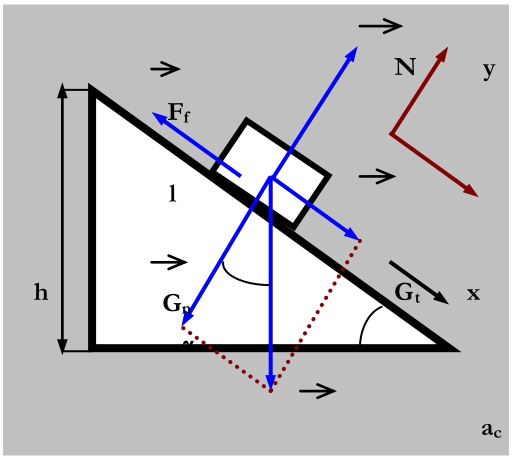
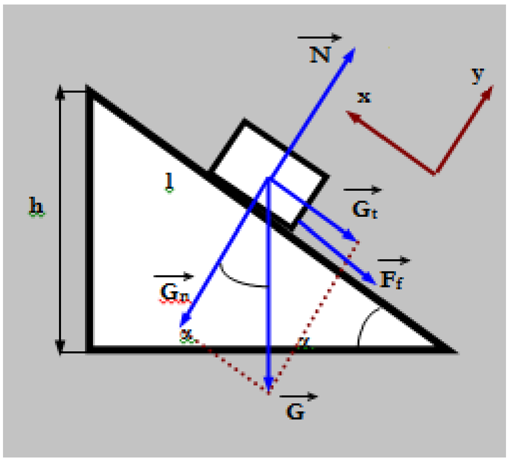


Fig. 35

$$\left\{\begin{array}{l} ma_c = G_t - F_f \\ 0 = N - G_n \end{array}\right| \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} a_c = g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha \\ N = mg\cos\alpha \end{array}\right.$$

În cazul în care corpul este lansat în sus de-a lungul planului cu frecare, ecuaţia fundamentală a dinamicii se scrie: $m\vec{a}_u = \vec{G} + \vec{N} + \vec{F}_f$



Proiectând ecuaţia vectorială pe axele de coordonate, obţinem sistemul:

$$\begin{cases} m\,a_u = -G_t - F_f \\ 0 = N - G_n \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a_u = -g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha \\ N = mg\cos\alpha \end{cases}$$

3. Pe un scripete ideal este trecut un fir. La capetele firului se află două corpuri cu masele m_1, respectiv $m_2 > m_1$. Firul este considerat ideal. Vom calcula acceleraţia corpurilor şi valoarea tensiunii din fir.

Reprezentăm toate forţele din sistem, separăm mintal corpurile şi scriem principiul al II-lea al dinamicii pentru fiecare corp în parte:

- pentru corpul de masă m_1: $\vec{T} + \vec{G}_1 = m_1\vec{a}$
- pentru corpul de masă m_2: $\vec{T} + \vec{G}_2 = m_2\vec{a}$.

Proiectând ecuaţiile vectoriale de mai sus axa Ox, obţinem sistemul:

$$\begin{cases} G_1 - T = m_1\,(-a) \\ G_2 - T = m_2\,a. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = \dfrac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}g \\ T = \dfrac{2\,m_1\,m_2}{m_1 + m_2}g \end{cases}$$

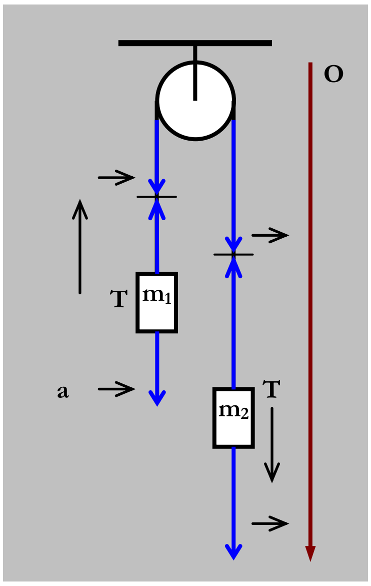


Fig. 36

C. FORŢA ELASTICĂ.

a) Deformarea corpurilor.

Un corp îşi poate schimba starea de mişcare sau se poate deforma, sub acţiunea unor forţe exterioare aplicate lui.

DEFINIŢIE. Schimbarea dimensiunilor sau formei unui corp sub acţiunea unor forţe exterioare se numeşte ***deformare***.

Deformarea unui corp poate fi:

- *elastică,* dacă după încetarea acţiunii forţelor exterioare corpul revine total la forma şi volumul avute iniţial;
- *plastică,* dacă după încetarea acţiunii forţelor exterioare corpul revine parţial sau nu mai revine la forma şi volumul avute iniţial.

Exemple de deformări: întinderea, comprimarea, torsiunea, încovoierea, etc. Forţele sub acţiunea cărora au loc deformările corpurilor se numesc *forţe de solicitare* sau *tensiuni*.

DEFINIŢIE. Forţele care apar în interiorul corpurilor supuse unor tensiuni, opunându-se acestora şi care readuc corpurile la forma şi volumul avute iniţial, după încetarea acţiunii tensiunilor se numesc ***forţe elastice***.

Examinăm acum deformaţia prin întindere a unei bare elastice, de lungime iniţială l_0 şi secţiune transversală S, suspendată vertical la un capăt şi supusă unei tensiuni $\vec{F}$ la capătul opus (fig. 37). În bară apare o forţă elastică $\vec{F}_e$, egală şi de sens opus cu tensiunea $\vec{F}$. Sub acţiunea tensiunii $\vec{F}$, bara se alungeşte cu $\Delta\ell = \ell - \ell_0$.

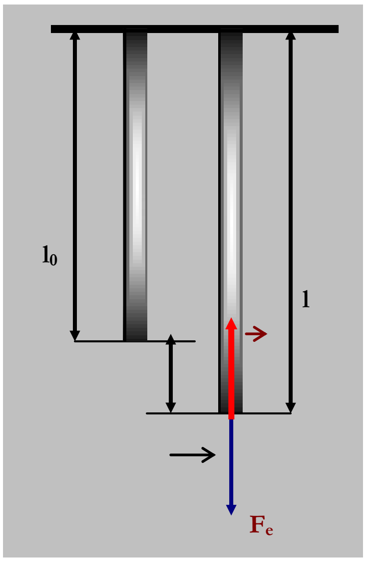


Fig.37

- *alungirea absolută* reprezintă mărimea $\Delta\ell$.
- *alungirea relativă* reprezintă raportul dintre alungirea absolută şi lungimea iniţială, $\frac{\Delta\ell}{\ell_0} = \varepsilon$ (epsilon)
- *efortul unitar reprezintă* raportul dintre valoarea tensiunii F şi aria secţiunii transversale S, $\frac{F}{S} = \sigma$ (sigma),

Experimental s-a stabilit că:

$\Delta\ell \approx \ell_0$;

$\Delta\ell \approx F$;

$\Delta\ell \approx \frac{1}{S}\Delta l$;

$\Delta\ell$ depinde de natura materialului supus solicitării.

Proporţionalitatea dintre deformaţiile elastice ale unui corp şi tensiunile la care este supus acesta a fost stabilită experimental pentru prima dată de către fizicianul englez Robert Hooke[6] în anul 1678. Acesta a enunţat ***legea deformărilor elastice*** (care-i poartă numele).

[6] **HOOKE,** Robert (1635 – 1703) fizician şi filozof englez. Profesor la Gresham. Contribuţii în astronomie, optică, mecanică, biologie. A descoperit a cincea stea din constelaţia Orion, rotaţia planetei Jupiter şi forma eliptică a orbitei descrisă de centrul de gravitaţie al sistemului Pământ – Lună. Examinând irizaţia colorată a filmelor şi a

LEGEA LUI HOOKE. În domeniul deformărilor elastice ale corpurilor solide, alungirea relativă (deformaţia relativă) este direct proporţională cu efortul unitar:

$$\varepsilon = \frac{1}{E}\sigma$$

Mărimea fizică E care intervine în expresia legii lui Hooke este o constantă ce depinde de natura materialului supus solicitării şi este cunoscută sub denumirea de *modul de elasticitate longitudinal* sau *modulul lui Young*[7] şi unitatea ei de măsură SI este: $[E]_{SI} = N/m^2$.

Din legea lui Hooke rezultă:

$$\sigma = \varepsilon E \Rightarrow \frac{F}{S} = E \cdot \frac{\Delta l}{l_0} \Rightarrow F = \left(\frac{E \cdot S}{l_0}\right) \cdot \Delta l \Rightarrow F = k \cdot \Delta l\ ,$$

unde mărimea $k = \dfrac{E \cdot S}{l_0}$ este o constantă caracteristică fiecărui corp supus deformării, denumită constantă elastică, având unitatea de măsură SI $[k]_{SI}$ = N/m.

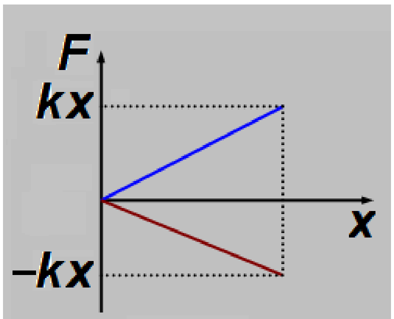


Fig.38

Notând $\Delta\ell = x \Rightarrow F = kx$, adică, în cazul deformărilor elastice, *mărimea forţei de solicitare exterioară (mărimea tensiunii) F este direct proporţională cu valoarea deformaţiei corpului supus solicitării* x (fig.38).

Cum forţa elastică $\vec{F}_e$, care apare în interiorul corpului deformat elastic, este egală şi de sens opus cu tensiunea $\vec{F}$, putem scrie:

$$\vec{F}_e = -k\vec{x}$$

adică, *mărimea forţei elastice* F_e *este direct proporţională cu mărimea deformaţiei* x *şi orientată în sens opus creşterii acesteia* (fig. 38).

lamelor transparente, a interpretat-o ca datorându-se fenomenului de interferenţă. A stabilit proporţionalitatea dintre deformaţiile elastice ale unui corp şi tensiunile la care este supus acesta (legea lui H.).

[7] **YOUNG,** Thomas (1773 – 1829), fizician şi medic englez. Prof. univ. la Londra. Contribuţii în domeniile opticii, elasticităţii, fiziologiei. A fundamentat teoria ondulatorie a luminii şi optica fiziologică. A explicat mecanismul acomodării ochiului (prin deformarea cristalinului), a descris şi a măsurat astigmatismul, descoperind cauzele acestuia (1801) şi a intuit procesul perceperii culorilor. A cercetat fenomenele capilare şi tensiunea superficială a lichidelor precum şi circulaţia sângelui. Cercetări privind fenomenul de interferenţă a luminii. A definit noţiunea de coerenţă a undelor luminoase şi un modul de elasticitate (modulul Y.) pentru caracterizarea elasticităţii corpurilor.

Rezumat: Principiile mecanicii clasice

La baza mecanicii clasice stau trei legi foarte generale, numite principii :

- ✓ ***Principiul inerţiei***: *Un corp îşi păstrează starea de repaus relativ sau de mişcare rectilinie uniformă în care se află atât timp cât asupra lui nu acţionează alte corpuri care să-i schimbe această stare.*
- ✓ ***Principiul acţiunii forţei***: *Forţa ce acţionează asupra unui corp este egală cu produsul dintre masa corpului şi acceleraţia imprimată de forţa dată, corpului:*

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

- ✓ ***Principiul acţiunilor reciproce***: *Ori de câte ori asupra unui corp acţionează o forţă exterioară, corpul reacţionează cu o forţă egală în modul şi de sens contrar.*

Tipuri de forţe

- Forţa cu care un corp este atras de Pământ se numeşte **greutatea** corpului: $\vec{G} = m\vec{g}$
- Forţa care apare în timpul mişcării unui corp pe suprafaţa altui corp şi care se opune mişcării se numeşte **forţă de frecare**.
  - ✓ Forţa de frecare prin alunecare este direct proporţională cu forţa exercitată pe suprafaţa de contact şi nu depinde de mărimea acestei suprafeţe : $F_f = \mu N$
- Forţele care apar în interiorul unor corpuri supuse unor tensiuni, opunându-se acestora şi care readuc forma şi volumul corpurilor după încetarea acţiunii tensiunilor se numesc **forţe elastice**.
  - ✓ Mărimea forţei elastice este direct proporţională cu mărimea deformaţiei x şi orientată în sens opus creşterii acesteia : $F_e = - k x$

L U C R U L   M E C A N I C . E N E R G I A   M E C A N I C Ă

LUCRUL MECANIC

Pentru a deplasa un corp pe o distanţă oarecare trebuie învinsă rezistenţa care se opune la această deplasare.

Astfel un lucrător care împinge un vagonet trebuie să depună un efort pentru învingerea rezistenţelor întâmpinate de mişcarea vagonetului de-a lungul drumului. Spunem că lucrătorul efectuează un *lucru mecanic*. Tot astfel, forţele pe care le dezvoltă motoarele când pun în mişcare diferite mecanisme produc un *lucru mecanic*.

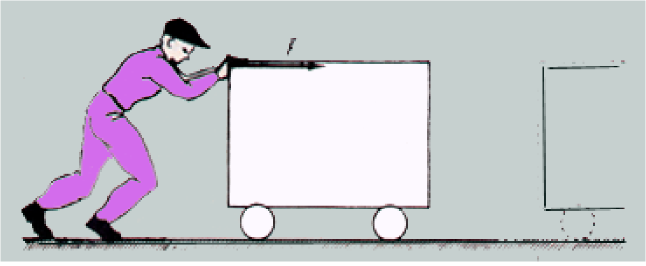


Fig.39

Aceasta înseamnă că *lucrul mecanic este o măsură a efectului dinamic al forţei*.

Denumirea de *lucru mecanic* a fost dată de inginerul francez Gustave Gaspard Coriolis. Conţinutul noţiunii s-a adâncit, o dată cu cea de căldură, în secolul al XIX-lea când s-a dovedit experimental că există un raport constant între cantitatea de lucru mecanic (care este legat de mişcarea mecanică) şi cantitatea de căldură (care este legată de o formă de mişcare nemecanică a materiei) în care acesta se poate transforma.

DEFINIŢIE. ***Lucrul mecanic*** *L al unei forţe $\vec{F}$ al cărei punct de aplicaţie se deplasează pe distanţa $\Delta\vec{r}$, este egal cu produsul scalar dintre forţă şi deplasare:*

$$L = \vec{F} \cdot \Delta\vec{r}$$

Din relaţia de definiţie a lucrului mecanic deducem unitatea de măsură SI pentru lucrul mecanic:

$$[L]_{SI} = 1\,\mathrm{N} \cdot 1\,\mathrm{m} = 1\,\mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 1\,\mathrm{m} = 1\,\mathrm{kg}\frac{\mathrm{m}^2}{s^2} = 1\,\mathrm{J}$$

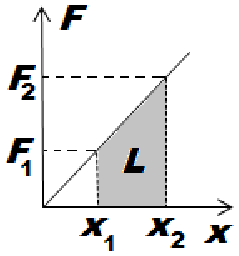
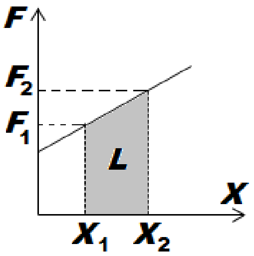
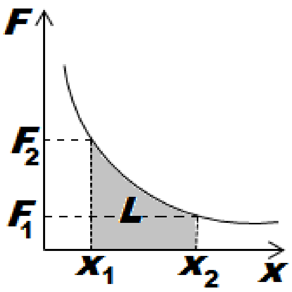
Un ***joule*** *este lucrul mecanic produs de o forţă de un newton, care îşi deplasează punctul de aplicaţie cu un metru în direcţia şi sensul forţei.*

- Dacă forţa ce acţionează asupra corpului este constantă lucrul mecanic se calculează astfel: $L = F \cdot \Delta r \cdot \cos\alpha$, α reprezintă unghiul dintre vectorii $\vec{F}$ şi $\Delta\vec{r}$.

- pentru $\alpha = 0°$, lucrul mecanic are valoarea maximă, $L = F\,\Delta r = F\,d$;
- pentru $0° < \alpha < 90°$ şi $270° < \alpha < 360° \Rightarrow L > 0$; forţa $\vec{F}$ contribuie la deplasarea corpului, adică este o *forţă motoare* şi efectuează un *lucru mecanic motor*;
- pentru $\alpha = 90°$ şi $\alpha = 270° \Rightarrow L = 0$; o forţă perpendiculară pe direcţia deplasării corpului nu efectuează lucru mecanic;
- pentru $90° < \alpha < 270° \Rightarrow L < 0$; forţa $\vec{F}$ se opune deplasării corpului, adică este o *forţă rezistentă* şi efectuează un *lucru mecanic rezistent*;
- pentru $\alpha = 180° \Rightarrow L = -F\,\Delta r = -F\,d$

- Dacă componenta, de-a lungul deplasării, a forţei ce acţionează asupra corpului este variabilă $F = f(x)$ lucrul mecanic este egal cu aria de sub graficul $F = f(x)$.

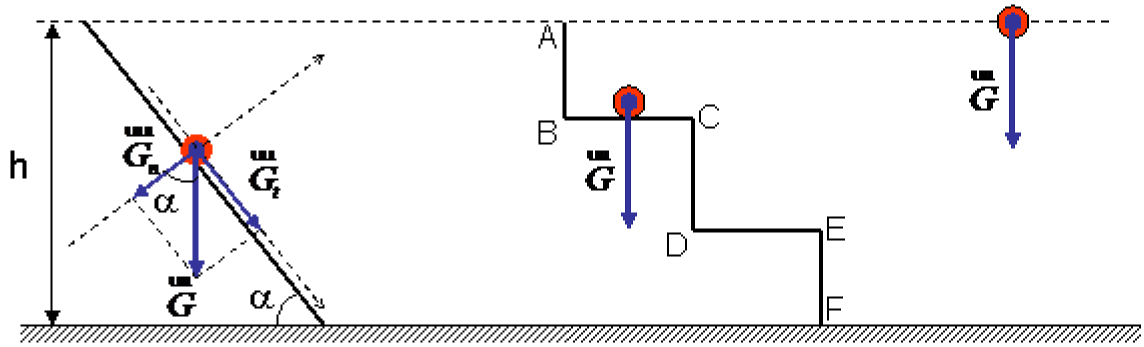
Exemple:

$F = ax$	
	$L = \frac{1}{2}(F_1 + F_2)(x_2 - x_1) = \frac{1}{2}(ax_1 + ax_2)(x_2 - x_1)$
$F = ax + b$	
	$L = \frac{1}{2}(F_1 + F_2)(x_2 - x_1) = \frac{1}{2}(ax_1 + ax_2 + 2b)(x_2 - x_1)$
$F = \frac{a}{x}$	
	$L = \int_{x_1}^{x_2} \frac{a}{x} = a \ln \frac{x_2}{x_1}$

Lucrul mecanic al unor tipuri de forţe:

1. Lucrul mecanic al greutăţii

Considerăm un corp de masă m aflat într-un punct A situat la înălţimea h faţă de sol.



a) b) c)

Vom calcula lucrul mecanic al greutăţii în cele trei situaţii:

a) $\left.\begin{cases} L = G\,\ell\cos(90-\alpha) \\ h = \ell\sin\alpha \end{cases}\right| \Rightarrow L = mgh$

b) $L = G\cdot AB\cdot\cos 0° + G\cdot BC\cdot\cos 90° + G\cdot CD\cdot\cos 0° + G\cdot DE\cdot\cos 90° + G\cdot EF\cdot\cos 0°$
$L = G(AB + CD + EF) \Rightarrow L = mgh$

c) $L = mgh$

După cum se vede, lucrul mecanic al greutăţii nu depinde de forma drumului, ci doar de diferenţa de nivel dintre poziţia iniţială şi cea finală.

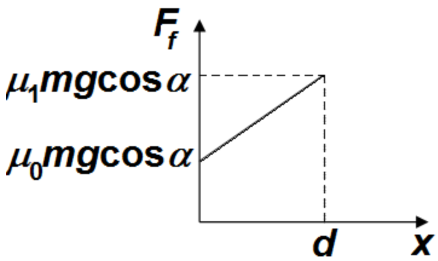
DEFINIŢIE: Forţa care acţionează asupra unui corp şi efectuează un lucru mecanic dependent numai de poziția inițială şi cea finală şi independent de forma traiectoriei se numește **forţă conservativă.**

Forţe conservative sunt: greutatea, forța elastică, forța electromagnetică.

2. Lucrul mecanic al forţei de frecare

Un corp de masă $m = 1\text{kg}$ alunecă liber de-a lungul unui plan înclinat de unghi $\alpha = 60°$. În urma prelucrării suprafeței planului înclinat, valoarea coeficientului de frecare la alunecare dintre corp şi planul înclinat variază după legea $\mu(x) = \mu_0 + ax$, unde $a = 1\text{m}^{-1}$, $\mu_0 = 0{,}1$, iar x reprezintă distanţa la care se găseşte corpul faţă de poziţia iniţială. Determinați lucrul mecanic al forţei de frecare pe distanţa $d = 30\text{ cm}$.

$$\begin{cases} L = F_f d\cos 180° \\ F_f = \mu m g\cos\alpha \end{cases}$$



Coeficientul de frecare depinde de coordonata punctului în care se găseşte corpul, deci forţa de frecare depinde de coordonata punctului în care se găseşte corpul . Pentru a calcula lucrul mecanic al forţei de frecare trebuie reprezentată grafic dependenţa $F_f = (\mu_0 + ax)mg\cos\alpha$.

Lucrul mecanic al forţei de frecare este egal cu aria de sub este egal cu graficul $F_f = F_f(x)$.

$$L_{F_f} = -\frac{mgd\cos\alpha}{2}(\mu_1 + \mu_2) = -0{,}6\text{ J}$$

PUTEREA MECANICĂ. RANDAMENT

Dacă pe un şantier de construcţie funcţionează două macarale, dintre care una ridică uniform un corp cu masa $m = 500\text{kg}$ la înălţimea $h = 20\text{m}$ într-un interval de timp $\Delta t = 3\text{min}$, iar cealaltă macara ridică acelaşi corp, la aceeaşi înălţime, în 6 min, spunem că prima macara este mai puternică decât a doua. Ambele macarale efectuează însă acelaşi lucru mecanic :

$$L = F\,d = G\,h = m\,g\,h = 500\cdot 9{,}8\cdot 20 = 98\,000\text{ J} = 98\text{ kJ}.$$

Prima macara a efectuat însă acest lucru mecanic într-un timp de două ori mai scurt.

Aşadar, puterea este cu atât mai mare, cu cât timpul în care se efectuează acest lucru mecanic este mai mic. De aceea:

$$\text{puterea} = \frac{\text{lucrul mecanic}}{\text{intervalul de timp}}$$

DEFINIŢIE. ***Puterea mecanică*** *medie dezvoltată de un sistem este mărimea fizică numeric egală cu lucrul mecanic efectuat de acel sistem în unitatea de timp:*

$$\boldsymbol{P = \frac{L}{\Delta t}}$$

Din relaţia de definiţie a puterii mecanic, rezultă că:

$$[\,P\,] = \frac{[L]}{[t]} = \frac{1\text{J}}{1\text{s}} = 1\text{W} \ \ \text{(watt)}$$

Un sistem dezvoltă o putere de un watt, dacă efectuează un lucru mecanic de un joule într-o secundă.

OBSERVAŢIE. În tehnică se utilizează pentru putere unitatea de măsură *calul putere* (CP). Un cal putere reprezintă puterea dezvoltată pentru a ridica 75 kg, la înălţimea de 1m, într-o secundă:

$$1\text{CP} = \frac{75 \cdot 9{,}8 \cdot 1}{1} = 735\ \text{W}$$

Mecanismele, motoarele şi, în general, toate maşinile servesc la producerea unui lucru mecanic util, folositor omului. Dar, din cauza forţelor de frecare, care apar la transmiterea mişcărilor şi care nu pot fi înlăturate, o parte din puterea motoarelor se consumă pentru învingerea acestor forţe pasive.

DEFINIŢIE. *Se numeşte* ***randament,*** *raportul dintre puterea utilă şi puterea consumată :*

$$\boldsymbol{\eta = \frac{P_u}{P_c}}$$

OBSERVAŢIE. Din relaţia de definiţie a puterii, obţinem:

$$\eta = \frac{L_u}{L_c}$$

adică *randamentul unui sistem se poate calcula dacă facem raportul dintre lucrul mecanic util produs de sistem L_u şi lucrul mecanic consumat de sistem L_c într-un anumit interval de timp*.

Din cauza forţelor pasive care nu pot fi evitate, întotdeauna $L_u < L_c$, ceea ce face ca randamentul unui sistem să fie subunitar.

De obicei randamentul se exprimă în procente.

Aplicaţie:

Randamentul planului înclinat.

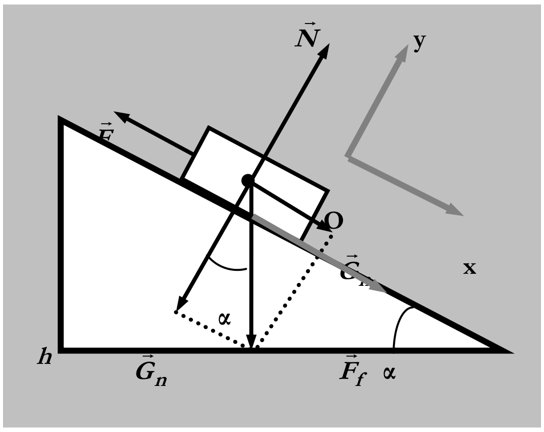


Fig. 40

Când se ridică un corp pe planul înclinat în mişcare uniformă, forţa de tracţiune $\vec{F}$ trebuie să fie egală cu suma dintre componenta tangenţială a greutăţii $\vec{G}_t$ şi forţa de frecare la alunecare $\vec{F}_f$, care se opune mişcării (fig.40).

Lucrul mecanic util:

$$L_u = G\,h = m\,g\,h,$$

este necesar pentru a se ridica corpul pe verticală până la înălţimea *h*, iar lucrul mecanic consumat este egal cu lucrul mecanic efectuat de forţa de tracţiune *F*, care deplasează corpul pe planul înclinat de lungime *l*, adică :

$$L_c = F\,l = (G_t + F_f)\,l = (m\,g \sin\alpha + \mu\, m\,g \cos\alpha)\,l.$$

Obţinem :

$$\eta = \frac{L_u}{L_c} = \frac{m\,g\,h}{(m\,g\,sin\,\alpha + \mu\,m\,g\,cos\,\alpha)l} = \frac{h}{(\,sin\,\alpha + \mu\,cos\,\alpha)l}\,.$$

Observând că :

$$\sin\alpha = \frac{h}{l},$$

rezultă în final, pentru randamentul planului înclinat expresia:

$$\boldsymbol{\eta = \frac{1}{1 + \mu\,\mathrm{ctg}\,\alpha}}\,.$$

ENERGIA MECANICĂ

A. NOŢIUNEA DE ENERGIE MECANICĂ. Pentru baterea unui pilon în pământ se foloseşte, din cele mai vechi timpuri, o instalaţie numită *sonetă* (fig.41). Soneta se compune dintr-un berbec greu, care este ridicat cu un cablu trecut peste un scripete şi tras de un troliu până la o anumită înălţime, de unde este lăsat să cadă liber peste pilon. Datorită loviturilor repetate ale berbecului, pilonul care are celălalt capăt ascuţit se înfige în pământ.

Este uşor de înţeles că berbecul nu poate înfige pilonul numai datorită greutăţii sale, ci datorită faptului că această greutate se află în mişcare cu o anumită viteză. Berbecul poate efectua lucru mecanic necesar înfigerii pilonului în pământ, datorită energiei acumulate de el în timpul ridicării şi restituite de el în urma căderii, în momentul ciocnirii cu pilonul.

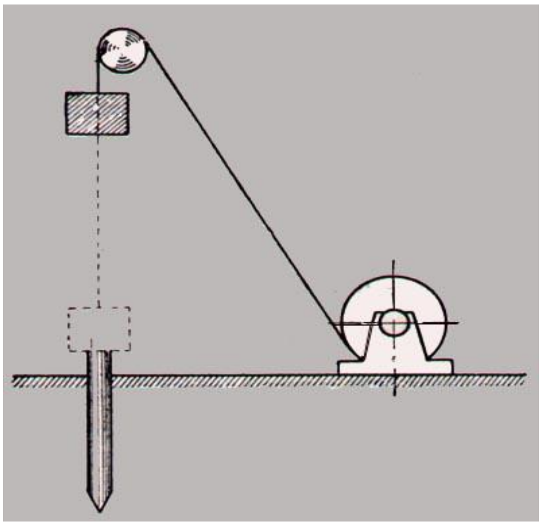


Fig.41

Se pot da nenumărate exemple de lucru mecanic efectuat de corpuri în mişcare:

- baterea unui cui cu ciocanul;
- căderea apei la o hidrocentrală;
- mişcarea aerului care acţionează turbinele eoliene;
- comprimarea sau întinderea unui resort elastic.

Ciocanul, apa, aerul, resortul, din exemplele de mai sus, au energie deoarece pot produce lucru mecanic.

DEFINIŢIE. *Se numeşte **energie mecanică** mărimea fizică scalară ce caracterizează capacitatea unui sistem de a produce lucru mecanic.*

Energia mecanică E are două forme:

- *energia cinetică* sau *de mişcare* E_c (energia pe care o au sistemele care produc lucru mecanic efectiv);
- *energia potenţială* sau *de poziţie* E_p (energia pe care o au sistemele care, deşi nu produc un lucru mecanic, au posibilitatea de a-l produce mai târziu).

Energia mecanică a unui corp (sistem) este dată de suma: $E = E_c + E_P$

Energia se măsoară prin lucrul mecanic realizat. De aceea, energia se măsoară în aceleaşi unităţi ca şi lucrul mecanic, adică: $[E]$ = J (joule).

B. ENERGIA CINETICĂ A PUNCTULUI MATERIAL.

După cum am spus, energia cinetică este energia pe care o are un corp sau un sistem aflate în mişcare, adică atunci când el are o anumită viteză în raport cu un SR dat. Pentru a imprima însă corpului o anumită viteză va trebui să cheltuim un anumit lucru mecanic. Invers, un corp aflat în mişcare cu o anumită viteză va efectua un lucru mecanic din momentul frânării lui până la oprire.

De aceea *energia cinetică pe care o are un corp în mişcare cu viteza v, faţă de un SR dat, este mărimea fizică numeric egală cu lucrul mecanic cheltuit pentru a-i mări* *corpului viteza de la zero la valoarea v sau egală cu lucrul mecanic efectuat din momentul frânării sale până la oprire.*

Fie un punct material de masă m, care la momentul iniţial t_0 se află în repaus în punctul de coordonată iniţială x_0 (fig.42). Dacă asupra punctului material acţionează o forţă constantă $\vec{F}$, un interval de timp $\Delta t = t - t_0$, el se va deplasa uniform accelerat cu acceleraţia a pe distanţa $d = x - x_0$ şi la momentul t va avea viteza v.

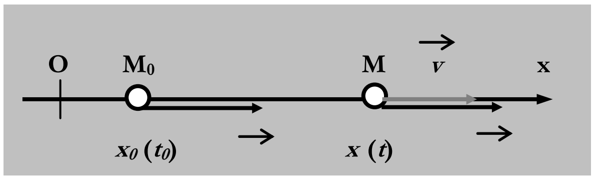


Fig.42

$$\left.\begin{cases} L = Fd \\ F = ma \\ v^2 = v_0^2 + 2ad \end{cases}\right| \Rightarrow L = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

Din relaţia de mai sus rezultă faptul că lucrul mecanic al forţei rezultante a contribuit la variaţia unei mărimii fizice de stare definită prin raportul $\frac{mv^2}{2}$

CONCLUZIE. ***Energia cinetică*** *a unui corp de masă m, care se află în mişcare de translaţie cu viteza v în raport cu un sistem de referinţă inerţial, este egală cu semiprodusul dintre masa corpului şi pătratul vitezei acestuia:*

$$E_c = \frac{m v^2}{2}$$

Aşadar, energia cinetică pe care o are un corp este cu atât mai mare cu cât masa şi viteza lui sunt mai mari.

C. TEOREMA VARIAŢIEI ENERGIEI CINETICE A PUNCTULUI MATERIAL.

Pentru a mări energia cinetică a unui corp trebuie să cheltuim un lucru mecanic din afară. În schimb, când energia cinetică scade, corpul produce un lucru mecanic, care poate fi folosit în altă parte.

Fie un punct material de masă m, ce se mişcă rectiliniu uniform variat pe direcţia axei Ox, sub acţiunea forţei constante $\vec{F}$, astfel încât la momentul t_1 trece prin punctul de coordonată x_1 cu viteza $\vec{v}_1$, iar la momentul t_2 trece prin punctul de coordonată x_2 cu viteza $\vec{v}_2$.

TEOREMA VARIAŢIEI ENERGIEI CINETICE A PUNCTULUI MATERIAL. *Variaţia energiei cinetice a unui punct material, care se deplasează în raport cu un sistem de referinţă inerţial, este egală cu lucrul mecanic efectuat de forţa rezultantă care acţionează asupra punctului material în timpul acestei variaţii :*

$$\frac{m v_2^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2} = L$$

$$\Delta\left(\frac{m v^2}{2}\right) = L$$

$$\Delta E_c = L$$

D. FORŢE CONSERVATIVE. CÂMP CONSERVATIV DE FORŢE. ENERGIA POTENŢIALĂ.

DEFINIŢIE. *O forţă care, acţionând asupra unui punct material, efectuează un lucru mecanic independent de drumul urmat şi de legea de mişcare a punctului material, care depinde numai de poziţiile iniţială şi finală ale punctului material se numeşte* ***forţă conservativă.***

Exemple de forţe conservative: greutatea, forţa elastică, forţa de interacţiune electrostatică dintre corpurile electrizate.

DEFINIŢII

- *O regiune din spaţiu limitată sau nu, unde în fiecare punct acţionează o forţă se numeşte* ***câmp de forţe****.*
- *Un câmp ale cărui forţe sunt conservative se numeşte* ***câmp conservativ****.*

Exemple de câmpuri conservative: câmpul gravitaţional, generat de masele de substanţă; câmpul electrostatic, generat de corpurile electrizate; câmpul forţelor elastice, din interiorul unui corp solid deformat temporar.

Considerăm acum un punct material aflat într-un câmp conservativ de forţe. Fiecărei poziţii a punctului material situat în câmpul conservativ îi asociem o energie potenţială E_p. Sub acţiunea forţelor câmpului, punctul material se poate deplasa, modificându-şi poziţia, deci şi energia potenţială. La deplasarea punctului material în câmp forţele câmpului efectuează un lucru mecanic L.

DEFINIŢIE. *Se numeşte* ***variaţie a energiei potenţiale****,* ΔE_P*, a punctului material ce se mişcă în câmp conservativ de forţe, între două poziţii din câmp* P_1 *şi* P_2*, lucrul mecanic, cu semn schimbat, efectuat de forţele câmpului la deplasarea punctului material între poziţiile considerate :*

$$\Delta E_p = - L_{P1 \rightarrow P2}$$

Pentru a defini energia potenţială a punctului material într-un câmp conservativ de forţe, într-o stare determinată (pentru o poziţie bine precizată) este necesar să alegem o stare de referinţă a sistemului câmp-punct material, O, căreia să-i atribuim în mod convenţional valoarea energiei potenţiale egală cu zero: E_p (O) = 0. Atunci se poate defini energia potenţială pentru oricare poziţie a punctului material în câmpul conservativ astfel:

DEFINIŢIE. *Se numeşte* ***energie potenţială****,* E_P*, a punctului material aflat într-un punct P al unui câmp conservativ, lucrul mecanic, cu semn schimbat, efectuat de forţele câmpului la deplasarea punctului material din punctul de referinţă O până în punctul considerat P sau lucrul mecanic efectuat de forţele câmpului pentru deplasarea punctului material din punctul considerat până în punctul de referinţă:*

$$E_p = - L_{O \rightarrow P} = L_{P \rightarrow O}$$

OBSERVAŢII:

- Când punctul material aflat în câmp conservativ se deplasează numai sub acţiunea forţelor câmpului, atunci energia potenţială a punctului material scade.
- Dacă punctul material se deplasează în câmp conservativ, sub acţiunea altor forţe, împotriva forţelor câmpului, energia potenţială a punctului material creşte.

Aplicaţii. Un resort comprimat, gazele sau vaporii sub presiune, un corp ridicat la o anumită înălţime, apa din lacurile de acumulare etc. au *energie potenţială* pentru că au posibilitatea de a produce un lucru mecanic.

1. Energia potenţială a punctului material în câmp gravitaţional uniform. Fie un punct material de masă m situat în vecinătatea suprafeţei Pământului (fig.43).

Atunci punctul material se află permanent în câmpul gravitaţional uniform terestru şi asupra lui acţionează greutatea: $\vec{G} = m\vec{g}$.

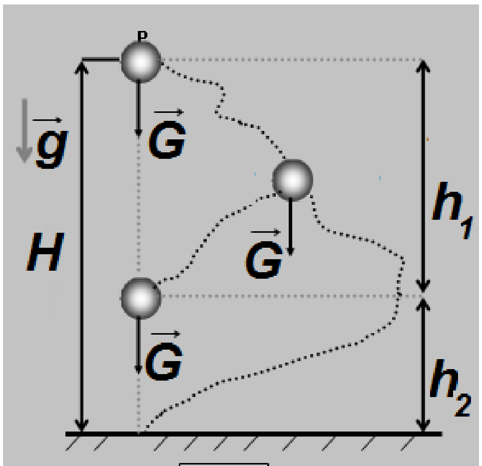


Fig.43

Dacă punctul material se deplasează dintr-un punct P situat la înălţimea H faţă de sol, până într-un punct P' situat la înălţimea h_1 faţă de sol, sub acţiunea greutăţii, atunci, indiferent de drumul urmat, variaţia energiei potenţiale a punctului material între cele două poziţii va fi :

$$\Delta E_p = E_p(P') - E_p(P) = mg(h_1 - H)$$

Pentru a preciza energia punctului material la înălţimea *h* faţă de sol, alegem ca poziţie de referinţă punctul O situat pe sol. Atunci

$$E_P\,(O) = 0 \text{ şi } E_P\,(P) = L_{G\,(P\to O)} = m\,g\,h.$$

CONCLUZIE. Energia potenţială a unui punct material situat în vecinătatea suprafeţei Pământului, la înălţimea *h* ($h \ll R_P$ – raza Pământului) este dată de relaţia:

$$\boldsymbol{E_P\,(h) = m\,g\,h}$$

OBSERVAŢII

- Energia potenţială, în vecinătatea suprafeţei Pământului, are aceeaşi valoare pentru toate punctele situate la înălţimea *h*: $E_P(h)=mgh$**.** Prin urmare, planele orizontale, paralele cu suprafaţa Pământului sunt plane echipotenţiale.
- Convenţional, se alege, de regulă, ca nivel de referinţă suprafaţa Pământului. Atunci energia potenţială pentru toate punctele de la suprafaţa Pământului este zero. Se poate alege însă ca nivel de referinţă orice plan orizontal.

2. Energia potenţială a unui resort deformat. Considerăm un resort nedeformat de lungime l_0 şi constantă de elasticitate k. Vom considera starea nedeformată ca stare de referinţă, O: $E_P\,(O) = 0$.

Pentru a calcula energia potenţială $E_P\,(x)$ a unui resort deformat, întins sau comprimat cu x va trebui să calculăm lucrul mecanic efectuat de forţa elastică pentru a readuce resortul în starea nedeformată (starea de referinţă). Pentru aceasta vom ţine seama că forţa elastică variază liniar cu valoarea deformaţiei: $F_e = -kx$. Din această cauză, lucrul mecanic se calculează ca aria de sub graficul dependenţei forței elastice de alungire:

$$\left\{\begin{array}{l} L = -\dfrac{k\cdot x^2}{2} \\ \Delta E_p = -L \end{array}\right| \Rightarrow E_p(x) = \frac{kx^2}{2}.$$

CONCLUZIE. Energia potenţială a unui resort deformat elastic dată de relaţia: $E_p(x) = \dfrac{kx^2}{2}$

E. CONSERVAREA ENERGIEI MECANICE.

Considerăm un punct material de masă *m* care se mişcă într-un câmp conservativ de forţe, sub acţiunea forţelor câmpului, astfel încât la momentul iniţial t_0, se află într-o stare caracterizată de energia mecanică $E_0 = E_{c\,0} + E_{P\,0}$, iar la momentul *t*, într-o stare caracterizată de energia mecanică $E = E_c + E_P$.

Conform teoremei variaţiei energiei cinetice: $\Delta E_c = L \Rightarrow E_c - E_{c0} = L$.

Conform definiţiei variaţiei energiei potenţiale: $\Delta E_P = -L \Rightarrow E_P - E_{P0} = -L$.

Atunci: $\Delta E_c + \Delta E_P = 0 \Rightarrow \Delta(E_c + E_P) = 0 \Rightarrow E_c + E_P = \text{const.} \Rightarrow E = \text{const.}$

Am obţinut astfel:

Legea conservării energiei mecanice: *Într-un câmp conservativ de forţe energia mecanică a punctului material rămâne constantă.*

Rezumat:

– **Lucrul mecanic** *L* al unei forţe constante *F,* al cărei punct de aplicaţie se deplasează pe distanţa *d*, în direcţia şi în sensul forţei, este egal cu produsul dintre mărimea forţei şi mărimea deplasării :

$$L = F\,d;\quad [\,L\,] = \text{J (joule)}$$

▪ Lucrul mecanic *L* al unei forţe constante *F* a cărei direcţie formează unghiul α cu direcţia deplasării este :

$$L = F\,d\cos\alpha$$

▪ **Puterea mecanică** medie dezvoltată de un sistem este mărimea fizică numeric egală cu lucrul mecanic efectuat de acel sistem în unitatea de timp :

$$P = \frac{L}{\Delta t};\quad [\,P\,] = \text{W (watt)}$$

▪ **Se** numeşte **randament,** raportul dintre puterea utilă şi puterea consumată :

$$\eta = \frac{P_u}{P_c}$$

▪ Se numeşte **energie mecanică** mărimea fizică scalară ce caracterizează capacitatea unui sistem de a produce lucru mecanic.

Energia mecanică are două părţi : energia cinetică şi energia potenţială

✓ **Energia cinetică** a unui corp de masă m, care se află în mişcare de translaţie cu viteza v, în raport cu un sistem de referinţă inerţial, este egală cu semiprodusul dintre masa corpului şi pătratul vitezei acestuia :

$$E_c = \frac{m\,v^2}{2}$$

✓ Se numeşte **energie potenţială** E_P a punctului material, aflat într-un punct P al unui câmp conservativ, reprezintă lucrul mecanic, cu semn schimbat, efectuat de forţele câmpului la deplasarea punctului material din punctul de referinţă O până în punctul considerat P sau lucrul mecanic efectuat de forţele câmpului pentru deplasarea punctului material din punctul consider*at până în punctul de referinţă*:

$$E_p = -L_{O\to P} = L_{P\to O}.$$

- Energia potenţială a unui punct material situat în vecinătatea suprafeţei Pământului, la înălţimea h (h<<R_P – raza Pământului) este dată de relaţia : $E_P(h) = mgh$
- Energia potenţială a unui resort deformat elastic (întins sau comprimat cu x) este dată de relaţia : $E_P(x) = \frac{k\cdot x^2}{2}$

▪ ***Teorema variaţiei energiei cinetice a punctului material****. Variaţia energiei cinetice a unui punct material, care se deplasează în raport cu un sistem de referinţă inerţial, este egală cu lucrul mecanic efectuat de forţa rezultantă care acţionează asupra punctului material în timpul acestei variaţii :*

$$\frac{m\,v_2^2}{2} - \frac{m\,v_1^2}{2} = L,\quad \Delta\left(\frac{m\,v^2}{2}\right) = L,\quad \Delta E_c = L$$

▪ ***Legea conservării energiei mecanice.*** *Într-un câmp conservativ are energia mecanică a punctului material rămâne constantă.*

I M P U L S U L   M E C A N I C

IMPULSUL PUNCTULUI MATERIAL

Fie un punct material de masă m care se mişcă pe o traiectorie curbilinie oarecare, astfel încât la momentul t_1 mobilul are viteza $\vec{v}_1$, iar la momentul t_2 are viteza $\vec{v}_2$ (fig.VI. 1). Curbarea traiectoriei în intervalul de timp $\Delta t = t_2 - t_1$ este posibilă numai sub acţiunea unei forţe (în general variabilă). Înţelegând prin forţă medie, în intervalul de timp Δt, o forţă constantă care produce aceeaşi variaţie de viteză pe intervalul de timp considerat ca şi forţa variabilă, atunci, conform principiului acţiunii forţei (II.1), putem scrie pentru valori medii :

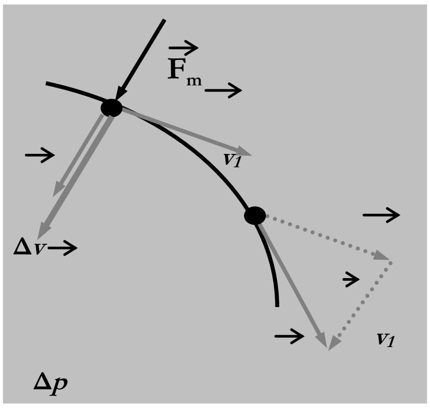


Fig.44

$$\vec{F}_m = m\,\vec{a}_m = m\,\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = m\,\frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\left(m\vec{v}\right)}{\Delta t}.$$

Produsul $m\vec{v}$ dintre masă şi viteză reprezintă o nouă mărime fizică importantă numită *impuls*.

Definiţie: ***Impulsul punctului material*** *este produsul dintre masa şi viteza sa :*

$$\boldsymbol{\vec{p} = m\,\vec{v}}$$

Vectorul *impuls*, pentru un punct material de masă m aflat în mişcare cu viteza $\vec{v}$ are aceeaşi orientare cu vectorul viteză (fig.45) şi modulul: $p = m\,v$.

Conform definiţiei (VI. 1) unitatea de măsură SI pentru impulsul mecanic va fi :

$$[\,p\,] = [\,m\,]\,[\,v\,] = \text{kg}\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{kg}\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{N s}$$

Utilizând noţiunea de impuls mecanic, putem scrie acum :

$$\vec{F}_m = \frac{\Delta\left(m\vec{v}\right)}{\Delta t} = \frac{\Delta\,\vec{p}}{\Delta t}$$

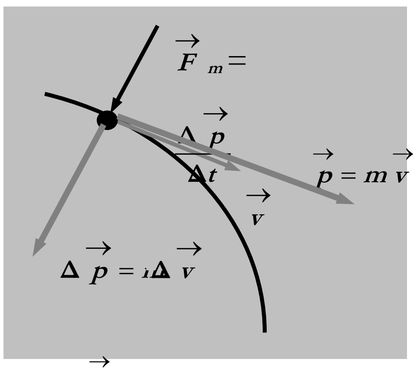
Relaţia de mai sus reprezintă o nouă formulare a principiului acţiunii forţei :

Forţa medie ce acţionează asupra unui punct material într-un interval de timp este egală cu variaţia impulsului punctului material raportată la intervalul de timp.

Din relaţia de mai sus rezultă: $\vec{F}_m \Delta t = \Delta\,\vec{p}$.

Produsul $\vec{F}_m\ \Delta t = \vec{H}$ se numeşte *impulsul forţei*

$[\,H\,] = \text{N s}$



$\Delta\,\vec{p} = m$ Fig.45

Teorema variaţiei impulsului punctului material:

Variaţia impulsului unui punct material, care se deplasează în raport cu un sistem de referinţă inerţial, este egală cu impulsul forţei rezultante care acţionează asupra punctului material în timpul acestei variaţii :

$$\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \vec{F}_m \cdot \Delta t$$

$$\Delta \vec{p} = \vec{H}$$

Conform teoremei variaţiei impulsului mecanic al punctului material, dacă rezultanta forţelor aplicate este permanent nulă (sau punctul material este *izolat*), impulsul punctului material rămâne constant. Într-adevăr, dacă în intervalul de timp Δt, $\vec{F}_m = 0$, atunci $\vec{H} = 0$, deci $\Delta \vec{p} = 0$, adică $\vec{p} =$ const.

În concluzie enunţăm :

LEGEA CONSERVĂRII IMPULSULUIPUNCTULUI MATERIAL. Impulsul unui punct material izolat se conservă, adică punctul material izolat se mişcă rectiliniu uniform sau este în repaus faţă de un SR inerţial.

Observaţii:

- Impulsul se poate schimba numai sub acţiunea unei forţe externe. În procesul interacţiunii realizat prin intermediul forţei se face un transfer de mişcare de la un corp la altul, măsurat prin transferul de impuls şi de energie cinetică, adică prin impulsul forţei egal cu variaţia de impuls a corpului, respectiv prin lucrul mecanic al forţei, egal cu variaţia energiei cinetice a punctului material.
- Impulsul punctului material este o măsură a mişcării mecanice pe care acesta o efectuează (de aici provine şi denumirea de *cantitate de mişcare*).