

Ministerul Educației și Cercetării

Rodica PERJOIU • Ioana STOICA • Mihaela Mariana ȚURA

Fizică

Trunchi comun (TC), filiera teoretică,
profilul umanist, filiera vocațională, toate specializările,
filiera tehnologică, toate calificările

Manual pentru clasa a IX-a



CUPRINS

Competențe	4
Instrucțiuni de utilizare a manualului	5
1. Noțiuni introductive și metode de lucru în fizică	7
1.1. Măsurări în fizică. Mărimi fizice și unități de măsură	8
1.2. Tipuri de erori. Incertitudinea măsurării	12
2. Elemente de cinematică	15
2.1. Descrierea mișcării corpurilor	16
2.2. Viteza și accelerația	20
2.3. Tipuri de mișcări	24
2.3.1. Mișcarea rectilinie uniformă	25
2.3.2. Mișcarea rectilinie uniform variată	29
Studiul mișcării rectilinii uniforme Măsurarea vitezei unui mobil aflat în mișcare rectilinie uniformă	34
<i>Test de evaluare</i>	36
3. Principiile mecanicii newtoniene și aplicarea acestora	37
3.1. Principiile dinamicii newtoniene	38
3.2. Interacțiuni prin contact	42
3.2.1. Forțe de apăsare, forțe de frecare	42
3.2.2. Forța deformatoare. Legea lui Hooke. Forța elastică. Tensiunea mecanică	45
3.3. Interacțiuni prin câmpuri: Interacțiunea gravitațională	53
<i>Test de evaluare</i>	62
4. Teoreme de variație și legi de conservare în mecanică	63
4.1. Lucrul mecanic	64
4.2. Lucrul mecanic efectuat de diferite forțe	67
4.3. Puterea mecanică. Randamentul	69
4.4. Energia cinetică. Teorema variației energiei cinetice	72
4.5. Energia potențială gravitațională și energia potențială elastică	74
4,5.1. Energia potențială gravitațională	74
4.5.2. Energia potențială elastică	75
4.6. Energia mecanică. Legea conservării energiei mecanice	76
<i>Test de evaluare</i>	78
5. Temă integratoare	79
5.1. Elemente de siguranță rutieră (timp de reacție, distanță de frânare, rază de viraj)	80
<i>Test de evaluare</i>	84
Consolidează – Expertiza fizică a unui accident rutier	85
Indicații și răspunsuri	87

COMPETENȚE-CHEIE

Competențe-cheie

- Competența de citire, scriere și înțelegere a mesajului (CG4)
- Competența matematică și competența în științe, tehnologie și inginerie (CG1, CG2, CG3)
- Competența digitală, inclusiv de siguranță pe internet și securitate cibernetică (CG1, CG3)
- Competența personală, socială și a învăța să înveți. Competența civică, juridică și de protejare a mediului (CG2, CG3, CG5)

COMPETENȚE GENERALE ȘI COMPETENȚE SPECIFICE

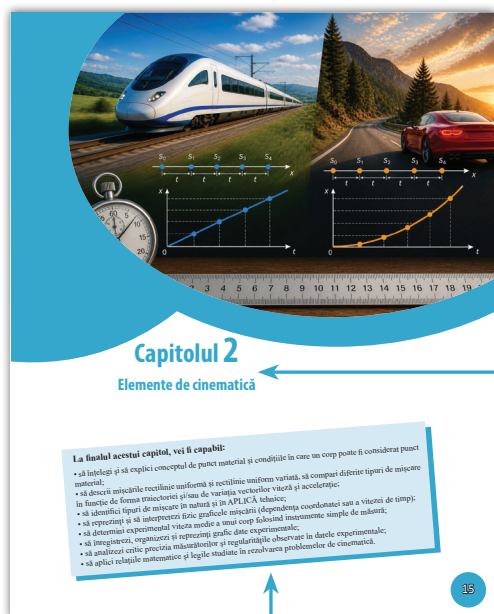
Competențe generale	Competențe specifice
1. Investighează științific structuri, stări și fenomene fizice pentru a formula concluzii bazate pe dovezi, în contexte variate	1.1. Explorează proprietăți și fenomene fizice, în situații simple și controlabile, pentru a formula observații relevante și întrebări de investigat. 1.2. Proiectează investigații experimentale simple pentru a testa ipoteze cu privire la proprietăți și fenomene fizice. 1.3. Realizează experimente, utilizând instrumente și procedee corespunzătoare, pentru a colecta și organiza date experimentale. 1.4. Prelucreză dirijat date obținute din investigații experimentale simple pentru a formula concluzii pertinente.
2. Explică științific fenomene fizice și aplicații ale acestora pentru a transfera cunoașterea în contexte reale	2.1. Evidențiază condiții de producere a fenomenelor observate pentru a identifica relații cauzale între mărimi fizice. 2.2. Aplică legi și principii fizice pentru a descrie fenomenele fizice studiate. 2.3. Utilizează reprezentări calitative/cantitative pentru a descrie fenomenele fizice studiate. 2.4. Identifică fenomene fizice studiate care sunt relevante pentru explicarea unor evenimente din contexte reale.
3. Rezolvă probleme și situații-problemă pentru a fundamenta soluții eficiente, sigure și sustenabile	3.1. Identifică informațiile relevante dintr-o problemă definită pentru a descrie situația de rezolvat. 3.2. Utilizează scheme, tabele sau reprezentări grafice pentru a evidenția conexiunile dintre datele problemei. 3.3. Aplică principii, legi și teoreme ale fizicii pentru a rezolva probleme definite în contexte cunoscute. 3.4. Analizează rezultatele obținute în urma rezolvării problemelor pentru a le valida.
4. Comunică eficient informații, raționamente și concluzii științifice, utilizând limbajul specific fizicii, pentru a susține decizii argumentate	4.1. Utilizează limbajul specific fizicii și convențiile internaționale pentru a exprima corect informații și rezultate teoretice sau experimentale. 4.2. Reprezintă date experimentale prin tabele și grafice pentru a susține comunicarea clară a concluziilor. 4.3. Redactează rapoarte de laborator simple pentru a structura observațiile, metodele și concluziile investigațiilor. 4.4. Prezintă oral sau în scris raționamente pentru a susține soluții la probleme definite.
5. Evaluează impactul științei și tehnologiei asupra individului, societății și mediului pentru a adopta comportamente etice și responsabile	5.1. Identifică aplicații ale științei și tehnologiei utilizate în viața cotidiană pentru a recunoaște efectele acestora asupra individului, societății și mediului. 5.2. Recunoaște influența științei și tehnologiei asupra vieții sociale pentru a conștientiza responsabilitatea individuală și colectivă.

Instrucțiuni de utilizare a manualului

Manualul este organizat în cinci capitole, în conformitate cu programa școlară pentru clasa a IX-a.

Fiecare capitol cuprinde lecții de predare-învățare, activități experimentale, aplicații/probleme rezolvate și, la final, câte un test de evaluare.

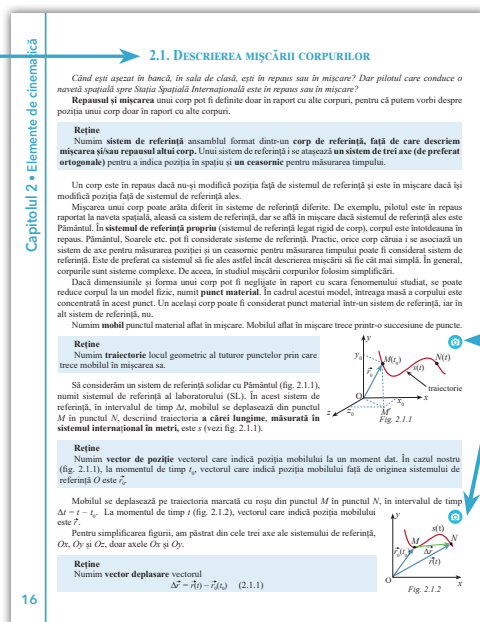
Pagini de deschidere a unității



Titlul lecției

Titlul și numărul capitolului

Pagini de învățare



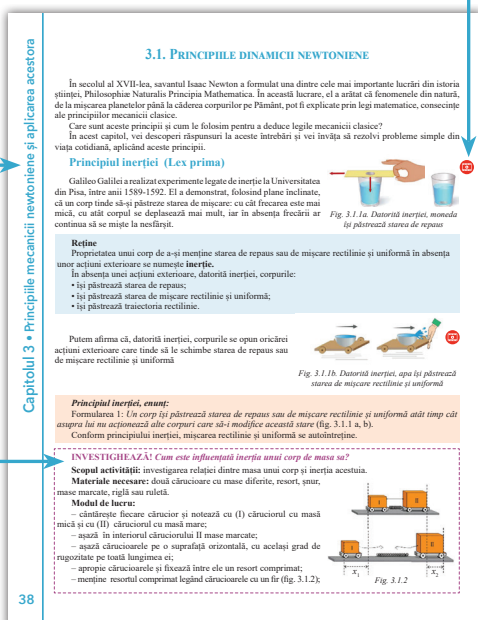
Trimiteri către imaginile din varianta digitală

Comportamente asociate competențelor specifice și conținuturilor

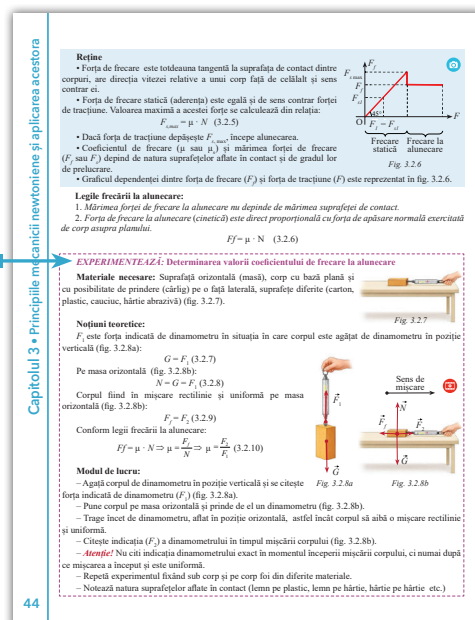
Trimitere către animația din manualul digital

Titlul și numărul capitolului

Investigație



Lucrări de laborator



Capitolul 3 • Principiile mecanicii newtoniene și aplicarea acestora

b) Alegem originea axei Oy la nivelul solului, deci $y_0 = 0$. Coordonata mobilului la un moment oarecare este:

$$y = y_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$$y_0 = 0$$

$$a = -g$$

$$\Rightarrow y = y_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \Rightarrow y = v_0 \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2}$$

Înălțimea maximă este coordonata mobilului la momentul $t = t_c$:

$$y = v_0 \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2}$$

$$t = t_c = \frac{v_0}{g} \Rightarrow h_{\max} = v_0 \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2} = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{10 \cdot 10}{2 \cdot 10} = 5 \text{ m/s}^2.$$

$$y = h_{\max}$$

EXERCİAZĂ

1. Care este motivul pentru care alegem masa m_1 foarte, foarte mică?
2. Alege și notează în caiet răspunsul corect la următoarea întrebare: Dacă te afli pe Lună, și se modifică:
 - a. doar greutatea;
 - b. doar masa;
 - c. și greutatea și masa;
 - d. nici greutatea, nici masa.
3. Marchează cu adevărat (A) sau fals (F) următoarele afirmații:
 - a. Forța de atracție dintre două corpuri punctiforme nu depinde de distanța dintre ele.
 - b. Forța de atracție dintre două corpuri punctiforme este direct proporțională cu produsul maselor lor.
 - c. Intensitatea câmpului gravitațional este o mărime fizică adimensională.
4. Considerând că Pământul este o sferă perfectă de rază $R = 6370 \text{ km}$ și cunoscând valoarea accelerației gravitaționale la suprafața planetei $g = 9,8 \text{ ms}^{-2}$, determină masa Pământului.
5. Calculează accelerația gravitațională într-un punct situat deasupra unui pol, la o înălțime egală cu $n = 3$ raze terestre. Se cunosc: $g = 9,85 \text{ ms}^{-2}$.
6. Presupunând că te afli pe o planetă cu masa de trei ori mai mare decât a Pământului și cu raza de două ori mai mică, ce greutate vei avea pe această planetă?

PROIECT

a. Folosește datele din imaginea 3.3.11 și valoarea constantei gravitaționale (o găsești în manual; a fost determinată de Cavendish) pentru a calcula forța de interacțiune gravitațională dintre Jupiter și satelitul său Io.

b. Realizează un proiect în care să prezinti pe scurt caracteristicile planetelor din Sistemul Solar (masă, compoziție, perioadă de revoluție, durata unei zile, temperatură, accelerație gravitațională etc.) și sateliții lor naturali.

Activitate interactivă

TEST DE EVALUARE

Fiecare răspuns corect se notează cu un punct. Se acordă un punct din oficiu.

1. Identifică afirmația greșită și notează litera corespunzătoare în caiet.
 - a. Alături de suprafața unui corp nu acționează nicio forță, el își menține starea de repaus sau de mișcare rectilinie și uniformă.
 - b. Masa unui corp nu se modifică la deplasarea sa de pe Pământ pe Lună.
 - c. Dacă asupra a două corpuri acționează forțe egale, corpul mai greu va avea o accelerație mai mare.
 - d. Coeficientul de frecare la alunecare nu depinde de forța de apăsare normală exercitată de corp pe suprafața pe care se află.
2. Alege și notează în caiet răspunsul corect la următoarea întrebare:

Care este relația de ordine dintre accelerațiile gravitaționale pentru două corpuri cerești sferice care au masele egale și razele în raportul $R_1/R_2 = 1/4$?

 - a. $g_1 < g_2$;
 - b. $g_1 > g_2$;
 - c. $g_1 = g_2$;
 - d. nu se poate preciza.
3. Scrie în caiet literele afirmațiilor de mai jos și indică pentru fiecare dacă este adevărată (A) sau falsă (F).
 - a. Acțiunea și reacțiunea apar simultan.
 - b. Forța de apăsare exercitată de un corp pe o suprafață este totdeauna egală cu greutatea corpului.
 - c. Modulul de elasticitate (modulul lui Young) nu depinde de forța de deformare ce acționează asupra barei elastice.
 - d. Forța de frecare statică nu depinde de forța exterioară ce acționează asupra corpului.
4. Justifică răspunsurile date pentru afirmațiile de la punctele c și d ale exercițiului anterior.
5. Explică de ce acțiunea și reacțiunea nu au rezultatul nul.
6. Presupunând că te afli pe o planetă cu masa egală cu masa Pământului, dar cu raza de 3 ori mai mică decât a Pământului, exprimă greutatea ta pe această planetă în funcție de greutatea de pe Pământ.
 - a. $10G$;
 - b. $3G$;
 - c. $G/3$;
 - d. $9G$.
7. Două cabluri metalice, elastice, realizate din același material și având aceeași secțiune, ridică același corp. Lungimea cablului 2 este jumătate din lungimea cablului 1. Cablul 1 ridică corpul cu accelerația 2 ms^{-2} , iar cablul 2 cu 6 ms^{-2} ($g = 10 \text{ ms}^{-2}$). Alungirea cablului 1 este 6 cm . Calculează alungirea cablului 2 și notează pe caiet litera corespunzătoare răspunsului corect.
 - a. 3 cm
 - b. 4 cm
 - c. 6 cm
 - d. 8 cm
8. Două corpuri de mase $m_1 = 2 \text{ kg}$ și $m_2 = 3 \text{ kg}$, așezate pe un plan orizontal fără frecări, sunt legate între ele printr-un fir ideal orizontal având încastrat un resort ușor (de masă neglijabilă) care are constanta elastică $k = 100 \text{ N/m}$. Atunci când se trage de corpul m_2 cu o forță orizontală F , resortul se alungeste cu 4 cm . Calculează valoarea forței F .
 - a. $3,33 \text{ N}$
 - b. 5 N
 - c. $6,67 \text{ N}$
 - d. 10 N
9. Un corp cu masa de 2 kg coboară cu viteză constantă pe un plan înclinat care formează cu orizontala un unghi de 37° ($\sin 37^\circ = 0,6$). Cu ce forță paralelă cu planul trebuie tras corpul în sus cu accelerația de 2 ms^{-2} ($g = 10 \text{ ms}^{-2}$).
 - a. 12 N
 - b. 24 N
 - c. 28 N
 - d. 32 N

Proiect

Manualul este disponibil atât în **varianta tipărită**, cât și în **varianta digitală**, aceasta din urmă fiind similară celei tipărite, dar îmbogățită cu peste 70 de activități multimedia interactive de învățare (AMII), menite să sporească valoarea cognitivă. Activitățile multimedia sunt de mai multe tipuri și sunt marcate prin simboluri specifice:



AMII static, pentru observarea dirijată a unei imagini semnificative.



Activitate interactivă, de tip exercițiu sau joc cu feedback imediat.



AMII animat – filmuleț sau scurtă animație.

Versiunea digitală include, la început, instrucțiuni detaliate privind structura meniului și modul de navigare.

Fișa de observare sistematică a activității și a comportamentului

Completează această fișă la sfârșitul fiecărui capitol!

La finalul capitolului mă gândesc dacă:	Încă lucrez la asta.	Uneori.	De cele mai multe ori.	Întotdeauna.
Am fost curios/curioasă și interesat(ă) să descopăr lucruri noi.				
Am depus efort pentru a-mi îndeplini sarcinile cât mai bine.				
Am cerut ajutor atunci când am întâmpinat greutăți.				
Am privit greșelile ca pe oportunități de învățare.				
M-am implicat cu entuziasm în activități.				
Mi-am exprimat ideile clar și argumentat.				
Am colaborat eficient și respectuos cu colegii.				
Sunt mulțumit(ă) de progresul meu referitor la acest capitol.				

ACURATEȚE ȘI PRECIZIE

ACURATEȚE RIDICATĂ,
PRECIZIE RIDICATĂ



ACURATEȚE SCĂZUTĂ,
PRECIZIE RIDICATĂ



ACURATEȚE RIDICATĂ,
PRECIZIE SCĂZUTĂ



ACURATEȚE SCĂZUTĂ,
PRECIZIE SCĂZUTĂ



Capitolul 1

Noțiuni introductive și metode de lucru în fizică

La finalul acestui capitol, vei fi capabil:

- să utilizezi mărimile fizice și unitățile din Sistemul Internațional în descrierea fenomenelor și în calcule simple;
- să selectezi instrumentele de măsură adecvate și să efectuezi corect măsurările directe respectând regulile de citire a scalei;
- să exprimi rezultatele folosind cifre semnificative și să identifici tipurile de erori de măsurare;
- să determini incertitudinea, propagarea acestuia în calcule simple și să apreciezi validitatea rezultatului final.

1.1. MĂSURĂRI ÎN FIZICĂ. MĂRIMI FIZICE ȘI UNITĂȚI DE MĂSURĂ

Universul în care trăim este complex, însă multe fenomene pot fi explicate printr-un număr redus de legi fizice. Fizica studiază interacțiunile dintre materie și energie în spațiu și timp, urmărind identificarea cauzelor fundamentale ale fenomenelor naturale. Legile și teoriile sunt formulate pe baza observațiilor și a experimentelor. Modelele științifice permit interpretarea datelor și formularea de predicții, dar sunt acceptate doar atât timp cât sunt confirmate experimental; dacă apar rezultate care le contrazic, acestea trebuie revizuite.

Mărime fizică. Unitate de măsură. Sistemul Internațional de Unități (SI)

Definiție

Mărimea fizică este o proprietate fizică observabilă și măsurabilă a unui sistem, proces sau stare, cuantificabilă¹ și exprimată printr-o valoare numerică și o unitate de măsură. Valoarea mărimii fizice este produsul dintre număr și unitatea de măsură.

Există mărimi fizice măsurabile direct (de exemplu: distanța și timpul) și mărimi fizice măsurabile indirect (de exemplu: viteza medie, definită prin raportul dintre distanța parcursă și timpul de deplasare).

Mărimile fizice sunt de două feluri, *scalare* și *vectoriale*.

Reține

O **mărime scalară** este o mărime fizică descrisă complet doar printr-o valoare numerică și o referință (de regulă, o unitate de măsură).

Exemple: masa, temperatura, durata, energia, volumul, distanța parcursă etc.

Reține

O **mărime vectorială** este o mărime fizică descrisă prin: **valoare numerică (modul), unitate de măsură, punct de aplicație, direcție și sens**.

Exemple: forța, viteza, accelerația, deplasarea.

Atenție: *deplasarea este vector, dar distanța parcursă este scalară.*

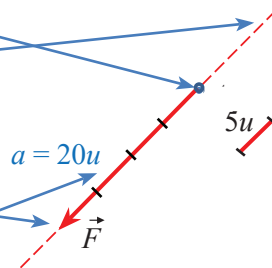
O mărime fizică vectorială se reprezintă printr-un **segment de dreaptă orientat (săgeată)**. Pentru reprezentarea unui vector, trebuie precizată o **scară** – adică corespondența dintre **lungimea unui segment** și **valoarea numerică** a mărimii.

1. Punctul de aplicație

2. Direcția

3. Sensul

4. Mărimea (modulul)



Reține

- Notăția $\vec{a}$ este totdeauna atașată unui segment de dreaptă orientat și presupune cunoașterea tuturor caracteristicilor vectorului $\vec{a}$ (punct de aplicație, direcție, sens și mărime).
- Notăția a ($a = 20u$) corespunde numai mărimii vectorului.

Rezultatele măsurărilor sunt exprimate, de obicei, în unități standardizate. De exemplu, lungimea unei curse, care este o mărime fizică, poate fi exprimată în unități de metri (pentru sprinteri) sau kilometri (pentru alergătorii de maraton). Fără unități standardizate, le-ar fi extrem de dificil oamenilor de știință să exprime și să compare valorile măsurate într-un mod cu adevărat semnificativ.

¹ Cuantificabil înseamnă „care poate fi măsurat și exprimat numeric”, adică i se poate atribui o valoare.

Există două tipuri de măsurări ale mărimilor fizice: directe și indirecte. *Măsurarea directă* a unei mărimi fizice înseamnă compararea acesteia cu o mărime de același fel aleasă ca unitate sau etalon (de exemplu: măsurarea unei lungimi, a unei mase, a duratei unui fenomen). În *măsurarea indirectă*, valoarea mărimii fizice se obține în urma calculelor efectuate cu ajutorul altor mărimi fizice (de exemplu: pentru determinarea vitezei unei mașini, trebuie efectuate măsurări pentru distanța parcursă și pentru intervalul de timp în care a avut loc deplasarea).

Reține

A măsura o mărime fizică înseamnă a o compara cu o altă mărime de aceeași natură, aleasă, prin convenție, ca unitate de măsură.

Stabilirea unităților de măsură se face prin convenții internaționale.



La nivel internațional, în 1960, s-a convenit să existe un sistem unic de mărimi și unități de măsură pentru știință, tehnologie, industrie și comerț, numit **Sistemul Internațional de Mărimi și Unități** (abrevierea fiind **SI**). Acesta se aplică în România din 1960.



Scanează codul QR alăturat pentru a afla mai multe informații despre SI.

În **SI** sunt definite **7 unități de măsură fundamentale** (metru – m, kilogram – kg, secundă – s, kelvin – K, mol – mol, amper – A, candela – cd) și **22 de unități derivate**, cu denumiri și simboluri speciale, definite ca produse ale unităților fundamentale, de exemplu: newton – pentru forță $N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, joule – pentru energie

$$J = N \cdot m = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}, \text{ watt – pentru putere } W = \frac{J}{s} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \text{ etc.}$$

Cele 7 unități fundamentale și cele 22 de unități derivate pot fi utilizate în combinație pentru a exprima unitățile altor mărimi derivate, de exemplu: m^2 pentru arie, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ pentru viteză, $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ pentru accelerație, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pentru densitate etc.

Multipli și submultipli

Ordinul de mărime al unei mărimi fizice se referă la partea întreagă a puterii lui 10 care descrie cât de mare sau mică este valoarea.

Multiplii și submultiplii zecimali, corespunzători puterilor lui 10 cuprinse între 10^{30} și 10^{-30} , sunt stabiliți pentru a fi utilizate în asociere cu unitățile SI.

Puterea lui 10	Prefix	Simbol	Puterea lui 10	Prefix	Simbol	Puterea lui 10	Prefix	Simbol	Puterea lui 10	Prefix	Simbol
10^{30}	quetta	Q	10^{-1}	deci	d	10^{12}	tera	T	10^{-15}	femto	f
10^{27}	ronna	R	10^{-2}	centi	c	10^9	giga	G	10^{-18}	atto	a
10^{24}	yotta	Y	10^{-3}	mili	m	10^6	mega	M	10^{-21}	zepto	z
10^{21}	zetta	Z	10^{-6}	micro	μ	10^3	kilo	k	10^{-24}	yocto	y
10^{18}	exa	E	10^{-9}	nano	n	10^2	hecto	h	10^{-27}	ronto	r
10^{15}	peta	P	10^{-12}	pico	p	10^1	deca	da	10^{-30}	quecto	q

Gruparea formată prin atașarea unui simbol de prefix la un simbol de unitate constituie un nou simbol de unitate inseparabil (care formează un multiplu sau un submultiplu al unității respective), care poate fi ridicat la o putere pozitivă sau negativă și care poate fi combinat cu alte simboluri de unități pentru a forma simboluri de unități compuse.

Exemple:

- pm (picometru), mmol (milimol), GΩ (gigaohm), THz (terahertz)
- $2,3 \text{ cm}^3 = 2,3 (\text{cm})^3 = 2,3 (10^{-2} \text{ m})^3 = 2,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
- $1 \text{ cm}^{-1} = 1 (\text{cm})^{-1} = 1 (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} = 100 \text{ m}^{-1}$

Instrumente de măsură

În fizică, **măsurarea** este operația prin care se determină valoarea unei mărimi fizice, prin compararea acesteia cu o **unitate de măsură**. Măsurările se realizează cu ajutorul **instrumentelor de măsură**, iar rezultatele obținute sunt influențate atât de caracteristicile instrumentelor, cât și de modul de efectuare a măsurării.



Definiție

Instrumentul de măsură este un dispozitiv utilizat pentru determinarea experimentală a valorii unei mărimi fizice, prin raportare la o unitate de măsură stabilită, de regulă, din **Sistemul Internațional de Unități (SI)**.

Caracteristicile instrumentelor de măsură

1. Domeniul de măsurare – intervalul de valori ale mărimii fizice pentru care instrumentul poate fi utilizat corect.

Exemplu: O riglă de 30 cm are domeniul de măsurare 0-30 cm și nu poate fi utilizată pentru măsurarea directă a unor lungimi mai mari.

2. Unitatea de măsură – unitatea în care se exprimă rezultatul măsurării și este indicată pe instrument.

Exemplu: La riglă, unitatea de măsură este metrul și submultiplii săi (cm, mm).

3. Diviziunea minimă – cea mai mică valoare a mărimii fizice care poate fi citită direct pe scala instrumentului. Ea se numește rezoluția instrumentului.

Exemplu: Pentru o riglă gradată din milimetru în milimetru, diviziunea minimă este 1 mm.

4. Sensibilitatea instrumentului – capacitatea instrumentului de a măsura variații mici ale mărimii măsurate.

Exemplu: Un termometru care indică variații de $0,1^\circ\text{C}$ este mai sensibil decât unul care indică doar variații de 1°C .

5. Eroarea de măsurare – orice măsurare este afectată de o eroare. În cazul instrumentelor cu scară gradată, eroarea instrumentală este, de regulă, egală cu jumătate din diviziunea minimă.

Exemplu: Pentru o riglă cu diviziunea minimă de 1 mm, eroarea instrumentală este $\pm 0,5 \text{ mm}$.

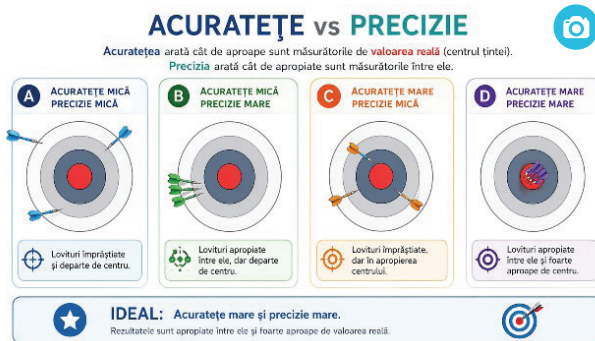
Exactitatea (acuratețea) unui rezultat exprimă cât de apropiată este valoarea măsurată de valoarea adevărată a mărimii. Ea poate fi îmbunătățită prin identificarea și corectarea erorilor sistematice (calibrare, metode, influențe constante).

Precizia măsurării arată cât de apropiate sunt între ele mai multe măsurări repetate ale aceleiași mărimi. Precizia depinde de calitatea instrumentului și este legată de incertitudinea de măsurare.

Incertitudinea de măsurare ($x \pm \Delta x$, unde x este valoarea măsurată, iar Δx este incertitudinea de măsurare) reprezintă intervalul în care se estimează că se află valoarea adevărată a mărimii, pe baza măsurărilor efectuate și a limitărilor instrumentului.

Urmărește imaginea alăturată pentru a înțelege mai bine care este diferența dintre cele două noțiuni.

Concluzie: Un rezultat al unei măsurări poate fi precis, dar inexact, sau exact, dar puțin precis. Observațiile științifice de cea mai bună calitate sunt atât exacte, cât și precise.



Cifre semnificative

Valoarea numerică a unei mărimi fizice măsurate trebuie să conțină atâtea cifre câte sunt semnificative pentru măsurarea efectuată.

Definiție

O cifră semnificativă este oricare cifră, 1, 2, ..., 9, a unui număr care este folosită pentru a arăta mărimea numărului, indiferent de poziția virgulei, dacă numărul este scris sub formă zecimală. Cifra zero se consideră semnificativă dacă se află în interiorul numărului sau la dreapta acestuia, dar după virgulă.

Exemplu: Dacă prin măsurare se obțin următoarele valori: 12,5 cm, 12,9 cm și 12,8 cm, valoarea medie calculată este un număr cu o infinitate de zecimale – 12,7333333... cm. Având în vedere faptul că precizia riglei cu care s-a efectuat măsurarea este de 1 mm = 0,1 cm, toate cifrele care se scriu după cifra care reprezintă numărul de milimetri nu au nicio semnificație. Prin urmare, valoarea medie va fi 12,7 cm.

Dacă un număr trebuie rotunjit la un număr de cifre semnificative, trebuie respectate următoarele **reguli**:

– Dacă nu există zerouri, toate cifrele sunt semnificative.

Exemplu: 349,4 are 4 cifre semnificative; 2892,5 are 5 cifre semnificative.

– Zerourile aflate între alte cifre sunt semnificative.

Exemplu: 3049,4 are 5 cifre semnificative; 208902,5 are 7 cifre semnificative.

– Zerourile aflate la dreapta unui număr pot să nu fie semnificative.

Exemplu: 3490 are trei cifre semnificative, adică incertitudinea măsurătorii respective afectează ultimele două cifre; 10000 are o singură cifră semnificativă, adică incertitudinea măsurătorii afectează ultimele 5 cifre (aceasta ar fi o măsurare foarte imprecisă).

– Zerourile din stânga primei cifre nenule a unui număr zecimal nu sunt semnificative.

Exemplu: 0,00046 are două cifre semnificative; 0,12304 are 5 cifre semnificative.

– Pentru numerele scrise cu zecimale, zerourile din dreapta cifrei sunt semnificative.

Exemple: 0,1230400 are 7 cifre semnificative; 2,00 are trei cifre semnificative.

APLICĂ

Rotunjește numerele din tabel la 1 cifră, 2 cifre, 3 cifre semnificative.

Rezolvare:

Număr	Rotunjire la 1 cifră semnificativă	Rotunjire la 2 cifre semnificative	Rotunjire la 3 cifre semnificative
45291	50000	45000	45300
567,54	600	570	568
7,3792	7	7,4	7,38
99,8721	1×10^2	$1,0 \times 10^2$	99,9

1.2. TIPURI DE ERORI. INCERTITUDINEA MĂSURĂRII

Eroare de măsurare

Orice măsurare este afectată de erori. După cauza care le produce, erorile pot fi: sistematice, întâmplătoare și grosolane.

1. Erorile sistematice au trei surse posibile:

a) *Erori de observator*: citirea indicațiilor instrumentului de măsură privind obic la scala acestuia.
b) *Erori de instrument*: apar atunci când un aparat de măsură indică în mod constant o valoare mai mare sau mai mică decât valoarea reală, din cauza unor probleme precum calibrarea greșită sau defectarea instrumentului. Eroarea de instrument (de citire) se estimează de obicei astfel:

- la instrumente analogice (cu scală): aproximativ $\pm \frac{1}{2}$ din diviziunea minimă;
- la instrumente digitale: aproximativ $\pm \frac{1}{2}$ din ultima unitate afișată.

c) *Erori de metodă*: în timpul efectuării măsurării, sistemul măsurat interacționează cu instrumentul de măsură, ceea ce modifică rezultatul măsurării.

Oricare ar fi cauzele erorilor sistematice, ele au o caracteristică comună: se admite că valoarea unei măsurări individuale este aceeași ori de câte ori repetăm măsurarea, ca urmare, și eroarea este aceeași.

2. Erorile întâmplătoare apar din cele mai diverse cauze. De multe ori, ele sunt atât de mici, încât efectul lor nu poate fi sesizat (variația temperaturii în procesul de măsurare, modificări ale legii de mișcare din cauza unor curenți slabi de aer etc.).

3. Erorile grosolane apar în urma deteriorării condițiilor principale ale măsurării sau a neatenției/nepriceperii experimentatorului. De exemplu, citirea incorectă a unui instrument de măsurare din cauza iluminării insuficiente a locului de muncă, folosirea unor instrumente defecte, sau procedee de măsură care conduc la apariția în setul de date experimentale a unor valori care diferă semnificativ de majoritatea celorlalte date. Caracteristica esențială a erorilor grosolane este aceea că ele implică valori măsurate care se abat vizibil de la o valoare medie. Erorile grosolane se elimină la începutul operației de analiză a rezultatelor și, pe cât posibil, se înlocuiesc cu valori găsite în urma altor măsurări, efectuate în condiții corecte.



Erorile de măsură

Pentru măsurarea unei mărimi fizice, trebuie stabilite: unitatea de măsură, procedeul de măsurare și instrumentul de măsură.

Fie X – valoarea adevărată a unei mărimi fizice, iar x – rezultatul măsurării.

Definiții

Eroarea absolută: $\Delta x = x - X$ (diferența dintre rezultatul măsurării, x , și valoarea adevărată a mărimii măsurate, X). Prin urmare, valoarea adevărată este cuprinsă în intervalul: $x - |\Delta x| \leq X \leq x + |\Delta x|$.

Eroarea relativă a valorii aproximative: $\delta = \frac{|\Delta x|}{X}$, pentru $X \neq 0$.

Eroarea relativă procentuală: $\delta_{\%} = \frac{|\Delta x|}{X} \cdot 100$.

Exactitatea unui rezultat este o măsură a apropierii valorii numerice a rezultatului față de valoarea adevărată; exactitatea este, deci, o măsură a acurateții unui rezultat.

Valoarea medie a mărimii fizice măsurate reprezintă cea mai bună estimare a valorii adevărate și se calculează ca media aritmetică a celor n valori măsurate:

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{n}.$$

Incertitudinea măsurării este modulul diferenței dintre valoarea măsurată, x_n , și valoarea medie, $\bar{x}$:

$$|\Delta x_n| = |x_n - \bar{x}|$$

Incertitudinea medie reprezintă media aritmetică a erorilor absolute față de valoarea medie a tuturor citirilor: $\overline{\Delta x} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n}{n}$.

Rezultatul măsurării mărimii fizice: $x = \bar{x} \pm \overline{\Delta x}$.

Observație: O măsurare este cu atât mai precisă cu cât incertitudinea și, respectiv, incertitudinea relativă sunt mai mici.

APLICĂ

1. La măsurarea lungimii aceleiași bare, 5 elevi au obținut următoarele rezultate: 28,6 cm; 28,8 cm; 28,9 cm; 26,6 cm; 28,5 cm. Calculează incertitudinea absolută, incertitudinea absolută medie și scrie rezultatul măsurării.

Rezolvare:

De regulă, datele obținute se trec în tabelul de date de forma:



Nr. măs.	ℓ /cm	ℓ /cm	$\Delta \ell_n$ /cm	$\Delta \ell_{\text{mediu}}$ /cm	
1	28,6	28,7	0,1	0,15	Având în vedere faptul că rezoluția riglei este de 1 mm = 0,1 cm, atunci rezultatul se va scrie: $\ell = (28,7 \pm 0,1)$ cm.
2	28,8		0,1		
3	28,9		0,2		
4	26,6		–		
5	28,5		0,2		

Eroare grosolană – se renunță la măsurare

Adunarea valorilor numerice aproximative

Atunci când se adună două numere aproximative, incertitudinile se adună.

Fie $S = a + b$. Mărimea fizică de interes, S , este obținută prin adunarea a două mărimi fizice direct măsurabile. Mărimea fizică a este măsurată cu incertitudinea Δa , iar b este măsurat cu incertitudinea Δb .

$$(a \pm \Delta a) + (b \pm \Delta b) = (a + b) \pm (\Delta a + \Delta b)$$

Incertitudinea ΔS a lui S este: $\Delta S = \Delta a + \Delta b$.

Incertitudinea $\Delta a + \Delta b$ reprezintă incertitudinea maximă care afectează suma.

APLICĂ

Evaluarea perimetrului unui dreptunghi.

Rezolvare:

Perimetrul unui dreptunghi a fost măsurat cu ajutorul unei rigle și au fost obținute următoarele valori:

$$L = (6,2 \pm 0,1) \text{ cm și } \ell = (3,4 \pm 0,1) \text{ cm}$$

Știind că $P = 2(L + \ell)$, rezultă: $P = 2 \cdot (6,2 + 3,4) \pm 2 \cdot (0,1 + 0,1) = (19,2 \pm 0,4) \text{ cm}$

Scăderea valorilor numerice aproximative

Atunci când se scad două numere aproximative, incertitudinile se adună.

Diferența, D , a două valori numerice aproximative $a \pm \Delta a$ și $b \pm \Delta b$ este:

$$D = (a \pm \Delta a) - (b \pm \Delta b) = (a - b) \pm (\Delta a + \Delta b)$$

Înmulțirea valorilor numerice aproximative

Produsul, P , a două mărimi aproximative este:

Ultimul termen poate fi neglijat (în cazul în care incertitudinile relative sunt mici)

$$P = (a \pm \Delta a) \cdot (b \pm \Delta b) = ab \pm a\Delta b \pm b\Delta a \pm \Delta a\Delta b \approx ab \pm a\Delta b \pm b\Delta a = ab \pm ab \cdot \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \right).$$

$$\Delta P = ab \cdot \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \right) = ab \cdot (\delta_a + \delta_b) \Rightarrow \frac{\Delta P}{P} = \delta_a + \delta_b$$

Împărțirea valorilor numerice aproximative

Raportul, Q , a două mărimi aproximative este:

$$Q = \frac{a \pm \Delta a}{b \pm \Delta b} = \frac{a \cdot \left(1 \pm \frac{\Delta a}{a} \right)}{b \cdot \left(1 \pm \frac{\Delta b}{b} \right)} = \frac{a}{b} \cdot \frac{\left(1 \pm \frac{\Delta a}{a} \right) \cdot \left(1 \pm \frac{\Delta b}{b} \right)}{\left(1 \pm \frac{\Delta b}{b} \right)^2} \approx \frac{a}{b} \cdot \left(1 \pm \frac{\Delta a}{a} \pm \frac{\Delta b}{b} \right)$$

$$\Delta Q = \frac{a}{b} \cdot \left(\frac{\Delta a}{a} \pm \frac{\Delta b}{b} \right) \Rightarrow \frac{\Delta Q}{Q} = \delta_a + \delta_b.$$

APLICĂ

1. Evaluarea ariei suprafeței unui dreptunghi.

Rezolvare:

Pentru evaluarea ariei suprafeței unui dreptunghi au fost măsurate lungimile laturilor cu ajutorul unei rigle și au fost obținute următoarele valori: $L = (6,2 \pm 0,1)$ cm și $\ell = (3,4 \pm 0,1)$ cm. Știind că $A = L \cdot \ell$, $A = 6,2 \cdot 3,4 = 21,08$ cm². Incertitudinea: $\Delta A = L \cdot \ell \cdot \left(\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta \ell}{\ell} \right) = 6,2 \cdot 3,4 \cdot \left(\frac{0,1}{6,2} + \frac{0,1}{3,4} \right)$ cm² = 0,96 cm². $A = (21,1 \pm 1,0)$ cm².

Reține

Diferența dintre eroare și incertitudine

În analiza rezultatelor experimentale este important să se facă distincția între eroare și incertitudine, doi termeni înrudiți, dar cu semnificații diferite.

Eroarea unei măsurări este diferența dintre valoarea măsurată și valoarea adevărată a mărimii: $\Delta x = x - X$. Valoarea adevărată nu este cunoscută exact, ci estimată printr-un interval de incertitudine.

Incetitudinea este o estimare a intervalului în care se presupune că se află valoarea adevărată a mărimii măsurate. Rezultatul $x \pm \Delta x$ înseamnă că valoarea reală este estimată între $x - \Delta x$ și $x + \Delta x$.

Exemplu: Dacă este măsurată o lungime și se obține: $L = (20,0 \pm 0,5)$ cm, înseamnă că valoarea adevărată a lungimii este estimată a fi cuprinsă între 19,5 cm și 20,5 cm. Eroarea reală există, dar nu este cunoscută; incertitudinea indică intervalul maxim posibil al acestei erori.

EXERSEAZĂ

1. Mărimile a două forțe au fost măsurate ca fiind 120 ± 5 N și 60 ± 3 N. Determinați suma și diferența celor două mărimi, indicând incertitudinea în fiecare caz.

2. Diametrul unei bile de oțel urmează să fie măsurat folosind un micrometru. Sursele de eroare sunt:

- Bila nu este centrată între suprafețele de măsurare ale micrometrului.
- Suprafețele de măsurare ale micrometrului sunt strânse prea tare.
- Temperatura bilei se poate schimba în timpul măsurării.
- Bila poate să nu fie perfect rotundă.

Stabiliți care dintre acestea sunt surse de eroare întâmplătoare și care sunt surse de eroare sistematică.



Capitolul 2

Elemente de cinematică

La finalul acestui capitol, vei fi capabil:

- să înțelegi și să explici conceptul de punct material și condițiile în care un corp poate fi considerat punct material;
- să descrii mișcările rectilinie uniformă și rectilinie uniform variată;
- să compari diferite tipuri de mișcare în funcție de forma traiectoriei și/sau de variația vectorilor viteză și accelerație;
- să identifici tipuri de mișcare în natură și în aplicație tehnice;
- să reprezinți și să interpretezi fizic graficele mișcării (dependența coordonatei sau a vitezei de timp);
- să determini experimental viteza medie a unui corp folosind instrumente simple de măsură;
- să înregistrezi, să organizezi și să reprezinți grafic date experimentale;
- să analizezi critic precizia măsurătorilor și regularitățile observate în datele experimentale;
- să aplici relațiile matematice și legile studiate în rezolvarea problemelor de cinematică.

2.1. DESCRIEREA MIȘCĂRII CORPURIILOR

Când ești așezat în bancă, în sala de clasă, ești în repaus sau în mișcare? Dar pilotul care conduce o navetă spațială spre Stația Spațială Internațională este în repaus sau în mișcare?

Repausul și mișcarea unui corp pot fi definite doar în raport cu alte corpuri, pentru că putem vorbi despre poziția unui corp doar în raport cu alte corpuri.

Reține

Numim **sistem de referință** ansamblul format dintr-un **corp de referință**, **față de care descriem mișcarea și/sau repausul altui corp**, o **riglă și un ceasornic**. Unui sistem de referință i se atașează un **sistem de trei axe (de preferat ortogonale)** pentru a indica poziția în spațiu.

Un corp este în repaus dacă nu-și modifică poziția față de sistemul de referință și este în mișcare dacă își modifică poziția față de sistemul de referință ales.

Mișcarea unui corp poate arăta diferit în sisteme de referință diferite. De exemplu, pilotul este în repaus raportat la naveta spațială, aleasă ca sistem de referință, dar se află în mișcare dacă sistemul de referință ales este Pământul. În **sistemul de referință propriu** (sistemul de referință legat rigid de corp), corpul este întotdeauna în repaus. Pământul, Soarele etc. pot fi considerate sisteme de referință. Practic, orice corp căruia i se asociază un sistem de axe pentru măsurarea poziției și un ceasornic pentru măsurarea timpului poate fi considerat sistem de referință. Este de preferat ca sistemul să fie ales astfel încât descrierea mișcării să fie cât mai simplă. În general, corpurile sunt sisteme complexe. De aceea, în studiul mișcării corpurilor folosim simplificări.

Dacă dimensiunile și forma unui corp pot fi neglijate în raport cu scara fenomenului studiat, se poate reduce corpul la un model fizic, numit **punct material**. În cadrul acestui model, întreaga masă a corpului este concentrată în acest punct. Un același corp poate fi considerat punct material într-un sistem de referință, iar în alt sistem de referință, nu.

Numim **mobil** punctul material aflat în mișcare. Mobilul aflat în mișcare trece printr-o succesiune de puncte.

Reține

Numim **traectorie** mulțimea tuturor punctelor prin care trece mobilul în mișcarea sa.

Să considerăm un sistem de referință solidar cu Pământul (fig. 2.1.1), numit sistemul de referință al laboratorului (SL). În acest sistem de referință, în intervalul de timp Δt , mobilul se deplasează din punctul M în punctul N , descriind traectoria a **cărei lungime, măsurată în metri**, este s (vezi fig. 2.1.1).

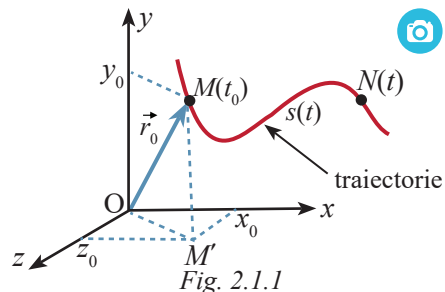


Fig. 2.1.1

Reține

Numim **vector de poziție** vectorul care indică poziția mobilului la un moment dat, în raport cu originea sistemului de referință. În cazul nostru (fig. 2.1.1), la momentul de timp t_0 , vectorul care indică poziția mobilului față de originea sistemului de referință O este $\vec{r}_0$.

Mobilul se deplasează pe traectoria marcată cu roșu din punctul M în punctul N , în intervalul de timp $\Delta t = t - t_0$. La momentul de timp t (fig. 2.1.2), vectorul care indică poziția mobilului este $\vec{r}$.

Pentru simplificarea figurii, am păstrat din cele trei axe ale sistemului de referință, Ox , Oy și Oz , doar axele Ox și Oy .

Reține

Numim **vector deplasare** vectorul

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}(t) - \vec{r}_0(t_0) \quad (2.1.1)$$

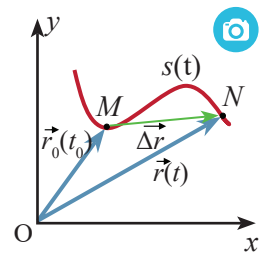


Fig. 2.1.2

Așa cum se poate observa din fig. 2.1.2, vectorul deplasare depinde de timp, dar nu depinde de forma traiectoriei.

Vectorul de poziție, ca și vectorul deplasare, are ca unitate de măsură în sistemul internațional metrul:

$$[\vec{r}]_{\text{S.I.}} = [\Delta\vec{r}]_{\text{S.I.}} = \text{m} \quad (2.1.2)$$

Mișcarea poate fi descrisă în funcție de lungimea traiectoriei, numită **distanța parcursă de mobil**, cu ajutorul **legii de mișcare** pe traiectorie:

$$s = f(t)$$

Poziția mobilului poate fi exprimată fie în funcție de vectorul de poziție, fie în funcție de proiecțiile vectorului de poziție pe axele Ox , Oy , adică de coordonatele x , y . În fig. 2.1.3, am reprezentat traiectoria mobilului, vectorul de poziție la momentul de timp t și coordonatele mobilului la momentul de timp respectiv, x_N , respectiv, y_N .

În fig. 2.1.1, x_0 , y_0 și z_0 reprezintă coordonatele mobilului la momentul de timp inițial t_0 .

În cazul **mișcării rectilinii** a unui mobil, este convenabil să se aleagă una dintre axe, de exemplu, Ox , de-a lungul direcției de mișcare. În acest caz, a stabili **legea de mișcare a mobilului** înseamnă a determina **cum variază coordonata x în timp**. Lungimea vectorului deplasare a mobilului, în intervalul de timp Δt , este egală cu modulul variației coordonatei sale, așa cum se observă în fig. 2.1.4:

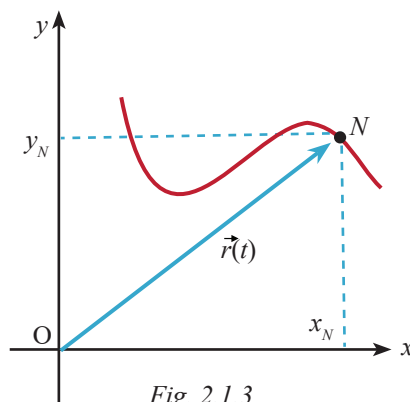


Fig. 2.1.3

$$\left. \begin{array}{l} |\Delta\vec{r}| = |\Delta x| \\ |\Delta x| = |x - x_0| \end{array} \right\} \Rightarrow |\Delta\vec{r}| = |x - x_0| \quad (2.1.3)$$

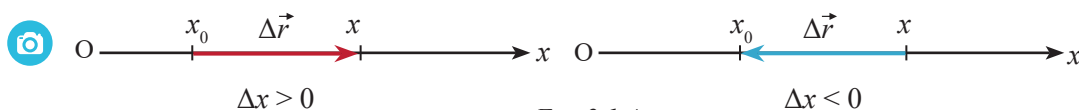


Fig. 2.1.4

În cazul în care **mișcarea se efectuează într-un plan xOy** (fig. 2.1.5), să stabilim ecuația traiectoriei înseamnă să stabilim o relație între perechile de coordonate (x, y) ale punctelor prin care trece mobilul.

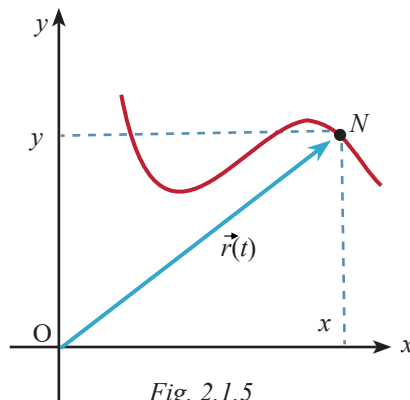


Fig. 2.1.5

APLICĂ

1. Un mobil se deplasează din punctul A în punctul B , ca în fig. 2.1.6, prima dată urmând traiectoria notată cu a , iar a doua oară urmând traiectoria notată cu b .

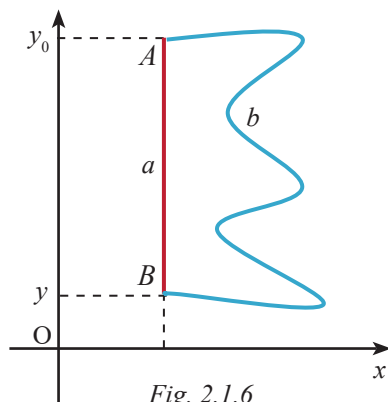


Fig. 2.1.6

a) Copiază desenul în caiet și completează-l marcând coordonatele inițială și finală pe axa Ox .

b) Alege și notează în caiet relația de ordine între coordonate:

1. $x_0 = x, y_0 < y$

2. $x_0 < x, y_0 < y$

3. $x_0 > x, y_0 < y$

4. $x_0 = x, y_0 > y$

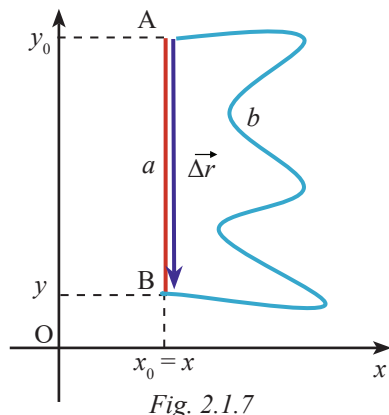
c) Ce relație de ordine există între lungimea traiectoriei și lungimea vectorului deplasare în cele două cazuri?

Rezolvare:

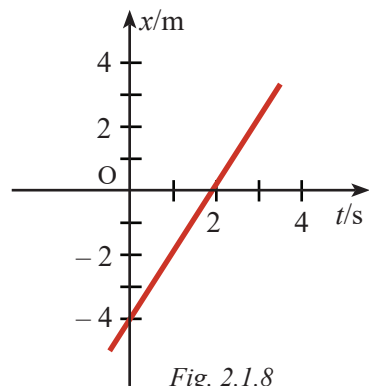
a. În fig. 2.1.7, sunt indicate coordonatele x și x_0 . Deși cele două traiectorii sunt diferite, pozițiile inițială (A), respectiv, cea finală (B) sunt aceleași, indiferent dacă mobilul se deplasează pe traiectoria a sau pe traiectoria b .

b. Relația corectă între coordonate este relația 4.

c. Se observă (vezi fig. 2.1.7) că, în primul caz (a), lungimea traiectoriei și lungimea vectorului deplasare sunt egale. În cazul al doilea (b), lungimea traiectoriei este mai mare decât lungimea vectorului deplasare (același ca în cazul a, chiar dacă forma traiectoriei este diferită).



2. Coordonata unui mobil variază în timp după **legea** (exprimată în unități S.I.): $x = 2t - 4$.



- Calculează coordonata mobilului la momentul de timp $t = 2$ s.
- Calculează distanța parcursă de mobil (lungimea traiectoriei), s , în intervalul de timp (0 s, 2 s).

Rezolvare:

a. Pentru a reprezenta grafic coordonata mobilului în funcție de timp, alegem perechile de puncte:

$$\left. \begin{array}{l} x' = 0 \\ x = 2t - 4 \end{array} \right\} \Rightarrow 0 = 2t' - 4 \Rightarrow 2t' - 4 \Rightarrow t' = \frac{4}{2} = 2$$

$$\left. \begin{array}{l} t_0 = 0 \\ x = 2t - 4 \end{array} \right\} \Rightarrow x_0 = -4$$

Vom avea, deci, perechile de coordonate: ($x' = 0$ m, $t' = 2$ s) și ($x_0 = -4$ m, $t_0 = 0$ s) (fig. 2.1.8). Coordonata x variază liniar în timp.

b. Mobilul se deplasează de-a lungul axei Ox . La momentul de timp inițial $t_0 = 0$ s, coordonata sa este $x_0 = -4$ m. La momentul de timp $t' = 2$ s, coordonata mobilului este $x' = 0$ m.

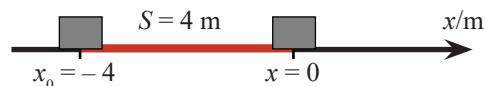


Fig. 2.1.9

Lungimea traiectoriei mobilului (vezi fig. 2.1.9) este:

$$\left. \begin{array}{l} s = x' - x_0 \\ x' = 0 \\ x_0 = -4 \end{array} \right\} \Rightarrow s = 0 - (-4) = 4 \text{ m}$$

3. Un mobil se află la momentul de timp inițial, $t_0 = 0$ s, în punctul A (1, 3). La un moment oarecare de timp, t , urmând traiectoria din fig. 2.1.10, mobilul ajunge în punctul B (3, 1).

a. Figurează vectorii de poziție și vectorul deplasare.

b. Coincide lungimea vectorului deplasare cu lungimea traiectoriei mobilului?

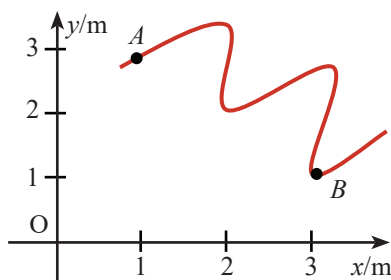


Fig. 2.1.10

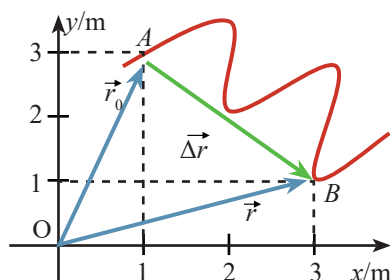


Fig. 2.1.11

Rezolvare:

- a. În fig. 2.1.11, am figurat vectorii de poziție și vectorul deplasare.
- b. Lungimea vectorului deplasare nu coincide cu lungimea traiectoriei mobilului.

EXERSEAZĂ

1. Se poate spune că un mobil a fost în mișcare chiar dacă deplasarea sa a fost nulă?
2. Pământul poate fi considerat punct material? Justifică afirmația dată printr-un exemplu.
3. Dă un exemplu de situație în care Pământul nu poate fi considerat punct material.

4. În fig. 2.1.12, este reprezentată traiectoria unui mobil, sub forma unui cerc de rază $R = 1,5$ m. Mobilul pleacă din originea sistemului de axe, ajunge în punctul $A(3, 0)$, apoi revine în punctul de pornire.

a. Reprezintă vectorul deplasare corespunzător mișcării mobilului din poziția inițială până în momentul în care trece prin punctul A .

b. Calculează lungimea s a traiectoriei parcurse de mobil.

a. Calculează lungimea vectorului deplasare a mobilului din momentul pornirii până în momentul revenirii în punctul de plecare (originea sistemului de axe).

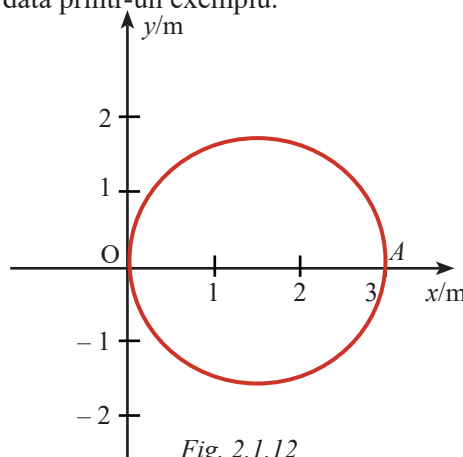


Fig. 2.1.12

EXPERIMENTEAZĂ

„Fixează” într-unul dintre colțurile clasei originea unui sistem de axe ortogonal, tridimensional, astfel:

- alege axa Ox în plan orizontal, de-a lungul peretelui pe care se află tabla;
- alege axa Oy verticală, orientată în sus;
- alege axa Oz în plan orizontal (de preferat, planul podelei), de-a lungul peretelui perpendicular pe peretele care conține tabla (vezi fig. 2.1.10).

Poți observa că:

- deplasarea ta în planul xOy nu este posibilă (necesită deplasare pe verticală);
- deplasarea în planul xOz este posibilă, deoarece se face pe podea.

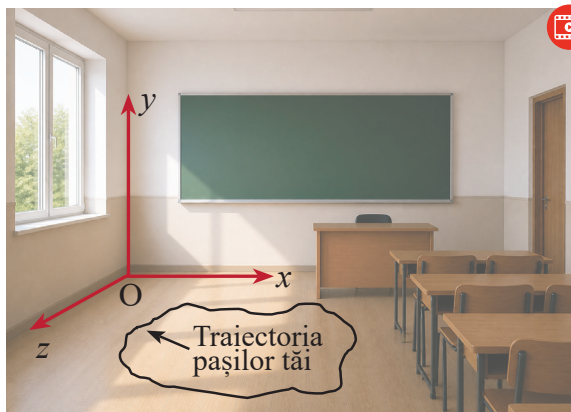


Fig. 2.1.13

Atașează celor trei axe un sistem de *unități arbitrare de lungime*.

Deplasează-te în sistemul de coordonate ales, din poziția inițială având coordonatele $(7, 0, 6)$ (în unități arbitrare), astfel încât *vectorul deplasare să fie nul, iar lungimea traiectoriei (distanța parcursă), nenulă*.

Răspunde la următoarele întrebări:

- a. Ce coordonate vei avea în poziția finală?
- b. Ce particularitate observi, legată de forma traiectoriei: este închisă sau deschisă?

Notează în caiet răspunsurile la întrebările de mai sus.

2.2. VITEZA ȘI ACCELERAȚIA

Cum putem compara mișcările între ele? De exemplu, ce se mișcă mai repede, un camion care parcurge o distanță $d_1 = 72 \text{ km}$ într-o oră sau un automobil care parcurge distanța $d_2 = 100 \text{ m}$ în 3 minute?

Pentru a compara mișcările, avem nevoie de o mărime care să permită o corelație între deplasări și durate. Această mărime fizică se numește **viteză**. Pentru început, vom introduce această mărime ca scalar, după care o vom generaliza ca mărime fizică vectorială.

Reține

Viteza medie a unui mobil care a parcurs o porțiune de traiectorie de lungime s , (fig. 2.2.1) în intervalul de timp Δt se definește prin raportul:

$$v_{med} = \frac{s}{\Delta t} \quad (2.2.1)$$

Să presupunem că mobilul are, la momentul de timp inițial t_0 , vectorul de poziție $\vec{r}_0$, iar la momentul de timp t are vectorul de poziție $\vec{r}$. Deplasarea mobilului în timp este caracterizată de vectorul viteză medie.

Reține

Vectorul viteză medie a unui mobil se definește prin raportul:

$$\vec{v}_{med} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{t - t_0} \quad (2.2.2)$$

unde $\Delta \vec{r}$ reprezintă vectorul deplasare, iar Δt este intervalul de timp în care a avut loc deplasarea respectivă (fig. 2.2.2).

Unitatea de măsură în sistem internațional pentru viteză este:

$$[v]_{S.I.} = \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (2.2.3)$$

Cum duratele sunt totdeauna pozitive, înseamnă că vectorul viteză medie are aceeași orientare (aceeași direcție și același sens) cu vectorul deplasare. Deci **vectorul viteză medie este secant** la traiectorie (fig. 2.2.2),

Imaginează-ți că urmărești un biciclist pe traseu: vezi unde ajunge după 5 minute, dar nu știi exact cum a parcurs, de exemplu, fiecare porțiune a traseului. Viteza medie nu surprinde detaliile mișcării. Această mărime fizică ne spune doar ce s-a întâmplat „în ansamblu”, fără a ne oferi informații referitoare la modul concret în care mobilul și-a schimbat poziția.

În multe situații practice însă, ne interesează să descriem poziția mobilului la fiecare moment de timp, adică să descriem pas cu pas modul în care se desfășoară mișcarea. Pentru aceasta, este necesar să extindem definiția vitezei medii pentru un interval de timp foarte mic, corespunzător deplasării între două puncte ale traiectoriei (de exemplu, M și N din figura 2.2.3), oricât de apropiate între ele.

Reține

Vectorul viteză instantanee se obține când intervalul de timp Δt este foarte mic, deci tinde la zero.

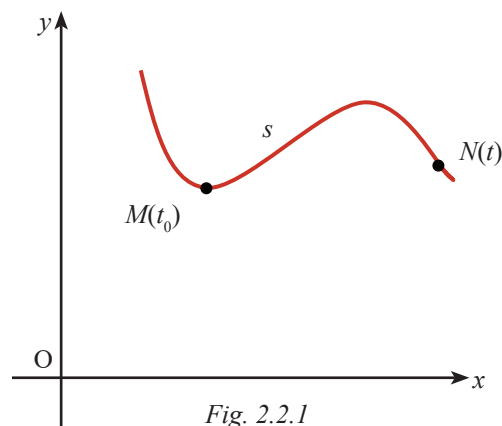


Fig. 2.2.1

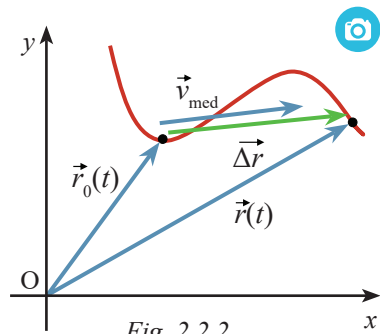


Fig. 2.2.2

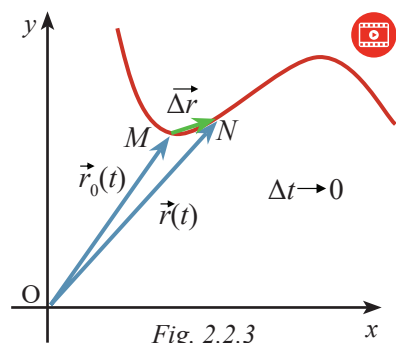


Fig. 2.2.3

În acest caz, punctul N de pe traiectorie se apropie oricât de mult de punctul M , iar vectorul deplasare devine foarte mic.

Reține

Vectorul viteză instantanee a unui mobil se definește ca raportul dintre vectorul deplasare și intervalul de timp Δt , în limita în care Δt tinde la zero.

Prin trecerea la limită, secanta MN se rotește în jurul punctului M și devine tangentă la traiectorie (în acest moment, practic, punctele M și N tind să se confunde) (fig. 2.2.4).

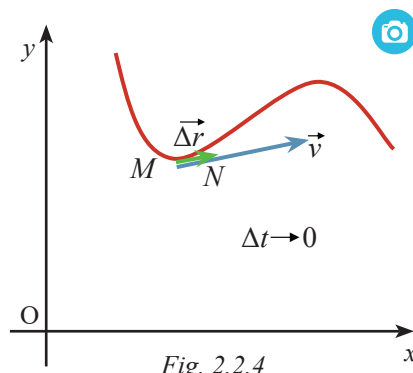


Fig. 2.2.4

Reține

Vectorul viteză instantanee este tangent la traiectorie în punctul considerat și este orientat în sensul mișcării mobilului în acel moment.

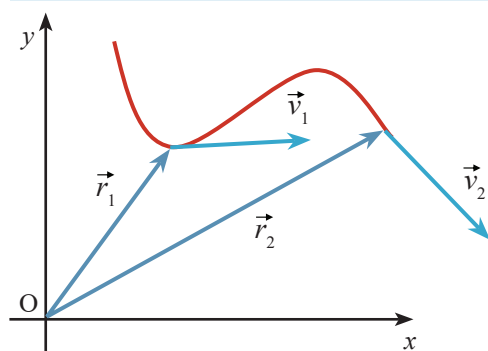


Fig. 2.2.5

În fig. 2.2.5, am ilustrat traiectoria unui mobil, vectorii de poziție ai mobilului, $\vec{r}_1$ și $\vec{r}_2$, la două momente de timp date, precum și vectorii viteză momentană, $\vec{v}_1$, respectiv, $\vec{v}_2$, tangenți la traiectorie la momentele de timp considerate.

Dacă mișcarea este **unidimensională (mișcare rectilinie)**, atât vectorul viteză medie, cât și vectorul viteză momentană sunt situați pe dreapta mișcării.

Conceptul de viteză poate fi extins pentru a descrie *variația în timp a oricărei mărimi fizice* care caracterizează starea unui sistem fizic. Un prim exemplu este să studiem modul în care însăși **viteza**

se modifică în timp, adică să studiem *viteza de variație a vitezei*.

Reține

Mărimea fizică vectorială ce caracterizează variația vectorului viteză în timp se numește **acelerație**.

De exemplu, dacă ne imaginăm o mașină care pornește de la semafor, observăm că în prima secundă de la pornire viteza sa este mică, dar crește pe măsură ce timpul trece. În general, vectorul viteză al unui mobil poate varia atât ca modul, cât și ca orientare, iar orice astfel de variație implică existența unei accelerații.

Reține

Vectorul accelerație este măsura variației vectorului viteză în unitatea de timp.

Reține

Definim **vectorul accelerație medie** ca fiind raportul dintre variația vectorului viteză și intervalul de timp corespunzător acestei variații:

$$\vec{a}_{med} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (2.2.4)$$

Vectorul accelerație medie este orientat în sensul și pe direcția vectorului variație a vitezei (vezi fig. 2.2.6; în această figură, am deplasat vectorul viteză inițială astfel încât să aibă același punct de aplicație cu vectorul viteză la un moment de timp oarecare).

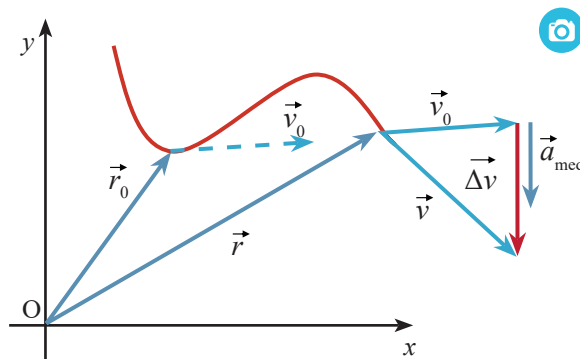


Fig. 2.2.6

Unitatea de măsură pentru accelerație este:

$$[a]_{\text{S.I.}} = \frac{[v]_{\text{SI}}}{[t]_{\text{SI}}} = \frac{\text{ms}^{-1}}{\text{s}} = \text{ms}^{-2} \quad (2.2.5)$$

Reține

Vectorul **accelerație instantanee** caracterizează variația vectorului viteză într-un interval de timp foarte, foarte scurt (care tinde la zero).

De exemplu, un automobil care se deplasează pe o stradă din oraș: la început, șoferul apasă pedala de accelerație. Viteza crește, iar accelerația este pozitivă. După ce a accelerat la viteza dorită, șoferul va menține constantă viteza automobilului. În tot acest timp, accelerația automobilului va fi zero. Apropiindu-se de un semafor, șoferul frânează, accelerația este negativă, iar viteza scade. Viteza și accelerația se modifică în timp, de aceea este important să cunoaștem nu doar valorile medii, ci și valorile lor instantanee.

APLICĂ

1. Un automobil parcurge o distanță de 200 m în 10 s. Calculează viteza sa medie. Exprimă rezultatul în km/h.

Rezolvare:

$$v_{\text{med}} = \frac{s}{\Delta t} = \frac{200}{10} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Transformăm rezultatul în unitățile de măsură cerute:

$$v_{\text{med}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20 \frac{0,001 \text{ km}}{\frac{1}{3600} \text{ h}} = 20 \cdot 3600 \cdot 0,001 = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

2. Un tren parcurge 5 km în 40 minute, apoi staționează 10 minute, după care mai parcurge 1000 m în 500 s. Calculează viteza medie pe întreaga durată a deplasării. Exprimă rezultatul în unități din sistemul internațional.

Rezolvare:

Transformăm unitățile de măsură în unități din sistemul internațional: $s_1 = 5 \text{ km} = 50 \cdot 1000 \text{ m} = 5 \cdot 10^4 \text{ m}$, $\Delta t_1 = 40 \text{ min} = 40 \cdot 60 = 24 \cdot 10^2 \text{ s}$, $\Delta t_2 = 10 \text{ min} = 10 \cdot 60 = 6 \cdot 10^2 \text{ s}$.

Calculăm viteza medie:

$$v_{\text{med}} = \frac{s_1 + s_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3} = \frac{5 \cdot 10^3 + 10^3}{24 \cdot 10^2 + 6 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^2} = \frac{10^3 (5+1)}{10^2 (24+6+5)} = \frac{10 \cdot 66}{25} = 1,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3. Acul minutar al unui ceas are lungimea $l = 2,5 \text{ cm}$.

a. Care este valoarea vitezei medii (scalare) a vârfului acului atunci când se deplasează între două puncte diametral opuse A și B ale cadranelui?

b. Care este valoarea modului vectorului viteză medie în cazul în care minutarul se deplasează între aceleași puncte diametral opuse ale cadranelui?

Rezolvare:

a. În intervalul de timp $\Delta t = t_1 - t_0 = 30 \text{ min}$, vârful minutarului de lungime $l = 2,5 \text{ cm}$ „parcurge” un arc de cerc s (fig. 2.2.7):

$$\left. \begin{array}{l} s = \frac{2\pi R}{2} \\ R = l \end{array} \right\} \Rightarrow s = \pi l \quad (2.2.6)$$

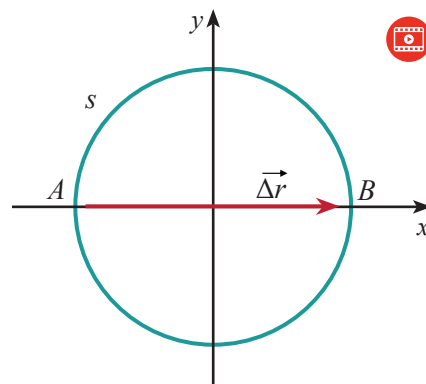


Fig. 2.2.7

Calculăm viteza medie (scalară):

$$v_{med} = \frac{s}{\Delta t} = \frac{\pi l}{\Delta t} \quad (2.2.7)$$

Înlocuind valorile numerice și efectuând calculele, obținem:

$$v_{med} = \frac{\pi l}{\Delta t} = \frac{3.14 \cdot 2.5 \cdot 10^{-2}}{30 \cdot 60} \cong 0,44 \cdot 10^{-4} \frac{m}{s} \quad (2.2.8)$$

b. Modulul deplasării vârfului acului între două puncte diametral opuse este (vezi fig. 2.2.7):

$$|\Delta \vec{r}| = 2l \quad (2.2.9)$$

Calculăm modulul vectorului viteză medie:

$$|\vec{v}_{med}| = \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{30 \cdot 60} \cong 0,28 \cdot 10^{-4} \frac{m}{s} \quad (2.2.10)$$

EXERSEAZĂ

1. Poate vectorul viteză medie a unui mobil să fie zero? Justifică răspunsul printr-un exemplu.
2. Un automobil parcurge 60 km cu viteza de 60 km/h și apoi 60 km cu viteza de 30 km/h. Calculează viteza medie pe întregul traseu.
3. În graficul din fig. 2.2.8 este reprezentată dependența de timp a vitezei unui bungee jumper (săritor cu coarda elastică).

Răspunde la următoarele întrebări:

- a. În care dintre punctele P , Q , R , săritorul se află în repaus?
- b. În care dintre punctele P , Q , R , accelerația săritorului este zero?

	Săritor în repaus	Accelerație zero
A	Q	P
B	Q	R
C	R	Q
D	R	R

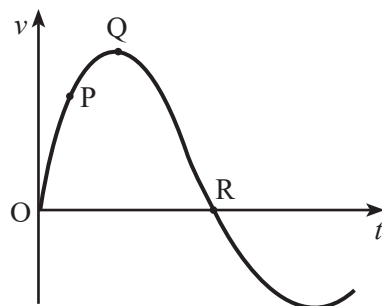


Fig. 2.2.8

EXPERIMENTEAZĂ

„Fixează” într-unul dintre colțurile clasei originea unui sistem de axe ortogonal tridimensional, astfel:

- alege axa Ox în plan orizontal, de-a lungul peretelui pe care se află tabla;
- alege axa Oy verticală, orientată în sus;
- alege axa Oz în plan orizontal (de preferat, planul podelei), de-a lungul peretelui perpendicular pe peretele care conține tabla (vezi fig. 2.2.9).

Atașează celor trei axe un sistem de unități arbitrare de lungime.

Deplasează-te în sistemul de coordonate ales, pe o traiectorie curbilinie oarecare, din punctul de coordonate $(0, 0, 0)$ considerat poziția inițială în punctul de coordonate $(7, 0, 6)$, poziția finală, astfel încât să poți măsura atât lungimea traiectoriei, cât și deplasarea.

Măsoară cu ajutorul unui cronometru timpul cât durează mișcarea.

Notează în caiet următoarele date: lungimea traiectoriei, modulul vectorului deplasare, timpul cât durează mișcarea.

Calculează: a. viteza medie scalară; b. modulul vectorului viteză medie.

Notează în caiet răspunsurile la cerințele de mai sus.

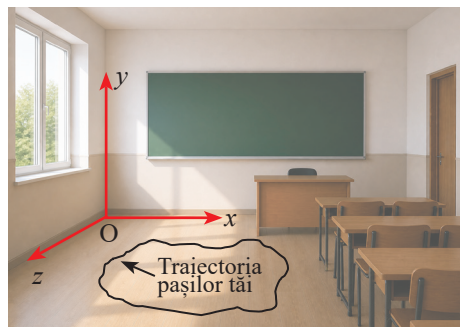


Fig. 2.2.9

2.3. TIPURI DE MIȘCĂRI

Mișcarea unui mobil poate descrie în spațiu o traiectorie complicată. Clasificarea mișcării punctului material după forma traiectoriei și după modul în care variază vectorul viteză ne ajută să înțelegem și să modelăm mai ușor, din punct de vedere matematic, mișcarea corpurilor din natură.

În funcție de **forma traiectoriei**, putem clasifica mișcarea punctului material în **mișcare rectilinie** (traiectoria este o dreaptă) și **mișcare curbilinie** (traiectoria este o curbă închisă sau deschisă).

Viteza unui mobil este **mărimă fizică vectorială**, deci **poate varia atât ca modul, cât și ca orientare**.

Există însă situații în care vectorul viteză nu se modifică nici ca modul, nici ca orientare.

Astfel, în mișcarea **rectilinie uniformă**, mobilul se deplasează pe o traiectorie dreaptă cu **viteză constantă**. În acest caz, vectorul accelerație este nul, deoarece vectorul viteză nu se modifică în timp.

Un tren care se deplasează pe o porțiune dreaptă de cale ferată, un ascensor care urcă sau coboară, ori o rachetă lansată vertical sunt exemple de mobile care, într-un sistem de referință legat solidar de Pământ, descriu traiectorii rectilinii. În **mișcarea rectilinie**, **vectorul viteză nu variază ca orientare, dar poate varia ca valoare**.

Acele unui ceasornic (de exemplu, minutarul) descriu, în sistemul de referință al cadranului, o traiectorie circulară, în care vectorul viteză **nu variază ca modul, dar variază ca orientare**.

În sistemul de referință legat de Soare, vectorul viteză al unei planete variază atât **ca modul**, cât și **ca orientare**.

De exemplu, în sistemul de referință legat de Soare, vectorul viteză al Pământului (reprezentat în fig. 2.3.1) se modifică în timp:

- ca orientare, deoarece direcția mișcării se schimbă continuu pe orbită;
- ca modul, deoarece viteza Pământului nu este constantă; ea este mai mare în apropierea Soarelui (la periheliu) și mai mică la distanță maximă (la afeliu).

(Reprezentarea corpurilor cerești nu este la scară.)

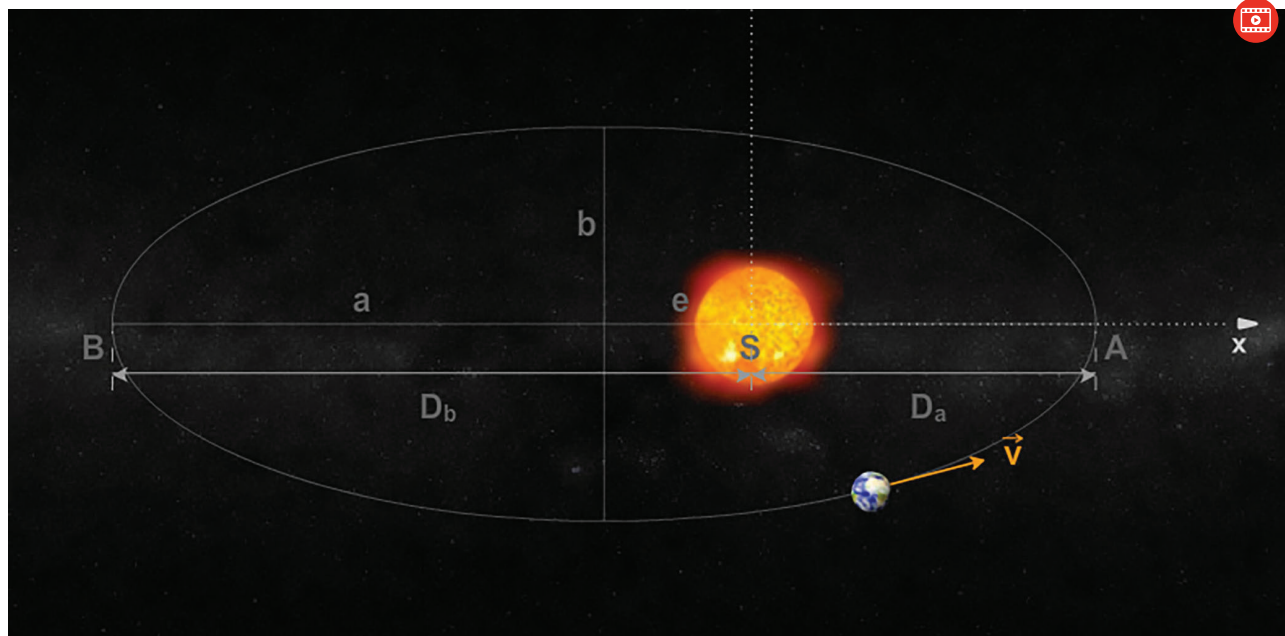


Fig. 2.3.1

Un alt exemplu este mișcarea unui automobil pe un drum cu serpentine. Din lecțiile anterioare știm că viteza instantanee este tot timpul tangențială la traiectoria descrisă de automobil. Când automobilul frânează la curbe, vectorul viteză își modifică atât **modulul** (scade), cât și **orientarea** datorită schimbării direcției de deplasare.

În funcție de variația modului vectorului viteză, mișcările pot fi clasificate în mișcări **uniforme** și mișcări **variate**, așa cum este ilustrat în diagrama 2.3.2. În mișcarea **uniformă** (rectilinie sau curbilinie), **modulul vectorului viteză rămâne constant** în timpul mișcării. În mișcarea **variată**, **modulul vectorului viteză se modifică în timp**.

În diagrama 2.3.2. este ilustrată o clasificare a mișcărilor corpurilor.

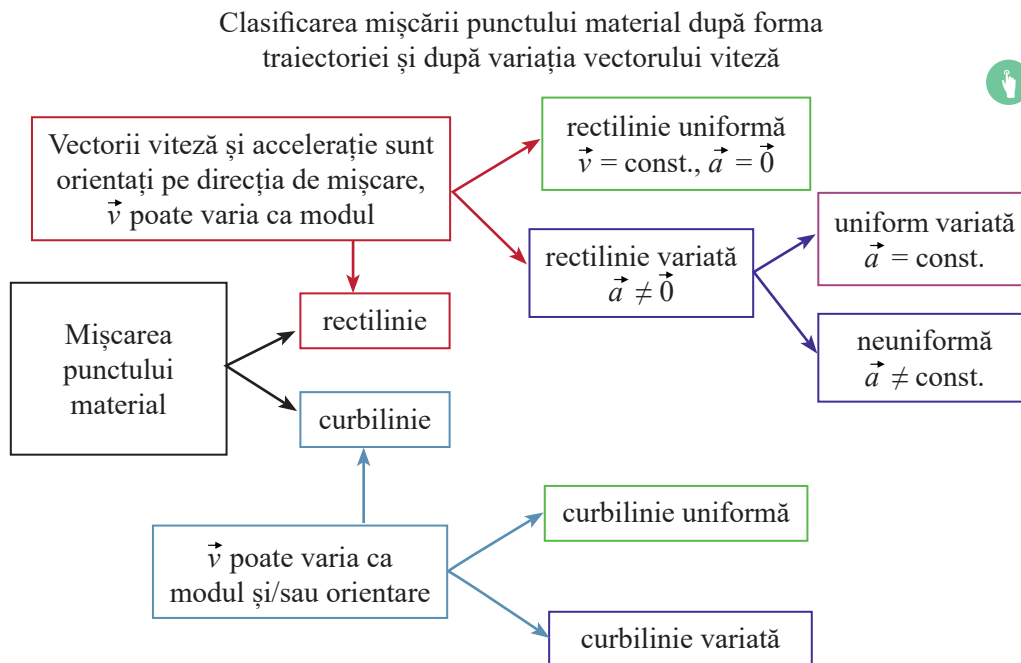


Fig. 2.3.2

2.3.1. Mișcarea rectilinie uniformă

Există situații în natură în care mișcarea unui corp se desfășoară într-un mod previzibil. De exemplu, o barcă purtată liber la vale de curentul unui râu își modifică poziția în timp în mod uniform față de un sistem de referință legat de mal. Sau când mergi cu mașina pe o autostradă dreaptă, iar vitezometrul indică tot timpul 90 km/h. Nu accelerezi, nu frânezi. În fiecare secundă, parcurgi aceeași distanță. Fără să îți dai seama, experimentezi una dintre cele mai simple și importante forme de mișcare din fizică: mișcarea rectilinie uniformă. Putem afla legea de mișcare a unui astfel de corp? Cu siguranță, dacă știm viteza corpului și poziția lui la un moment de timp dat (de exemplu, momentul inițial al mișcării), așa cum vei descoperi în această lecție.

Dacă traiectoria descrisă de un corp aflat în mișcare este **rectilinie uniformă**, vectorul viteză **nu își modifică nici orientarea, nici valoarea**. Deci, în mișcarea rectilinie uniformă, vectorul **accelerație este nul**, ceea ce este echivalent cu afirmația că **vectorul viteză al mobilului este constant în timp**.

Reține

În mișcarea **rectilinie uniformă**, vectorul **accelerație este nul**, iar vectorul **viteză este constant în timp**:

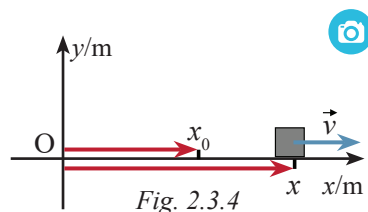
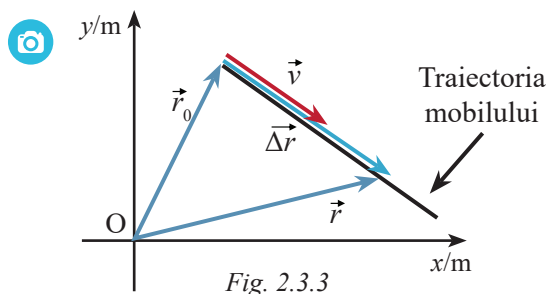
$$\vec{a} = \vec{0}, \vec{v} = \text{const.}$$

Viteza medie pe un interval de timp oarecare coincide cu viteza instantanee a corpului.

Dacă se cunoaște vectorul de poziție $\vec{r}_0$ al mobilului la un moment de timp t_0 , condiția de mai sus se poate scrie în felul următor:

$$\vec{v}_{\text{med}} = \vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{t - t_0} \Rightarrow \vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}(t - t_0) \quad (2.3.1)$$

Relația 2.3.1 reprezintă **legea de mișcare** a unui mobil aflat în mișcare rectilinie uniformă.



În fig. 2.3.3, am reprezentat traiectoria mobilului în sistemul de coordonate xOy , vectorii de poziție la momentul de timp inițial și la un alt moment de timp oarecare, vectorul deplasare (coincide cu traiectoria mobilului între momentele de timp considerate), precum și vectorul viteză.

Lucrurile pot fi simplificate dacă se alege un sistem de referință astfel încât una dintre axe, de pildă Ox , să coincidă cu direcția deplasării (fig. 2.3.4):

$$x(t) = x_0 + v_x(t - t_0) \quad (2.3.2)$$

Se observă că în mișcarea rectilinie uniformă coordonata mobilului **variază liniar în timp**.

În cazul în care condițiile inițiale x_0 și t_0 nu sunt precizate în mod explicit, ele pot fi alese din motive de simplificare **ca având valori nule**.

$$x(t) = v_x t \quad (2.3.3)$$

Reține

În legea de mișcare 2.3.2, x nu reprezintă spațiul parcurs de mobil, ci **coordanata mobilului la momentul de timp t** , măsurată față de originea sistemului de axe considerat, așa cum poți observa în diagrama 2.3.2.

În figurile 2.3.5. și 2.3.6, am reprezentat grafic dependențele de timp ale accelerației, vitezei și, respectiv, coordonatei unui mobil aflat în mișcare rectilinie uniformă.

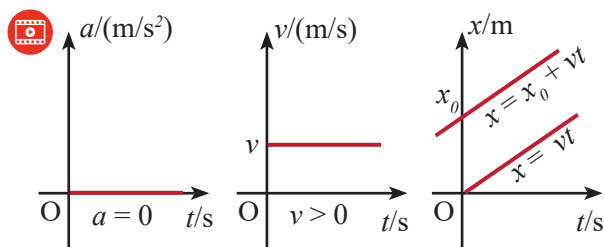


Fig. 2.3.5

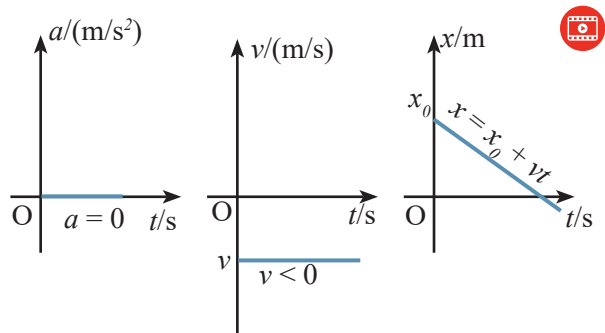


Fig. 2.3.6

Reține

Coordonata mobilului, în mișcarea rectilinie uniformă, **variază liniar în timp**.

Dacă mobilul se deplasează în sensul pozitiv al axei Ox , așa cum este figurat în diagrama 2.3.4, viteza este pozitivă (vezi fig. 2.3.5), iar dacă mobilul se deplasează în sens opus axei considerate, viteza este negativă (vezi fig. 2.3.6).

APLICĂ

1. Un autobuz se deplasează rectiliniu cu viteza constantă de 54 km/h între două localități. Ce distanță parcurge autobuzul în 20 minute?

Rezolvare:

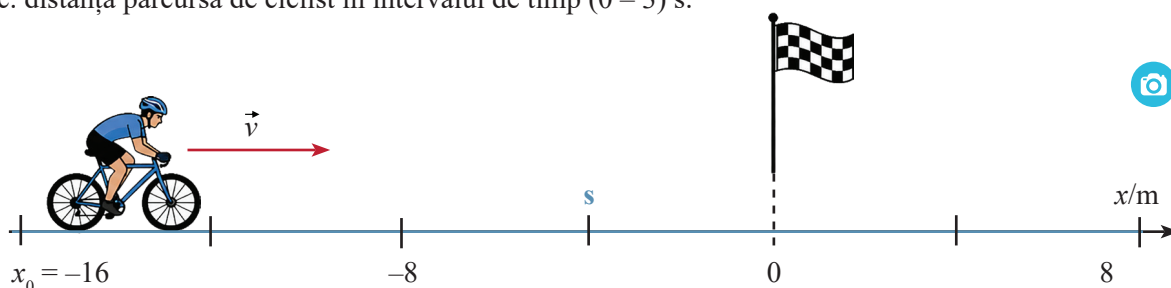
Transformăm unitățile de măsură în unități din sistemul internațional:

$$v = 54 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 54 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}, t = 20 \text{ min} = 20 \cdot 60 \text{ s} = 1200 \text{ s}.$$

Calculăm distanța parcursă: $s = v \cdot t = 15 \cdot 1200 = 18000 \text{ m} = 18 \text{ km}$.

2. Legea de mișcare a unui ciclist care se deplasează rectiliniu spre punctul de sosire este $x = -16 + 8t$, unde x se exprimă în metri, iar t în secunde. Calculează:

- coordonata ciclistului la momentul $t = 3\text{s}$;
- viteza ciclistului;
- distanța parcursă de ciclist în intervalul de timp $(0 - 3) \text{ s}$.



Rezolvare:

a. Calculăm coordonata finală (fig. 2.3.7):

$$\left. \begin{array}{l} x = -16 + 8t \\ t = 3 \end{array} \right\} \Rightarrow x = -16 + 8 \cdot 3 \Rightarrow x = 8 \text{ m}$$

$$\left. \begin{array}{l} x = x_0 + v \cdot t \\ x = -16 + 8t \end{array} \right\} \Rightarrow v = 8 \text{ m/s}$$

c. Distanța parcursă este: $s = x - x_0 = 8 - (-16) = 24 \text{ m}$.

3. O locomotivă face manevre într-o gară, deplasându-se pe o traiectorie rectilinie cu viteza constantă $v_{1x} = 36 \text{ km/h}$. După intervalul de timp $\Delta t_1 = 3 \text{ min.}$ de la momentul inițial, mecanicul locomotivei inversează brusc sensul de mișcare. Considerând neglijabil timpul cât face această manevră și considerând că mișcarea cu spatele se face cu viteza constantă $v_{2x} = -18 \text{ km/h}$ și durează $\Delta t_2 = 2 \text{ min.}$, calculează:

- Spațiul total parcurs de locomotivă.
- Deplasarea locomotivei în timpul total de mișcare.
- Viteza medie (scalară) a locomotivei pe toată durata mișcării.
- Modulul vectorului vitezei medii pe toată durata mișcării.



Rezolvare:

a. Transformăm unitățile de măsură în unități din SI:

$$v_{1x} = \frac{36 \cdot 1000}{3600} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad v_{2x} = -\frac{18 \cdot 1000}{3600} = -5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

respectiv: $\Delta t_1 = 180 \text{ s}$, $\Delta t_2 = 120 \text{ s}$.

Figurăm pe o diagramă traiectoria locomotivei:

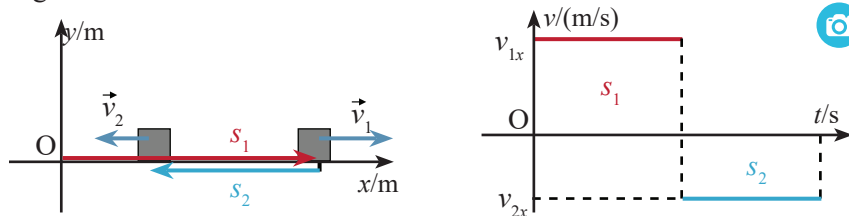


Fig. 2.3.9

Observăm că, dacă reprezentăm grafic viteza mobilului în funcție de timp, ariile delimitate de graficul $v(t)$ și axa Ot ($t_0 = 0$) pentru intervalele de timp corespunzătoare reprezintă spațiul total parcurs de mobil. Pentru a-l calcula, este suficient să însumăm cele două arii indicate în reprezentarea grafică din fig. 2.3.9:

$$\left. \begin{aligned} s &= s_1 + s_2 \\ s_1 &= v_{1x}(t_1 - t_0) = v_{1x} \cdot \Delta t_1 \\ s_2 &= |v_{2x}|(t_2 - t_1) = |v_{2x}| \cdot \Delta t_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow s = v_{1x} \cdot \Delta t_1 + |v_{2x}| \cdot \Delta t_2$$

Efectuând calculele numerice, obținem: $s = 10 \cdot 180 + 5 \cdot 120 = 2400 \text{ m} = 2,4 \text{ km}$.

b. Pentru a calcula deplasarea locomotivei (coordonata finală x_2 față de originea O), **scădem cele două arii**:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= s_1 - s_2 \\ s_1 &= v_{1x}(t_1 - t_0) = v_{1x} \cdot \Delta t_1 \\ s_2 &= |v_{2x}|(t_2 - t_1) = |v_{2x}| \cdot \Delta t_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow x_2 = v_{1x} \cdot \Delta t_1 - |v_{2x}| \cdot \Delta t_2 = 1800 - 600 = 1200 \text{ m}$$

$$\text{c. } v_{med} = \frac{s}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{v_{1x} \cdot \Delta t_1 + |v_{2x}| \cdot \Delta t_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{2400}{300} = 8 \text{ m/s.}$$

$$\text{d. } |\vec{v}_{med}| = \frac{x_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{v_{1x} \cdot \Delta t_1 - |v_{2x}| \cdot \Delta t_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{1200}{300} = 4 \text{ m/s.}$$

EXERSEAZĂ

1. Pe o porțiune dreaptă a unui râu liniștit, apa curge cu viteză constantă. Ce tip de mișcare au particulele de apă?

2. Descrie mișcarea rectilinie uniformă. Notează în caiet caracteristicile vitezei și legea de mișcare pentru această mișcare.

3. Alege și notează în caiet răspunsurile corecte la următoarele întrebări:

A. Dacă un mobil pornește din originea sistemului de axe și se deplasează cu viteză constantă pe întreaga durată a mișcării,

a. coordonata sa inițială este nulă, iar vectorul viteză este constant.

b. coordonata sa inițială este nulă, iar vectorul viteză crește.

c. coordonata sa inițială este diferită de zero, iar vectorul viteză este constant.

d. coordonata sa inițială este nulă, iar vectorul viteză scade în timp.

- B. Legea de mișcare a unui mobil este $x = 2 + 5t$ (SI).
- Mobilul este în repaus, iar coordonata sa inițială este 2 m.
 - Viteza mobilului este 2 m/s, iar coordonata inițială este 5 m.
 - Viteza mobilului este 5 m/s, iar coordonata inițială este 2 m.
 - Viteza mobilului este 5 m/s, iar spațiul parcurs crește în timp.

4. O șalupă se deplasează pe un râu cu viteza de 8 km/h față de apa râului. Viteza de curgere a râului, presupusă constantă, este de 2 km/h. Calculează:

- viteza șalupei față de mal când merge în sensul de curgere a apei.
- viteza șalupei față de mal când merge împotriva sensului de curgere a apei.

5. Doi elevi pornesc simultan din același loc și se deplasează în aceeași direcție, cu viteze constante de 4 km/h, respectiv, 6 km/h. Determină timpul după care distanța dintre ei devine 1 km.

6. În graficul din figura 2.3.10 este reprezentată dependența coordonatei unui mobil în funcție de timp.

- Precizează semnificația fizică a intersecției graficului cu axele Ot , respectiv, Ox .
- Calculează viteza mobilului și precizează dacă mobilul se deplasează în sensul pozitiv al axei Ox sau în sens opus.

c. Scrie legea de mișcare a mobilului și calculează coordonata mobilului la momentul de timp $t = 8$ s.

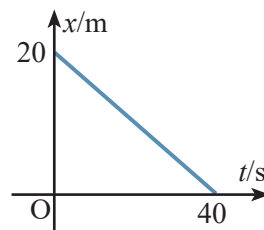


Fig. 2.3.10

2.3.2. Mișcarea rectilinie uniform variată

În lecția anterioară ai studiat mișcarea rectilinie uniformă, în care vectorul viteză rămâne constant în timp. Dar în viața cotidiană întâlnim frecvent situații în care viteza unui corp nu rămâne constantă. De exemplu, viteza unui vehicul care accelerează sau care frânează se modifică în timp. De asemenea, viteza corpurilor aflate în cădere liberă se modifică sub acțiunea gravitației. Putem descrie matematic această schimbare? În această lecție vei descoperi rolul accelerației și legile mișcării rectilinii uniform variate.

În mișcarea rectilinie uniform variată, **vectorul accelerație este constant în timp.**

Reține

În mișcarea rectilinie uniform variată, vectorul accelerație medie coincide cu vectorul accelerație instantanee a mobilului:

$$\vec{a} = \vec{a}_{\text{med}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0} \quad (2.3.4)$$

Viteza mobilului la un moment de timp oarecare t se calculează astfel:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0} \Rightarrow \vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a}(t - t_0) \quad (2.3.5)$$

Ecuția 2.3.5 reprezintă **legea vitezei pentru mișcarea rectilinie uniform variată.**

Dacă mișcarea mobilului se face pe axa Ox , legea vitezei devine:

$$v_x(t) = v_{0x} + a_x(t - t_0) \quad (2.3.6)$$

În mișcarea rectilinie uniform variată, viteza mobilului variază liniar în timp, așa cum este reprezentat în graficul din fig. 2.3.11.

Știm că deplasarea într-un anumit interval de timp este numeric egală cu aria delimitată de graficul vitezei corespunzător acelui interval de timp (vezi fig. 2.3.11).

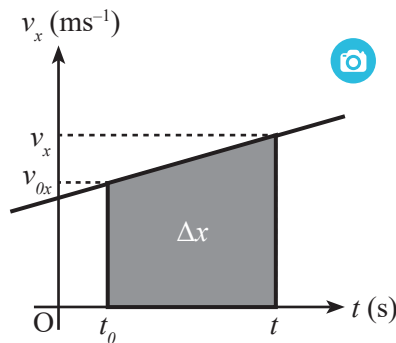


Figura 2.3.11

Putem calcula coordonata x a mobilului, la un moment de timp oarecare t , astfel:

$$\Delta x = x - x_0 = \frac{(v_x + v_{0x})(t - t_0)}{2} = \frac{[v_{0x} + a_x(t - t_0) + v_{0x}](t - t_0)}{2} \Rightarrow$$

$$x(t) = x_0 + v_{0x}(t - t_0) + \frac{1}{2}a_x(t - t_0)^2 \quad (2.3.7)$$

Această lege (2.3.7) reprezintă **legea de mișcare a mobilului în mișcarea rectilinie uniform variată**.

Reține

Din legea de mișcare (2.3.7) se poate observa că mișcarea este **accelerată dacă viteza și accelerația mobilului au același semn**, și este **frânată dacă viteza și accelerația au semne opuse**.

Reține

În legea de mișcare 2.3.7, x nu reprezintă spațiul parcurs de mobil, ci **coordanata mobilului la momentul de timp t** , măsurată față de originea sistemului de axe considerat, așa cum poți observa în fig. 2.3.12.

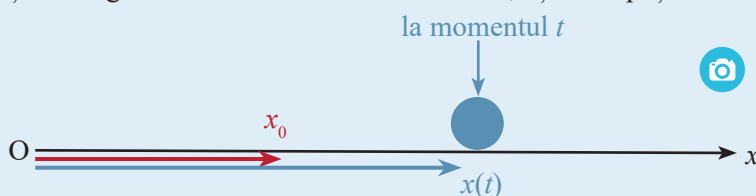


Fig. 2.3.12

Mărimile fizice caracteristice mișcării rectilinii uniform variate pot fi reprezentate grafic, în funcție de timp, ca în fig. 2.3.13, respectiv, 2.3.14:

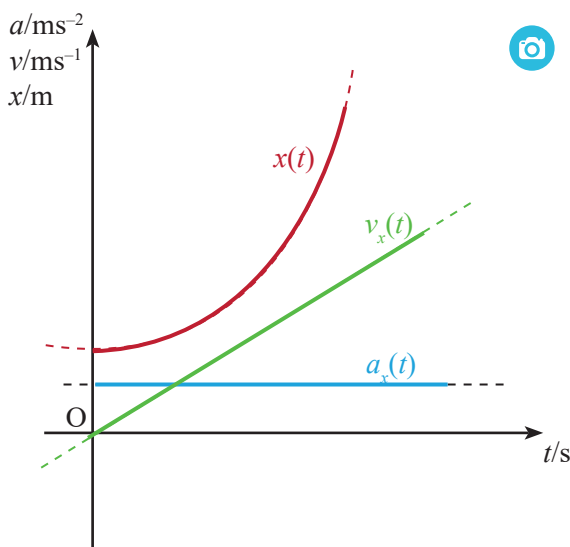


Fig. 2.3.13

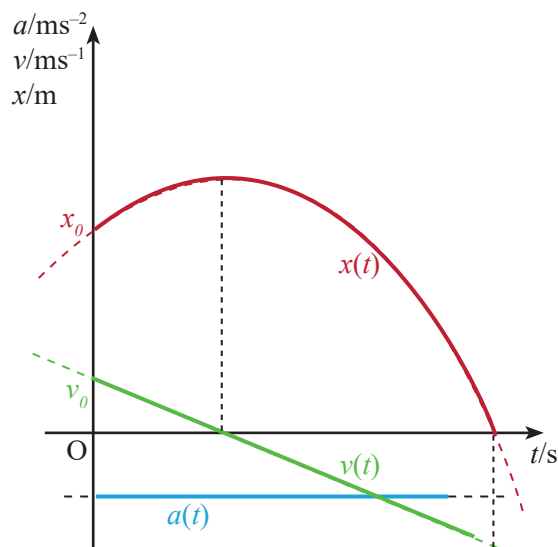


Fig. 2.3.14

Observăm că atunci când coordonata x are valori minime, respectiv, maxime, viteza mobilului este nulă.

În viața de zi cu zi există numeroase exemple de corpuri care efectuează mișcare rectilinie uniform variată: un automobil care pornește din repaus pe un drum drept și își mărește viteza în mod uniform (mișcare rectilinie uniform accelerată), un lift care pornește sau se oprește cu accelerație aproximativ constantă, un tren care frânează uniform pentru a opri în gară pe o șină de cale ferată dreaptă, un corp lăsat să cadă liber pe verticală (neglijând frecarea cu aerul) etc.

APLICĂ

1. Un metrou pleacă din stație, accelerează uniform timp $t = 15$ s, cu accelerația $a = 1,2$ m/s², ajunge la viteza de regim, apoi își menține viteza constantă. Calculează viteza de regim atinsă de metrou.

Rezolvare:

Aplicăm legea vitezei în mișcarea rectilinie uniform variată:

$$\left. \begin{array}{l} v = v_0 + a \cdot t \\ v_0 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow v = a \cdot t$$

Înlocuind valorile numerice, obținem: $v = 1,2 \cdot 15 = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

2. Un tren electric se deplasează cu viteza $v_0 = 90$ km/h. Din cauza unei pene de curent, trenul se oprește după $\Delta t = 10$ s. Calculează:

- accelerația trenului;
- distanța parcursă de tren până la oprire;
- viteza medie a trenului în intervalul de timp $\Delta t = 10$ s.

Rezolvare:

Transformăm viteza inițială a trenului în unități din SI:

$$v_0 = \frac{90 \text{ km}}{\text{h}} = \frac{90 \cdot 10^3 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

a. Pentru a calcula accelerația trenului, aplicăm legea vitezei:

$$\left. \begin{array}{l} v_x = v_{0x} + a_x(t - t_0) \\ v_x = 0, t_0 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow a = -\frac{v_0}{t} = -\frac{25}{10} = -2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

b. Pentru a calcula distanța parcursă de tren, aplicăm legea de mișcare:

$$x(t) = x_0 + v_{0x}(t - t_0) + \frac{1}{2} a_x(t - t_0)^2.$$

Din datele problemei: $t_0 = 0$, $x_0 = 0$. Deci: $x_{op} = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = 25 \cdot 10 + \frac{1}{2} (-2,5) \cdot 100 = 125$ m.

c. Viteza medie se calculează astfel:

$$v_{med} = \frac{x_{op} - x_0}{\Delta t} = \frac{125}{10} = 12,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Observație: Deoarece în mișcarea rectilinie uniform variată dependența de timp a vitezei mobilului este liniară, putem calcula viteza medie a mobilului și ca media aritmetică între viteza inițială și cea finală:

$$v_{med} = \frac{v + v_0}{2} = \frac{0 + 25}{2} = 12,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

3. Un mobil pornește într-o mișcare uniform variată (fig. 2.3.15), din originea axei Ox , cu viteza inițială $v_0 = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. După un timp $t = 25$ s de la începutul mișcării, mobilul trece printr-un punct de coordonată $x > 0$ cu viteza $v = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

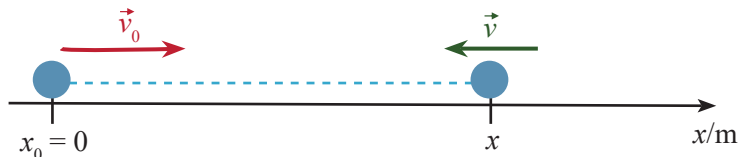


Fig. 2.3.15

- Calculează accelerația mobilului, considerând că aceasta rămâne constantă pe toată durata mișcării.
- Află momentul de timp la care viteza mobilului se anulează.
- Calculează *coordonata* x a mobilului la momentul de timp t .

Rezolvare:

a. Calculăm accelerația mobilului folosind legea vitezei: $v_x(t) = v_{0x} + a_x(t - t_0)$.

Înlocuind valorile numerice și ținând cont de faptul că mobilul pornește din origine ($x_0 = 0$) la momentul de timp $t_0 = 0$, vom obține:

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{-10 - 15}{25 - 0} = -1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

b. Din legea vitezei, obținem:

$$\left. \begin{array}{l} v = v_0 + a \cdot t \\ v = 0, t = t_{op} \end{array} \right\} \Rightarrow t_{op} = -\frac{v_0}{a} \Rightarrow t_{op} = -\frac{15}{(-1)} = 15 \text{ s}.$$

Până în momentul în care viteza devine zero, mobilul se deplasează rectiliniu uniform încetinit, deoarece viteza și accelerația au sensuri opuse. După momentul de timp $t_{op} = 15$ s, mobilul își schimbă sensul de mișcare și se deplasează rectiliniu uniform accelerat. În această etapă, atât viteza, cât și accelerația sunt negative, având același sens, opus sensului pozitiv al axei Ox . Semnul minus al vitezei arată că mobilul se deplasează în sens invers sensului pozitiv ales (fig. 2.3.16).

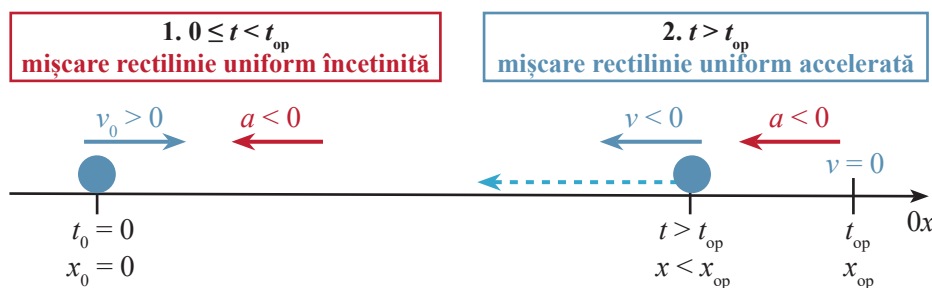


Fig. 2.3.16

c. Putem calcula coordonata x folosind legea de mișcare a mobilului:

$$x(t) = x_0 + v_{0x}(t - t_0) + \frac{1}{2} a_x(t - t_0)^2.$$

Din datele problemei: $t_0 = 0$, $x_0 = 0$. Deci: $x(t) = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = 15 \cdot 25 + \frac{1}{2} (-1) \cdot (25)^2 = 62,5 \text{ m}$.

EXERSEAZĂ

1. Compară mărimile fizice care rămân constante și mărimile fizice care se modifică în mișcarea rectilinie uniformă și rectilinie uniform variată. Prezintă rezultatul sub forma unui scurt eseu.

2. Legea de mișcare a unui mobil este: $x = 2 + 3t - 2t^2$ (m)

- Calculează momentul de timp la care mobilul trece prin origine.
- Scris legea vitezei.
- Calculează momentul de timp la care se oprește mobilul.

3. Înainte de a opri la un semafor, un automobil care rula pe o șosea cu viteza $v = 54 \text{ km/h}$ începe să frâneze uniform, oprindu-se după $\Delta t = 10 \text{ s}$. Calculează accelerația cu care frânează automobilul.

4. Un biciclist pornește din repaus într-o mișcare rectilinie uniform accelerată ($a = 0,4 \text{ m/s}^2$). Calculează spațiul parcurs de biciclist în al treilea minut de la începerea mișcării.

5. Metroul parcurge distanța rectilinie dintre două stații consecutive într-un interval de timp $\Delta t = 2$ min. Viteza maximă atinsă de metrou între cele două stații este $v = 108$ km/h. Pe prima porțiune a mișcării, metroul accelerează uniform, cu accelerația $a = 1$ m/s², iar înainte de oprirea în stația următoare, metroul frânează cu aceeași valoare a accelerației. Calculează:

- intervalul de timp în care a accelerat metroul;
- distanța parcursă de metrou în mișcare rectilinie uniformă;
- distanța dintre cele două stații de metrou.

6. În vacanța de iarnă, doi colegi de clasă, Maria și Valentin, merg la Poiana Brașov, unde se dau cu săniile pe un derdeluș, din punctul O în punctul A , pe distanța $L = 75$ m și își continuă mișcarea pe porțiunea orizontală, pe distanța $D = 225$ m, oprindu-se în punctul B (vezi fig. 2.3.17-a). Consideră că fiecare copil pleacă cu sania din repaus din punctul O , iar trecerea prin punctul A de pe derdeluș pe porțiunea orizontală se face lin, fără modificarea mărimii vitezei. Maria, aflată la baza derdelușului, analizează mișcarea colegului său. Dependența de timp a vitezei lui Valentin, care alunecă cu sania pe derdeluș este reprezentată în fig. 2.3.17-b).

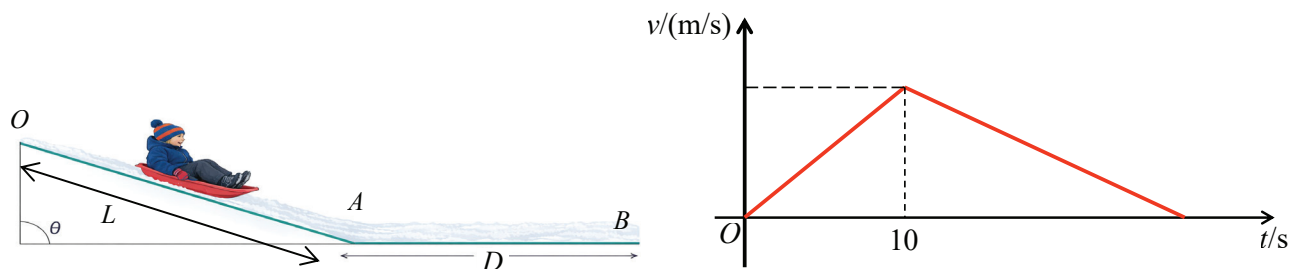


Fig. 2.3.7

Calculează:

- accelerația lui Valentin pe porțiunea OA ;
- viteza elevului în punctul A ;
- intervalul de timp, de la pornirea din punctul O , până când sania se oprește în punctul B ;
- viteza medie scalară a lui Valentin pe porțiunea OB .

7. În fig. 2.3.8 sunt reprezentate dependențele de timp ale accelerației, vitezei și coordonatei unui automobil. Alege afirmațiile corecte:

- automobilul pornește din repaus, într-o mișcare uniform accelerată;
- automobilul pornește din originea sistemului de referință indicat în figură;
- accelerația mobilului este $a = 1$ m/s², constantă în timp;
- accelerația mobilului crește în timp, valoarea sa inițială fiind $a_0 = 1$ m/s²;
- legea vitezei mobilului este $v = 1 \cdot t$ (m/s);
- după $t = 10$ s de la pornire, viteza mobilului este $v = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$;

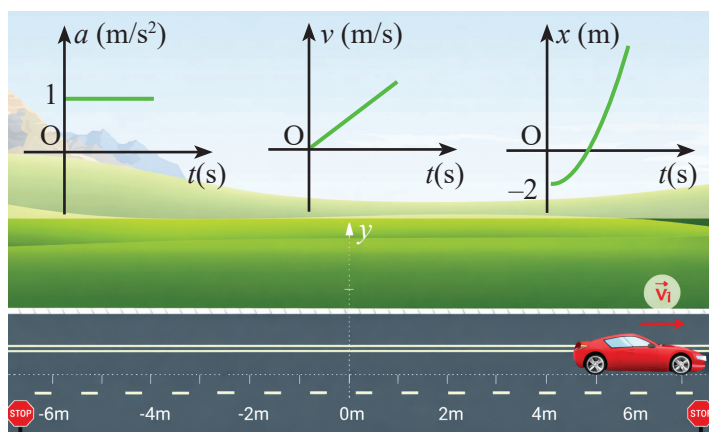


Fig. 2.3.8

- coordonata inițială a automobilului, raportată la sistemul de referință indicat în figură, este $x_0 = -2$ m;
- legea de mișcare a automobilului este $x = -2 + \frac{t^2}{2}$ (m);
- automobilul trece prin originea sistemului de referință la momentul de timp $t = 2$ s măsurat din momentul pornirii.

Lucrare experimentală

Studiul mișcării rectilinii uniforme Măsurarea vitezei unui mobil aflat în mișcare rectilinie uniformă

Scopul lucrării este de a determina viteza unui mobil aflat în mișcare rectilinie uniformă.

I. Teoria lucrării:

În mișcarea rectilinie, dacă accelerația unui mobil are valoare zero, viteza mobilului este constantă în timp:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = 0 \Rightarrow \vec{v} = \text{const.}$$

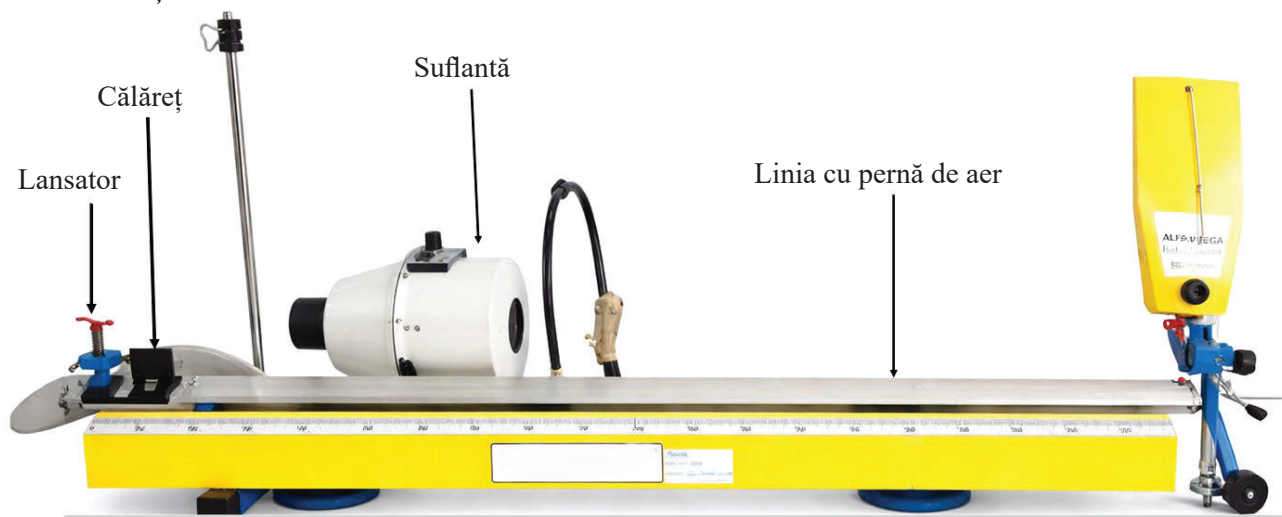
Presupunem că la momentul de timp inițial, $t_0 = 0$, coordonata mobilului, x_0 , este nulă. În acest caz, coordonata mobilului, la un moment de timp t , poate fi scrisă:

$$\left. \begin{array}{l} x = x_0 + v(t - t_0) \\ x_0 = 0 \\ t_0 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow x = v \cdot t.$$

Deci viteza mobilului poate fi determinată măsurând coordonata sa, x , la diferite momente de timp, t : $v = \frac{x}{t}$.

II. Materiale necesare

- Linie cu pernă de aer;
- Suflantă (compresor) cu tub de legătură (pe calea de rulare sunt practicate orificii cu diametrul de 1,2 mm; suflanta pompează aer care, ieșind prin orificiile liniei, formează o pernă de aer pe care călăreții culisează cu frecare foarte mică);
- Cronometru cu senzori;
- Călăreți.



III. Modul de lucru și prelucrarea datelor experimentale

- reglează linia în poziție orizontală cu ajutorul șurubului de reglaj;
- verifică orizontalitatea liniei așezând un călăreț pe linie, cu suflanta decuplată; dacă acest călăreț rămâne în repaus, linia este orizontală;

- așază un călăreț pe linie;
- cuplează cordonul suflantei la linia cu pernă de aer și pune suflanta în funcțiune;
- alege pe linie (și măsoară) o coordonată oarecare, x ;
- pune în mișcare călărețul folosind lansatorul plasat la capătul liniei și măsoară timpul în care călărețul parcurge distanța x (coincide cu coordonata finală; $x_0 = 0$);
- repetă experimentul de trei ori pentru fiecare coordonată x aleasă;
- înregistrează datele într-un tabel de forma celui de mai jos și calculează viteza călărețului:

Nr. crt.	x /cm	t /s	v /(cm/s)	$\bar{v}$ /(cm/s)	Δv /(cm/s)	$\Delta \bar{v}$ /(cm/s)	Obs.
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							

- prezintă rezultatul sub forma: $v = \bar{v} \pm \Delta \bar{v}$ (m/s);
- identifică și notează cel puțin trei surse de erori.

IV. Interpretarea rezultatelor

- reia experimentul fără ca suflanta să fie cuplată și descrie mișcarea călărețului;
- formulează concluziile sub forma unor răspunsuri la următoarele întrebări:
 - compară și descrie diferențele observate, referitor la mișcarea călărețului, în cazul în care suflanta este cuplată, respectiv, decuplată;
 - explică rolul „pernei de aer”;
 - identifică în viața cotidiană vehicule care folosesc „perna de aer”;
 - explică, folosind un limbaj specific fizicii, ce avantaje au aceste vehicule;
 - explică motivul pentru care ai reluat fiecare experiment de cel puțin trei ori.



Concluzii

- În absența suflantei, călărețul se deplasează pe o distanță scurtă și își reduce treptat viteza până se oprește, din cauza frecării. Mișcarea nu mai este rectilie uniformă; atunci când suflanta este pornită, călărețul se deplasează aproape uniform, cu viteză constantă, deoarece frecarea este mult redusă.
- Perna de aer are rolul de a diminua frecarea dintre suprafețe, permițând observarea unei mișcări rectilinii uniforme.
- În viața cotidiană, vehiculele care folosesc acest principiu se numesc hovercraft (vehiculele pe pernă de aer).
- Acestea au avantajul reducerii frecării cu solul sau apa, ceea ce permite deplasarea mai rapidă și cu un consum energetic mai mic.

Experimentul se repetă de trei ori pentru aceeași distanță pentru a reduce erorile experimentale și a obține o valoare a vitezei cât mai aproape de cea reală.

TEST DE EVALUARE

Pentru fiecare exercițiu, răspunsul corect se notează cu 1 punct. Se acordă 1 punct din oficiu.

1. Alege (și încercuiește) afirmațiile corecte:

- a. În Sistemul Internațional de Unități, viteza se măsoară în metri.
- b. În mișcarea rectilinie uniformă, accelerație mobilului este zero, iar vectorul viteză este constant în timp.
- c. Un corp poate fi în repaus față de un sistem de referință și în mișcare față de alt sistem de referință.
- d. Traectoria mobilului reprezintă succesiunea de puncte descrise de mobil în mișcarea sa.

2. Marchează cu adevărat (A) sau fals (F) următoarele afirmații:

- a. Mișcarea este accelerată dacă viteza și accelerația au același sens.
- b. În mișcarea rectilinie, vectorul viteză își modifică direcția.
- c. Pământul nu poate fi considerat niciodată punct material.
- d. În mișcarea rectilinie uniform variată, accelerație mobilului este constantă în timp.

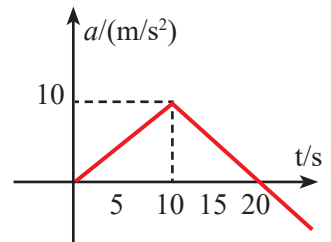
3. Justifică răspunsul dat la afirmația de la punctul c, de la exercițiul de mai sus.

4. Identifică și descrie două tipuri de mișcare întâlnite în viața cotidiană.

5. Explică dacă suma pe care o plătim pentru o cursă cu taxiul este proporțională cu *lungimea traiectoriei parcurse* sau cu *modulul vectorului deplasare*. Însoțește explicația de o diagramă care să justifice răspunsul ales.

6. Dependența de timp a accelerației unui mobil care pornește din repaus este reprezentată în figura alăturată. Traectoria mobilului este rectilinie. Mobilul atinge viteza maximă la momentul de timp:

- a. 10 s
- b. 15 s
- c. 20 s
- d. 5 s



7. Viteza unui mobil aflat în mișcare pe o traiectorie rectilinie variază în timp după legea: $v = 15 - 10t$ (m/s). Timpul scurs din momentul inițial $t_0 = 0$ până în momentul opririi este:

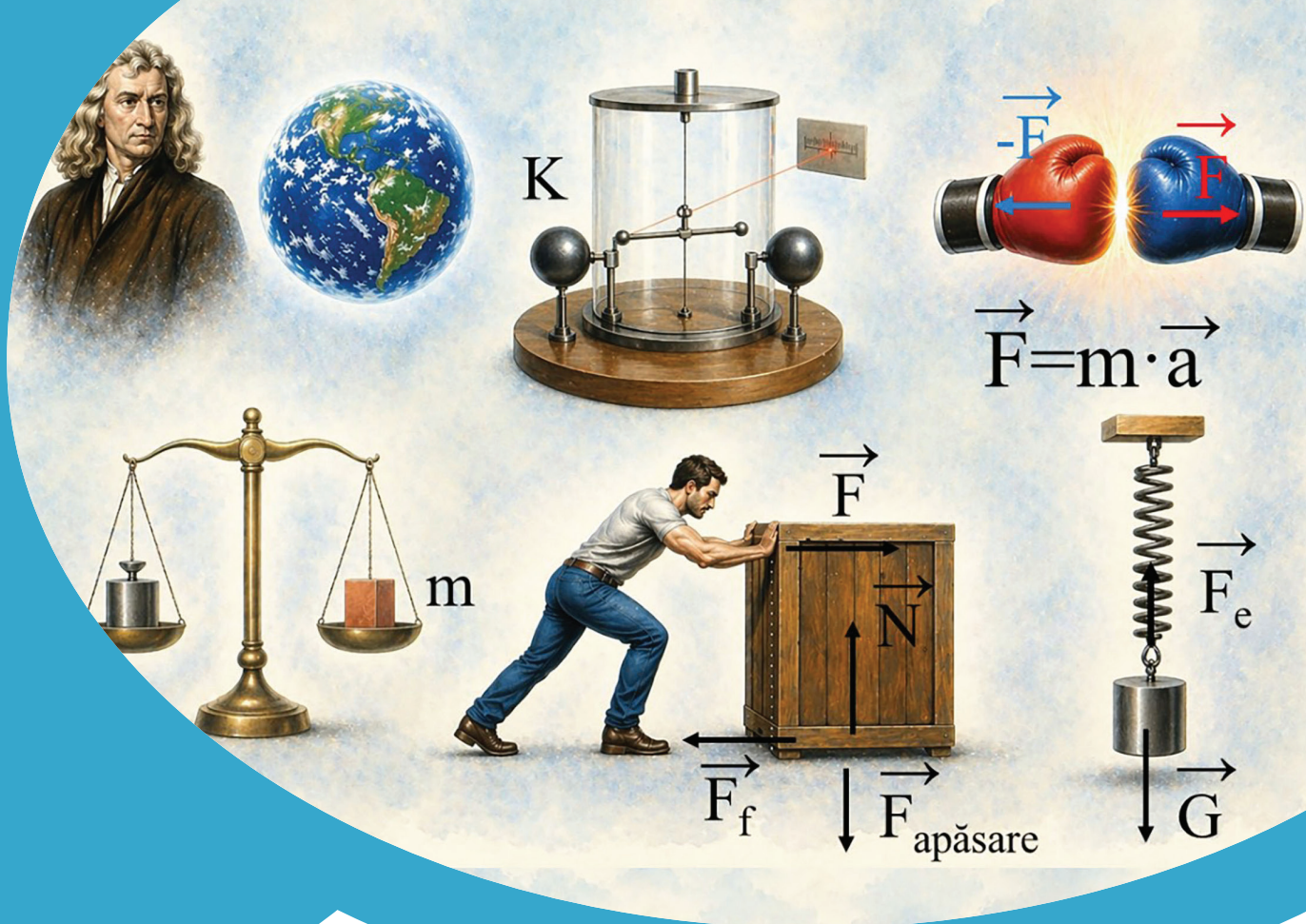
- a. 1 s
- b. 1,5 s
- c. 2 s
- d. 5 s

8. Un tren se deplasează pe o cale ferată rectilinie cu viteza de regim $v = 72$ km/h. Apropiindu-se de gară, mecanicul începe să frâneze și oprește în stație după un minut. Accelerația de frânare are valoarea:

- a. $-2,33$ m/s²
- b. $-1,55$ m/s²
- c. $-3,33$ m/s²
- d. $-0,33$ m/s²

9. Exact înainte să înceapă frânarea, mecanicul de locomotivă observă că trenul îl depășește pe un călător care merge grăbit spre gară, pe peronul paralel cu calea ferată, în același sens. Știind că trenul staționează în gară timp de 5 minute, iar călătorul reușește să urce în tren exact în momentul în care acesta se pune în mișcare, viteza constantă cu care s-a deplasat călătorul este:

- a. 0,35 m/s
- b. 1,67 m/s
- c. 1,67 m/s
- d. 0,35 m/s



Capitolul 3

Principiile mecanicii newtoniene și aplicarea acestora

La finalul acestui capitol, vei fi capabil:

- să explici conceptul de inerție și să recunoști manifestările acestuia în viața cotidiană;
- să apreciezi rolul forțelor de frecare în diferite situații (utile sau dăunătoare);
- să identifice și să interpretezi perechile de forțe acțiune-reacțiune;
- să investighezi experimental legile frecării la alunecare;
- să analizezi modul de manifestare a câmpului gravitațional terestru;
- să aplici principiile mecanicii newtoniene în rezolvarea de probleme simple;
- să construiești și să utilizezi diagramele corpului liber în analiza situațiilor de dinamică.

3.1. PRINCIPIILE DINAMICII NEWTONIENE

În secolul al XVII-lea, savantul Isaac Newton a formulat una dintre cele mai importante lucrări din istoria științei, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. În această lucrare, el a arătat că fenomenele din natură, de la mișcarea planetelor până la căderea corpurilor pe Pământ, pot fi explicate prin legi matematice, consecințe ale principiilor mecanicii clasice.

Care sunt aceste principii și cum le folosim pentru a deduce legile mecanicii clasice?

În acest capitol, vei descoperi răspunsuri la aceste întrebări și vei învăța să rezolvi probleme simple din viața cotidiană, aplicând aceste principii.

Principiul inerției (Lex prima)

Galileo Galilei a realizat experimente legate de inerție la Universitatea din Pisa, între anii 1589-1592. El a demonstrat, folosind plane înclinate, că un corp tinde să-și păstreze starea de mișcare: cu cât frecarea este mai mică, cu atât corpul se deplasează mai mult, iar în absența frecării ar continua să se miște la nesfârșit.



Fig. 3.1.1a. Datorită inerției, moneda își păstrează starea de repaus

Reține

Proprietatea unui corp de a-și menține starea de repaus sau de mișcare rectilinie și uniformă în absența unor acțiuni exterioare se numește **inerție**.

În absența unei acțiuni exterioare, datorită inerției, corpurile:

- își păstrează starea de repaus;
- își păstrează starea de mișcare rectilinie și uniformă;
- își păstrează traiectoria rectilinie.

Putem afirma că, datorită inerției, corpurile se opun oricărei acțiuni exterioare care tinde să le schimbe starea de repaus sau de mișcare rectilinie și uniformă.

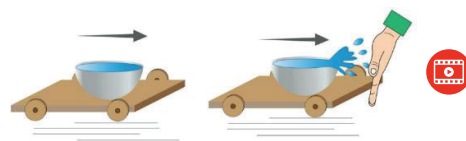


Fig. 3.1.1b. Datorită inerției, apa își păstrează starea de mișcare rectilinie și uniformă

Principiul inerției, enunț:

Un corp își păstrează starea de repaus sau de mișcare rectilinie și uniformă atât timp cât asupra lui nu acționează alte corpuri care să-i modifice această stare (fig. 3.1.1 a, b).

Conform principiului inerției, mișcarea rectilinie și uniformă se autoîntreține.

INVESTIGHEAZĂ! Cum este influențată inerția unui corp de masa sa?

Scopul activității: investigarea relației dintre masa unui corp și inerția acestuia.

Materiale necesare: două cărucioare cu mase diferite, resort, șnur, mase marcate, riglă sau ruletă.

Modul de lucru:

- cântărește fiecare cărucior și notează cu (I) căruciorul cu masă mică și cu (II) căruciorul cu masă mare;
- așază în interiorul căruciorului II mase marcate;
- așază cărucioarele pe o suprafață orizontală, cu același grad de rugozitate pe toată lungimea ei;
- apropie cărucioarele și fixează între ele un resort comprimat;
- menține resortul comprimat legând cărucioarele cu un fir (fig. 3.1.2);

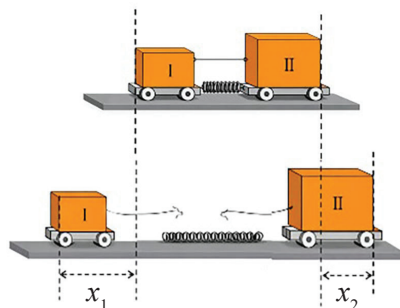


Fig. 3.1.2

- marchează poziția inițială a roților din spate pentru fiecare cărucior;
- taie firul și observă mișcarea fiecărui cărucior;
- marchează poziția roților din spate pentru fiecare cărucior după oprire;
- măsoară și notează distanțele parcurse pentru fiecare cărucior: (x_1) pentru căruciorul cu masă mică și (x_2) pentru căruciorul cu masă mare (fig. 3.1.2);
- repetă experimentul cu mase diferite ale căruciorului II și resorturi diferite.

Completează tabelul de date experimentale:

Nr. determinării	x_1/cm	x_2/cm	$(x_1)/(x_2)$

Compară distanțele parcurse de cele două cărucioare până la oprire.

Răspunde la următoarele întrebări:

- Care dintre cele două cărucioare parcurge o distanță mai mare?
- Care cărucior se opune mai puternic schimbării stării de mișcare?
- Care cărucior are inerția mai mare?

Concluzii:

- Cu cât masa unui corp este mai mare, cu atât modificarea stării sale de mișcare este mai dificilă.
- Cu cât masa unui corp este mai mare, cu atât inerția sa este mai mare.

Reține

Masa (m) este mărimea fizică scalară ce măsoară inerția unui corp.

$$[m]_{\text{S.I.}} = \text{kg} \quad (3.1.1)$$

În mecanica newtoniană, masa unui corp este o constantă atribuită corpului respectiv. Ea are aceeași valoare pe Pământ, pe Lună sau în spațiul cosmic.

Masa se măsoară cu balanța folosind mase marcate (fig. 3.1.3).



Fig. 3.1.3

Principiul fundamental (Lex secunda)

Reține

Forța ($\vec{F}$) este o mărime fizică vectorială ce măsoară interacțiunea dintre corpuri.

$$[F]_{\text{S.I.}} = \text{N (newton)}$$

Forțele produc *efecte statice* (de deformare a corpurilor) sau *efecte dinamice* (de modificare a vitezei sau traiectoriei corpurilor – adică produc o accelerație). Forțele se măsoară cu dinamometrul (fig. 3.1.4).

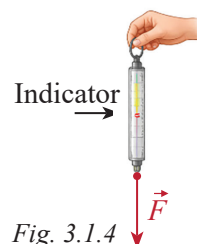


Fig. 3.1.4

Principiul fundamental al mecanicii newtoniene, enunț:

Formulare 1

Accelerația imprimată unui corp este direct proporțională cu forța care acționează asupra corpului și are direcția și sensul acestei forțe (fig. 3.1.5).

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (3.1.2)$$

Observație:

Dacă asupra unui corp acționează mai multe forțe, atunci accelerația corpului este determinată de forța rezultantă: $\vec{a} = \frac{\vec{F}_{rez}}{m}$.

Din relația (3.1.2), obținem:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{m \cdot \vec{v}_f - m \cdot \vec{v}_i}{\Delta t} \quad (3.1.3)$$

unde $\vec{v}_f$ este viteza finală a corpului, iar $\vec{v}_i$ este viteza inițială.

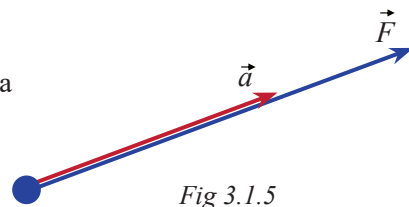


Fig. 3.1.5

Impulsul unui punct material ($\vec{p}$)

Reține

Impulsul unui punct material ($\vec{p}$) este mărimea fizică vectorială egală cu produsul dintre masa și viteza punctului material.

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad (3.1.4)$$

Impulsul are direcția și sensul vitezei (fig. 3.1.6).

$$[p]_{s.i.} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{N} \cdot \text{s}$$

Din relațiile (3.1.3) și (3.1.4), obținem:

$$\vec{F} = \frac{\vec{p}_f - \vec{p}_i}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \quad (3.1.5)$$

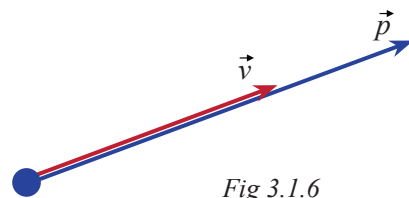


Fig. 3.1.6

Relația (3.1.5) permite o altă formulare pentru enunțul principiului fundamental:

Principiul fundamental al mecanicii newtoniene, enunț:

Formulare 2

Forța este numeric egală cu variația impulsului în unitatea de timp. (principiul al II-lea al mecanicii în formularea lui Newton).

Forța $\vec{F}$ are direcția și sensul variației impulsului $\Delta \vec{p}$ (fig.3.1.7).

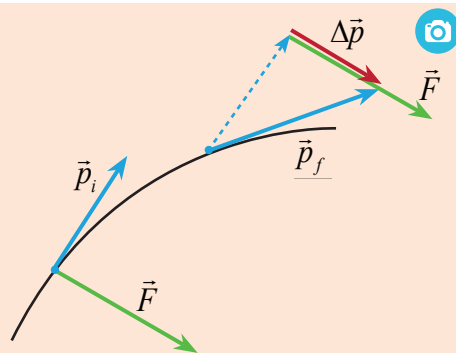


Fig. 3.1.7

Principiul acțiunilor reciproce (Lex terția)

În procesul de interacțiune a două corpuri, fiecare corp exercită câte o forță asupra celuilalt, adică apar totdeauna simultan două forțe, numite acțiune și reacțiune.

În figura 3.1.8 sunt reprezentate două dinamometre identice, A și B. Dacă se trage de unul dintre dinamometre, ambele vor fi indica forțe egale în modul și de sens contrar, indiferent de care dinamometru se trage.

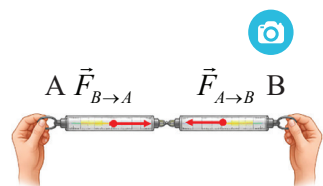


Fig.3.1.8 Acțiune și reacțiune

Principiului acțiunii și reacțiunii, enunț:

Dacă un corp acționează asupra altui corp cu o forță, numită **acțiune**, cel de al doilea corp acționează asupra primului corp cu o forță egală în modul și de sens opus numită **reacțiune** (fig. 3.1.8).

$$\vec{F}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A} \quad (3.1.7)$$

$\vec{F}_{A \rightarrow B}$ este forța cu care corpul A acționează asupra corpului B;

$\vec{F}_{B \rightarrow A}$ este forța cu care corpul B acționează asupra corpului A.

Reține

Atunci când două corpuri interacționează, apare o pereche de forțe numite **acțiune** și **reacțiune**.

Acțiunea și reacțiunea apar simultan, nu există o prioritate a unei forțe față de cealaltă.

Acțiunea și reacțiunea acționează asupra unor corpuri diferite și, din acest motiv, ele nu se compun și nu se anulează.

APLICĂ

1. Care este explicația fizică a curățării covoarelor prin batere (fig. 3.1.9)?

Rezolvare:

Prin lovire, covorul este pus brusc în mișcare în timp ce particulele de praf rămân în repaus datorită inerției. Astfel are loc separarea prafului de covor și deci curățarea covorului.



Fig. 3.1.9.

2. Asupra unui corp cu masa m , aflat în spațiul cosmic, acționează o forță care îi imprimă o accelerație $a = 2,4 \text{ m/s}^2$. Calculează accelerația a_1 pe care o va căpăta un alt corp, în aceleași condiții, dacă masa lui este de patru ori mai mare și forța care acționează asupra lui este de 2 ori mai mică.

Rezolvare:

$$a = \frac{F}{m}, \quad a_1 = \frac{F_1}{m_1} = \frac{F}{8m} \Rightarrow a_1 = \frac{a}{8} = 0,3 \text{ m/s}^2.$$

3. Asupra unui corp cu masa $m = 2 \text{ kg}$ acționează numai forțele reprezentate în figura 3.1.10, ale căror mărimi sunt: $F_1 = 15 \text{ N}$ și $F_2 = 10 \text{ N}$. Calculează accelerația pe care o va avea corpul față de sistemul de referință inerțial în care se află.

Rezolvare:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = m \cdot \vec{a}, \quad F_1 - F_2 = ma \Rightarrow a = \frac{F_1 - F_2}{m} = 2,5 \text{ m/s}^2.$$

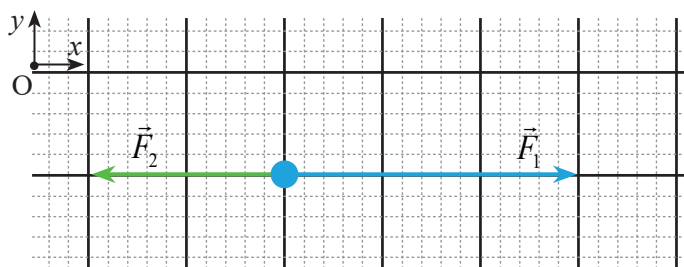


Fig. 3.1.10.

3.2. INTERACȚIUNI PRIN CONTACT

3.2.1. Forța de apăsare, forța de frecare

În figura 3.2.1 sunt reprezentate, în diferite situații, 2 două corpuri care interacționează prin contact. De fiecare dată, corpul albastru apasă asupra corpului gri. Conform legii a III-a a dinamicii, apar două forțe, ce acționează asupra fiecărui corp în parte. Acțiunea este *forța de apăsare normală* pe suprafața de contact ($\vec{F}_{\text{apăsare}}$) și care acționează asupra corpului gri și este orientată perpendicular pe suprafața de contact dintre corpuri.

Reacțiunea este forța cu care corpul gri acționează asupra celui albastru. Ea este numită normala (notată $\vec{N}$). Cele două forțe acționează asupra unor corpuri diferite și relația dintre ele este:

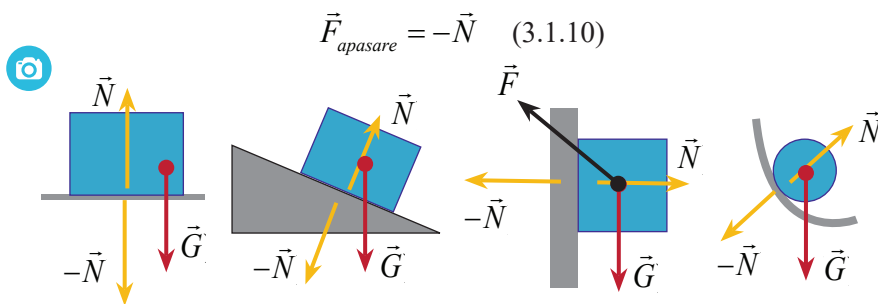


Fig. 3.2.1 Normala $\vec{N}$ și forța de apăsare $-\vec{N}$

Observație:

Mărimea normalei depinde de *greutatea corpului*, de *orientarea suprafeței de contact* și de *prezența unor forțe exterioare* ce acționează asupra corpului.



Fig. 3.2.2

Reține

Orice corp este atras de Pământ cu o forță numită *forță de greutate* sau *forță de atracție gravitațională* ($\vec{G}$) (fig. 3.2.2)

$$[G] = \text{N}$$

Într-un punct de pe Pământ, greutatea (fig. 3.2.2) are:

- punctul de aplicație: centrul de greutate al corpului;
- direcția: verticala locului;
- sensul: în jos;
- modulul greutății se calculează din relația:

$$G = mg \quad (3.2.1)$$

→ m este masa corpului

→ g este accelerația gravitațională ($[g]_{\text{S.I.}} = \text{m/s}^2$)

La suprafața Pământului, accelerația gravitațională variază între $9,78 \text{ m/s}^2$ la Ecuator și $9,82 \text{ m/s}^2$ la Poli. La suprafața Pământului se consideră $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (pentru ușurarea unor calcule, se acceptă $g = 10 \text{ m/s}^2$).

Reacțiunea greutății ($-\vec{G}$) este forța ce acționează asupra Pământului din partea corpului considerat (fig. 3.2.3).

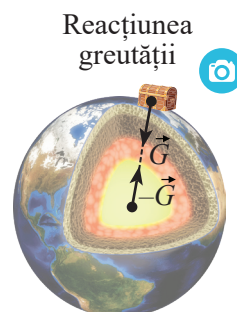


Fig.3.2.3

FORȚA DE FRECARĂ

La suprafața de contact dintre două corpuri pot apărea:

- **forța de frecare statică** – atunci când cele două corpuri aflate în contact sunt în repaus relativ unul față de celălalt;
- **forța de frecare la alunecare** (cinetică) – atunci când există o mișcare relativă a unui corp față de celălalt corp cu care este în contact.

În fig. 3.2.4 sunt arătate situațiile în care apar forțe de frecare statice și forțe de frecare la alunecare.

- fig. 3.2.4a – dacă forța de tracțiune ($\vec{F}_1$) este mică, corpul rămâne în repaus și apare o *forță de frecare statică*. În acest caz:

$$F_1 = F_{st1} \quad (3.2.2)$$

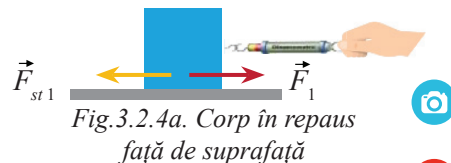


Fig. 3.2.4a. Corp în repaus față de suprafață

- fig. 3.2.4b – pe măsură ce crește forța de tracțiune, crește și forța de frecare statică, corpul rămânând în repaus. *Există o forță de frecare statică maximă* pentru care corpul rămâne în continuare în repaus pe suprafața de sprijin.

$$F_2 = F_{st\max} \quad (3.2.3)$$

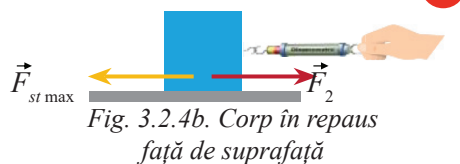


Fig. 3.2.4b. Corp în repaus față de suprafață

- fig. 3.2.4c. – dacă forța de tracțiune depășește forța de frecare statică maximă, corpul începe să se miște și apare forța de frecare la alunecare ($\vec{F}_f$) (forța de frecare cinetică) între corp și suprafața de sprijin. Forța de frecare la alunecare rămâne constantă și odată cu creșterea forței de tracțiune accelerația corpului crește conform principiului fundamental al mecanicii newtoniene.

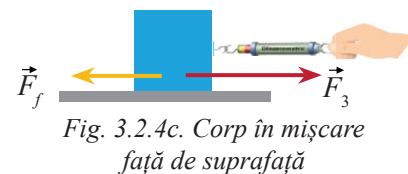


Fig. 3.2.4c. Corp în mișcare față de suprafață

$$F_3 > F_{st\max} \text{ și } \vec{a} = \frac{\vec{F}_{rez}}{m} = \frac{\vec{F} + \vec{F}_f}{m} \Rightarrow a = \frac{F - F_f}{m} \quad (3.2.4)$$

Forța de frecare apare din cauză că există mici denivelări între suprafețele aflate în contact care se întrepătrund. Acestea se opun deplasării corpurilor unul față de celălalt (fig. 3.2.5).

Suprafața de contact dintre două corpuri se caracterizează printr-o mărime fizică adimensională numită *coeficient de frecare*.

Există *coeficient de frecare la alunecare* (cinematic) (μ) și *coeficient de frecare static* (μ_s). În general, $\mu < \mu_s$.

În tabelul de mai jos sunt date câteva valori pentru μ și μ_s .



Fig. 3.2.5

Natura suprafețelor de contact	μ_s	μ
Sticlă-sticlă	1	0,4
Cauciuc-beton	1	0,7
Oțel-oțel	0,75	0,57
Piele-lemn	0,61	0,52
Lemn-lemn	0,58	0,40
Oțel-lemn	0,5	0,3

Reține

• Forța de frecare este totdeauna tangentă la suprafața de contact dintre corpuri, are direcția vitezei relative a unui corp față de celălalt și sens contrar ei.

• Forța de frecare statică (aderența) este egală și de sens contrar forței de tracțiune. Valoarea maximă a acestei forțe se calculează din relația:

$$F_{s,max} = \mu_s \cdot N \quad (3.2.5)$$

• Dacă forța de tracțiune depășește $F_{s,max}$, începe alunecarea.
 • Coeficientul de frecare (μ sau μ_s) și mărimea forței de frecare (F_f sau F_s) depind de natura suprafețelor aflate în contact și de gradul lor de prelucrare.

• Graficul dependenței dintre forța de frecare (F_f) și forța de tracțiune (F) este reprezentat în fig. 3.2.6.

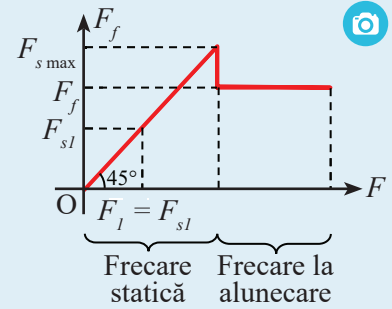


Fig. 3.2.6

Legile frecării la alunecare:

1. Mărimea forței de frecare la alunecare nu depinde de mărimea suprafeței de contact.
2. Forța de frecare la alunecare (cinetică) este direct proporțională cu forța de apăsare normală exercitată de corp asupra planului.

$$F_f = \mu \cdot N \quad (3.2.6)$$

EXPERIMENTEAZĂ: Determinarea valorii coeficientului de frecare la alunecare

Materiale necesare: Suprafață orizontală (masă), corp cu bază plană și cu posibilitate de prindere (cârlig) pe o față laterală, suprafețe diferite (carton, plastic, cauciuc, hârtie abrazivă) (fig. 3.2.7).

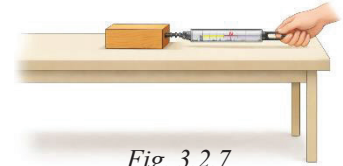


Fig. 3.2.7

Noțiuni teoretice:

F_1 este forța indicată de dinamometru în situația în care corpul este agățat de dinamometru în poziție verticală (fig. 3.2.8a):

$$G = F_1 \quad (3.2.7)$$

Pe masa orizontală (fig. 3.2.8b):

$$N = G = F_1 \quad (3.2.8)$$

Corpul fiind în mișcare rectilinie și uniformă pe masa orizontală (fig. 3.2.8b):

$$F_f = F_2 \quad (3.2.9)$$

Conform legii frecării la alunecare:

$$F_f = \mu \cdot N \Rightarrow \mu = \frac{F_f}{N} \Rightarrow \mu = \frac{F_2}{F_1} \quad (3.2.10)$$

Modul de lucru:

- Agață corpul de dinamometru în poziție verticală și se citește forța indicată de dinamometru (F_1) (fig. 3.2.8a).
- Pune corpul pe masa orizontală și prinde de el un dinamometru (fig. 3.2.8b).
- Trage încet de dinamometru, aflat în poziție orizontală, astfel încât corpul să aibă o mișcare rectilinie și uniformă.
- Citește indicația (F_2) a dinamometrului în timpul mișcării corpului (fig. 3.2.8b).
- **Atenție!** Nu citi indicația dinamometrului exact în momentul începerii mișcării corpului, ci numai după ce mișcarea a început și este uniformă.
- Repetă experimentul fixând sub corp și pe corp foi din diferite materiale.
- Notează natura suprafețelor aflate în contact (lemn pe plastic, lemn pe hârtie, hârtie pe hârtie etc.)

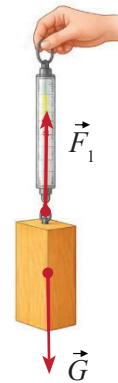


Fig. 3.2.8a

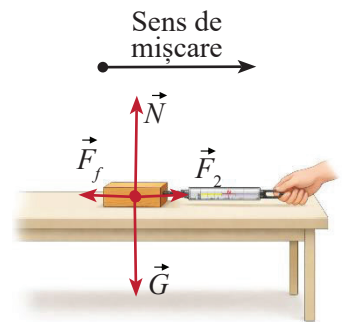


Fig. 3.2.8b

Completează tabelele de date experimentale:

Nr. det.	Suprafețele aflate în contact	F_1/N	F_1/N	$\mu = \frac{F_1}{F_1}$	$\bar{\mu}$	$\Delta\mu$	$\overline{\Delta\mu}$
1	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...

$$\mu = \bar{\mu} \pm \overline{\Delta\mu}$$

Nr. det.	Natura materialelor în contact	$\bar{\mu}$
1	Lemn-pal	...
...	...	...

Concluzie:

Coeficientul de frecare la alunecare depinde de natura suprafețelor aflate în contact și de gradul lor de prelucrare.

Surse de erori:

- planul pe care stă corpul nu este perfect orizontal;
- măsurarea forței F_2 nu este făcută în timpul unei mișcări uniforme;
- suprafața de contact nu este perfect plană;
- mărimea forței F_2 nu este citită cu precizie atunci când dinamometrul indică o valoare în interiorul diviziunii celei mai mici a scalei; de obicei, în acest caz se aproximează $\frac{1}{2}$ din diviziunea minimă a scalei.

3.2.2 Forța deformatoare. Legea lui Hooke. Forța elastică. Tensiunea mecanică

În viața de zi cu zi, observi obiecte care își pot modifica forma atunci când asupra lor acționează alte corpuri (fig. 3.2.9).

Forța deformatoare este forța exterioară care, aplicată unui corp, produce modificarea formei sau dimensiunii corpului.

Sub acțiunea forței deformatoare, corpul poate suferi o deformare elastică (corpul revine la forma inițială după dispariția forței deformatoare) sau plastică (corpul nu revine la forma inițială după dispariția forței deformatoare).

Se realizează un experiment cu ajutorul unei bare elastice cu lungimea inițială ℓ_0 și aria secțiunii transversale S_0 , asupra căreia acționează forța deformatoare F . Se măsoară **deformarea absolută** a barei (figura 3.2.10) $\Delta\ell = \ell - \ell_0$. În experiment se pot modifica F , ℓ_0 , S_0 și natura materialului barei. Experimentul se realizează astfel încât $\Delta\ell \ll \ell_0$. În aceste condiții, se poate considera, în primă aproximație, că aria secțiunii transversale S_0 rămâne constantă în timpul alungirii barei.



Fig. 3.2.9

Reține

Experimental, se observă că:

- alungirea barei este direct proporțională cu mărimea forței deformatoare ($\Delta\ell \approx F$) (figura 3.2.10a) atunci când ℓ_0 , S_0 și natura materialului barei nu se modifică;
- alungirea barei este direct proporțională lungimea sa inițială ($\Delta\ell \approx \ell_0$) atunci când F , S_0 și natura materialului barei nu se modifică (figura 3.2.10.b);

- alungirea barei este invers proporțională aria secțiunii transversale ($\Delta\ell \approx \frac{1}{S_0}$) atunci când F , ℓ_0 și natura materialului barei nu se modifică (figura 3.2.10.c);
- alungirea barei depinde de natura materialului din care ea este făcută atunci când se păstrează constante ℓ_0 , S_0 și F .

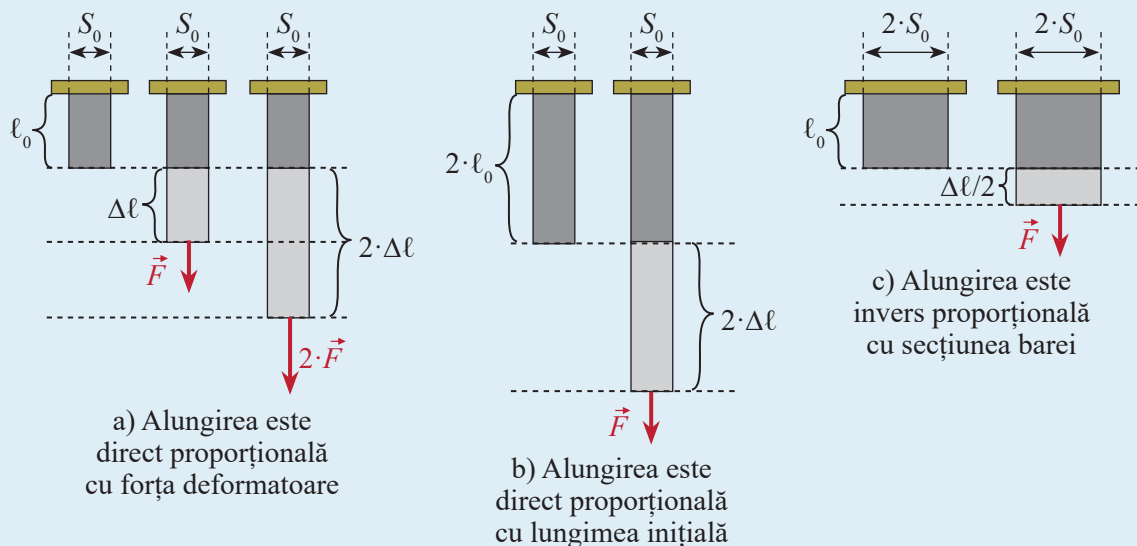


Fig. 3.2.10

Pe baza determinărilor experimentale efectuate se poate scrie relația:

$$\Delta\ell = \frac{1}{E} \cdot \frac{F \cdot \ell_0}{S_0} \quad \text{sau} \quad \frac{F}{S_0} = E \cdot \frac{\Delta\ell}{\ell_0} \quad (3.2.11)$$

unde E este o constantă de material numită **modul de elasticitate** longitudinal sau **modulul lui Young**.

$$[E]_{\text{SI}} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{N} \cdot \text{m}^{-2} \quad (3.2.12)$$

Reține

Folosind notațiile: $\sigma = \frac{F}{S_0}$ pentru **efortul unitar** și $\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0}$, pentru **deformație relativă**, relația (3.2.12) se scrie:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.2.13)$$

Relațiile (3.2.11) sau (3.2.13) reprezintă expresia matematică pentru **legea lui Hooke**.

Reține

În cazul unei deformări elastice, efortul unitar $\left(\sigma = \frac{F}{S_0}\right)$ este direct proporțional cu alungirea relativă $\left(\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0}\right)$. Factorul de proporționalitate este modulul de elasticitate longitudinal (E).

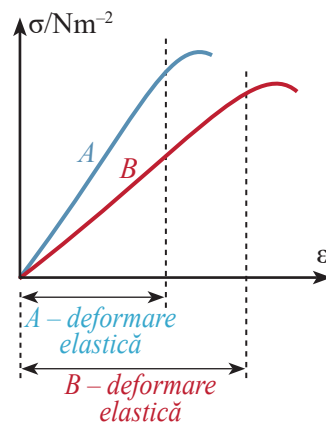


Fig. 3.2.11

În figura 3.2.11, graficele A și B corespund unor bare din materiale diferite. Dependența liniară dintre efortul unitar (σ) și alungirea relativă (ϵ) se reprezintă printr-un segment de dreaptă ce trece prin origine.

Reține

Legea lui Hooke este respectată numai pentru un interval de valori al alungirii relative, ϵ , așa cum se vede în fig. 3.2.11. Dacă efortul unitar depășește o anumită valoare, legea lui Hooke nu mai este respectată, bara se deformează plastic și apoi se rupe.

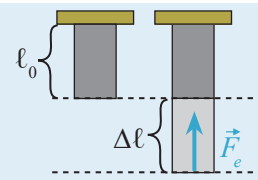


Fig. 3.2.12

Pentru porțiunea de elasticitate, dacă forța deformatoare dispare, bara elastică revine la forma inițială. Acest lucru este posibil deoarece în interiorul barei apare o forță, **numită forță elastică** $\vec{F}_e$, care readuce bara la lungimea inițială ℓ_0 (fig. 3.2.12).

Forța elastică este egală în modul cu forța care a produs deformatiunea ($F_e = F$), dar are sens contrar ei.

Din relația (3.2.11) se deduce:

$$F_e = \frac{E \cdot S_0}{\ell_0} \cdot \Delta \ell = k \cdot \Delta \ell \quad (3.2.14)$$

unde $k = \frac{E \cdot S_0}{\ell_0}$ = constant, iar k se numește

constanta elastică (a barei, a firului sau a resortului).

$$F_e = k \cdot \Delta \ell \quad (3.2.15)$$

$$[k]_{\text{S.I.}} = \frac{\text{N}}{\text{m}} = \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Vectorial:

$$\vec{F}_e = -k \cdot (\vec{\Delta \ell}) = -k \cdot (\vec{\ell} - \vec{\ell}_0) = -k \cdot \vec{x} \quad (3.2.16)$$

unde:

$$\vec{x} = (\vec{\Delta \ell}) = (\vec{\ell} - \vec{\ell}_0) \quad (3.2.17)$$

$\vec{x}$ are direcția resortului și sensul deformației.

Forța elastică într-un resort este reprezentată în figura 3.2.13. Ea apare la ambele capete ale resortului.

În figura 3.2.14 este redată dependența forței deformatoare (F) și a forței elastice (F_e) de alungirea x a resortului, în limita de elasticitate.

resort nedeformat

resort alungit

resort comprimat

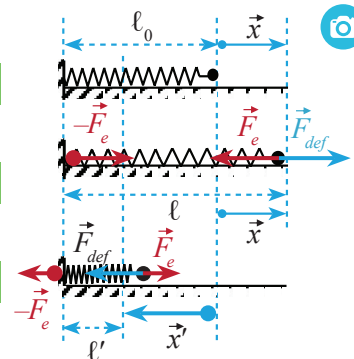


Fig. 3.2.13

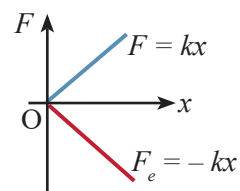


Fig. 3.2.14

EXPERIMENTEAZĂ: Determinarea constantei elastice a unui resort

Scopul lucrării: determinarea valorii constantei elastice a unui resort.

Materiale necesare: suport pentru experimente de laborator, resort, riglă, suport cu discuri crestate (fig. 3.2.15).

Noțiuni teoretice:

Fie m_1 masa suportului de discuri și m' masa unui disc crestă.

$$m_2 = N \cdot m'$$

unde N reprezintă numărul de discuri atașate pe suport.

Suportul cu discuri crestate este în repaus (fig. 3.2.16).

$$F_e = G_1 + G_2 \Rightarrow k \cdot x = m_1 \cdot g + m_2 \cdot g$$

$$x = \ell - \ell_0$$

$$k = \frac{g \cdot (m_1 + N \cdot m')}{\ell - \ell_0} = \frac{Mg}{\ell - \ell_0} \quad (3.2.18)$$

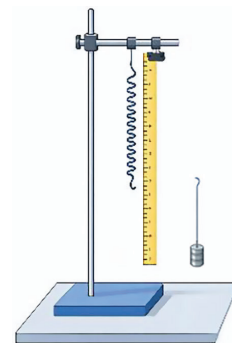


Fig. 3.2.15

Modul de lucru:

- măsoară și notează lungimea resortului nedeformat (ℓ_0);
- citește și notează masa suportului de discuri (m_1) și masa unui disc (m');
- așază pe suport N discuri crestate;
- notează $M = m_1 + Nm'$;
- agață suportul cu discuri crestate de resort;
- măsoară lungimea (ℓ) a resortului alungit după ce s-a atașat suportul cu discuri crestate.

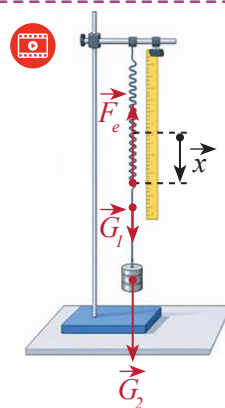


Fig. 3.2.16

Tabel de date experimentale:

Nr. det.	N	M/kg	ℓ_0/m	ℓ/m	$x = (\ell - \ell_0)/\text{m}$	$k/(\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$	$\bar{k}/(\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$	$\Delta k/(\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$	$\overline{\Delta k}/(\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$
1									

Exprimă rezultatul măsurătorilor sub forma:

$$k = \bar{k} \pm \overline{\Delta k} \quad (3.2.19)$$

Concluzii:

Valoarea constantei elastice, k , este o constată atașată unui resort dat, deformat elastic. Ea nu depinde de greutatea corpurilor agățate de resort sau de alungirea resortului.

Deformarea resortului devine plastică dacă greutatea corpurilor agățate depășește o anumită valoare.

Resortul se rupe, la un moment dat, dacă se continuă creșterea greutății corpurilor agățate de resort.

Surse de erori:

- erori de măsură pentru ℓ și ℓ_0 ;
- erori de măsură pentru m_1 și m' ;
- valoarea accelerației gravitaționale la nivelul locului la care se fac determinările nu este cunoscută cu precizie.

Tensiunea în fir ($\vec{T}$) este o forță care apare într-un fir întins (tensionat) din cauza unei forțe exterioare ce acționează asupra firului ($\vec{F}$), figura 3.2.17.

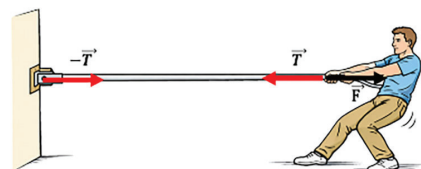


Fig. 3.2.17

Reține

- tensiunea acționează în fir, are direcția firului și sensul spre interiorul firului.
- un fir ideal nu are masă și este inextensibil.
- tensiunea are aceeași valoare în orice punct al unui fir ideal.
- dacă firul are masă, tensiunea are valori diferite în diferite puncte ale firului.

$$[T]_{\text{S.I.}} = \text{N} \quad (3.2.20)$$

APLICĂ

1. Un tren aflat inițial în repaus începe să se deplaseze accelerat spre Nord pe o linie ferată rectilinie, orizontală și orientată pe direcția Nord-Sud. Într-un vagon al trenului, firul cu plumb nu rămâne vertical, ci se abate spre Sud. Care este explicația fizică a comportamentului firului cu plumb?

Rezolvare:

Rezolvarea problemei în sistemul de referință inerțial, Pământul. În timpul deplasării accelerate a trenului, toate corpurile din interiorul vagoanelor, inclusiv firul cu plumb, au accelerația trenului, spre Nord, paralelă cu șina. Forța rezultantă ($\vec{F}_{rez}$) dintre tensiune ($\vec{T}$) și greutatea corpului legat de fir ($\vec{G}$) are direcția și sensul accelerației, orizontală, spre Nord. Firul trebuie să se încline spre Sud pentru ca forța rezultantă să fie orizontală spre Nord (fig. 3.2.18).

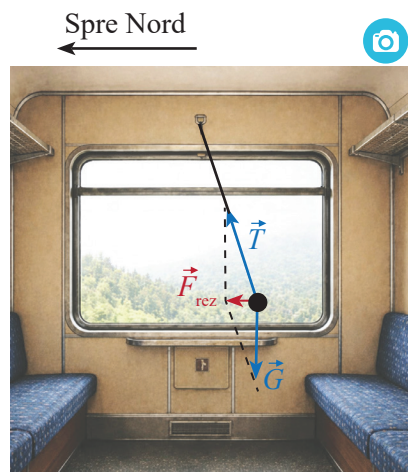


Fig. 3.2.18

2. Un om cu masa de 90 kg se află într-un lift care urcă cu accelerația de $2,2 \text{ m/s}^2$ (fig. 3.2.19). Calculează forța de apăsare exercitată de om asupra podelei liftului.

Rezolvare:

Aplică metoda diagramei corpului liber (fig. 3.2.20). Metoda se aplică numai pentru un corp aflat în mișcare de translație, atunci când el poate fi reprezentat printr-un punct material.

Iată pașii ce trebuie să îi parcurgi:

- reprezintă corpul studiat printr-un punct și forțele ce acționează asupra lui având originea în punctul respectiv (fig. 3.2.20);
- reprezintă vectorul accelerație lângă punctul considerat;
- alege convenabil un sistem de referință xOy ;
- dacă este cazul, forțele se studiază după cele două axe.

După Oy :

$$\vec{N} + \vec{G} = m \cdot \vec{a} \Rightarrow N - mg = ma \Rightarrow N = m \cdot (g + a) \Rightarrow N = F_{ap} = 1080 \text{ N}.$$

3. Două corpuri cu masele $m_1 = 2 \text{ kg}$ și $m_2 = 3 \text{ kg}$ sunt suspendate la capetele unui fir ideal trecut peste un scripete ideal (fig. 3.2.21). Calculează:

- a) modulul accelerației fiecărui corp în parte;
- b) tensiunea în fir ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

Precizări: Firul ideal este inextensibil și cu masă neglijabilă. Scripetele ideal nu are inerție și frecările în lagăre sunt neglijabile. Scripetele ideal schimbă convenabil direcția firului și a tensiunii din fir. Modulul tensiunii în fir nu se modifică.

Rezolvare:

a) Aplică metoda diagramei corpului liber: reprezintă fiecare corp printr-un punct împreună cu familia lui de forțe. Reprezintă accelerația fiecărui corp (fig. 3.2.22). Scrie principiul fundamental al dinamicii pentru fiecare corp în parte:

Pentru m_1 :

$$\vec{T} + \vec{G}_1 = m_1 \cdot \vec{a}_1 \quad (3.2.21)$$

Pentru m_2 :

$$\vec{T} + \vec{G}_2 = m_2 \cdot \vec{a}_2 \quad (3.2.22)$$



Fig. 3.2.19

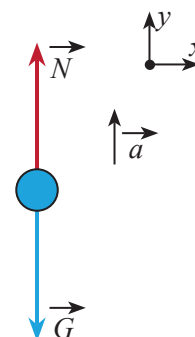


Fig. 3.2.20

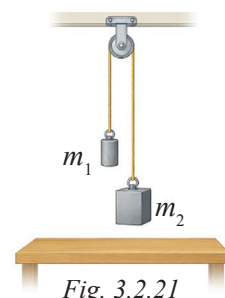


Fig. 3.2.21

Mărimile accelerațiilor corpurilor sunt egale deoarece firul este inextensibil.

$$a_1 = a_2 = a \quad (3.2.23)$$

Folosește relația 3.2.23 și alege sensul „+” sensul de mișcare al corpului (conform axelor (O_1y) și (O_2y)). Relațiile 3.2.21, 3.2.22 se exprimă în funcție de modulele forțelor sub forma:

$$T - G_1 = m_1 a \Rightarrow T - m_1 g = m_1 a \quad (2.3.24)$$

$$G_2 - T = m_2 a \Rightarrow m_2 g - T = m_2 a \quad (2.3.25)$$

Prin adunarea relațiilor 2.3.24 și 2.3.25 se obține:

$$(m_2 - m_1) \cdot g = (m_1 + m_2) \cdot a \Rightarrow a_1 = a_2 = a = \frac{(m_2 - m_1) \cdot g}{(m_1 + m_2)} = 2 \text{ m/s}^2$$

b) Din relația 2.3.24 se obține:

$$T = m_1(g + a) = 24 \text{ N}$$

4. Un pachet cu masa de 10 kg alunecă în jos pe rampa de încărcare a unui camion (fig. 3.2.23). Rampa este netedă ($\mu = 0$) și formează un plan înclinat cu înălțimea $h = 1 \text{ m}$ și lungimea $\ell = 4 \text{ m}$. Viteza pachetului în vârful planului înclinat este nulă.

a) Descompune greutatea pachetului după o direcție paralelă cu planul și una perpendiculară pe plan. Calculează componentele greutății după cele două direcții.

b) Calculează distanța parcursă de pachet pe planul orizontal până la oprire (x_{op}) dacă pe această porțiune coeficientul de frecare la alunecare este $\mu_1 = 0,4$.

Rezolvare:

a) $AB = \ell = 4 \text{ m}$, $BC = h = 1 \text{ m}$.

În $\triangle ABC$ avem: $\sin \alpha = \frac{h}{\ell} = 0,25$, $\cos \alpha = \frac{\sqrt{\ell^2 - h^2}}{\ell} = 0,968$.

Construiește diagrama corpului liber (fig. 3.2.24).

Conform figurii 3.2.24:

$$G_t = G \sin \alpha = mg \sin \alpha = 25 \text{ N}$$

$$G_n = G \cos \alpha = mg \cos \alpha = 96,8 \text{ N}$$

b) Pe planul înclinat nu există frecare și accelerația a_1 după (O_1x) este determinată numai de componenta greutății după direcția planului înclinat.

Conform principiului fundamental al dinamicii:

$$G_t = ma_1 \Rightarrow mg \sin \alpha = ma_1 \Rightarrow a_1 = g \sin \alpha \quad (2.3.26)$$

$$v_A = \sqrt{2a_1 \ell} = \sqrt{2g \ell \sin \alpha} \quad (2.3.27)$$

Viteza în A devine viteză inițială pentru porțiunea orizontală.

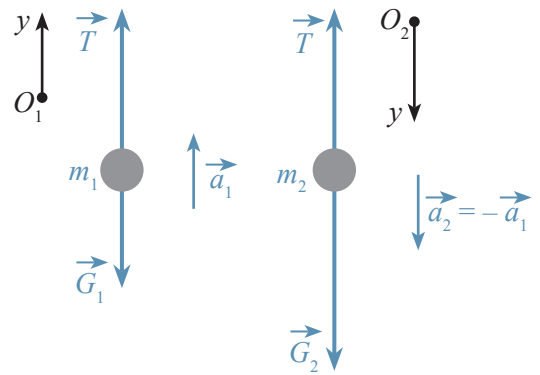


Fig. 3.2.22



Fig. 3.2.23

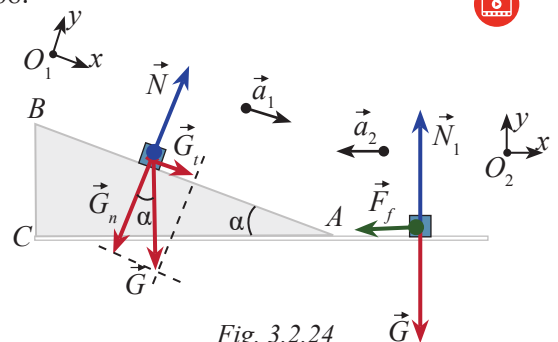


Fig. 3.2.24

Având în vedere sistemul (xOy) , principiul fundamental pe planul orizontal devine:

– după (O, x) : $-F_f = ma_2 \Rightarrow -\mu_1 N = ma_2$ (2.3.28)

– după (O, y) : $N = G = mg$ (2.3.30)

Din relațiile (2.3.8) și (2.3.29) se obține:

$$-\mu_1 mg = ma_2 \Rightarrow a_2 = -\mu_1 g \quad (2.3.31)$$

Se obține: $x_{op} = \frac{v_A^2}{-2a_2} = \frac{v_A^2}{2\mu_1 g} = \frac{2g\ell \sin \alpha}{2\mu_1 g} \Rightarrow x_{op} = \frac{\ell \sin \alpha}{\mu_1} = 2,5 \text{ m}.$

5. Un corp cu masa $m_1 = 300 \text{ g}$ este așezat pe o masă netedă, fără frecări. De corp este prins un fir ideal, orizontal, ce trece peste un scripete ideal. În fir este inserat un resort de masa neglijabilă având constanta elastică $k = 100 \text{ N/m}$ (fig. 3.2.25). La celălalt capăt al firului este prins corpul de masa $m_2 = 200 \text{ g}$ ($g = 10 \text{ m/s}^2$). Calculează:

- acceleerația sistemului considerând că în timpul mișcării spirele resortului nu se mișcă una față de alta;
- tensiunea din fir;
- alungirea resortului;
- forța cu care scripetele apasă asupra axului său.

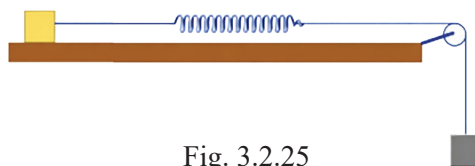


Fig. 3.2.25

Rezolvare:

a) În fig. 3.2.26 sunt reprezentate vectorial toate forțele care acționează asupra fiecărui corp și accelerațiile corespunzătoare.

Tensiunile în fire și accelerațiile, scrise vectorial, sunt diferite pentru că direcțiile vectorilor diferă. Aplicând principiul fundamental în cele două extremități ale resortului de masă nulă, obții:

$$\vec{F}_e + (-\vec{T}_2) = \vec{0} \text{ sau } F_e = T_2 \text{ și } -\vec{F}_e + (-\vec{T}_3) = \vec{0} \text{ sau } F_e = T_3 \quad (3.2.32)$$

Modulul accelerațiilor corpurilor este același: $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a$.

Știi că în orice punct al unui fir ideal valoarea tensiunii este aceeași, iar scripetele ideal nu modifică valoarea tensiunii. Obții:

$$|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = |\vec{T}_3| = |\vec{F}_e| = T \quad (3.2.33)$$

Pentru ușurință, folosește modulele vectorilor pentru scrierea principiului fundamental.

Folosind relațiile de mai sus, se obține:

$$(m_1): T = m_1 a \quad (3.2.34)$$

$$(m_2): m_2 g - T = m_2 a \quad (3.2.35)$$

Adună relațiile (3.2.34) și (3.2.35). Obții:

$$m_2 g = a(m_1 + m_2) \Rightarrow a = \frac{m_2 g}{m_1 + m_2} \Rightarrow a = 4 \text{ m/s}^2 \quad (3.2.36)$$

b) Din (3.2.32) și (3.2.34), obții:

$$T = \frac{m_1 m_2 g}{m_1 + m_2} \Rightarrow T = 1,2 \text{ N}.$$

c) Din (3.2.33) $\Rightarrow F_e = k \cdot \Delta x = T \Rightarrow \Delta x = \frac{m_1 m_2 g}{k(m_1 + m_2)} = 1,2 \text{ cm}$

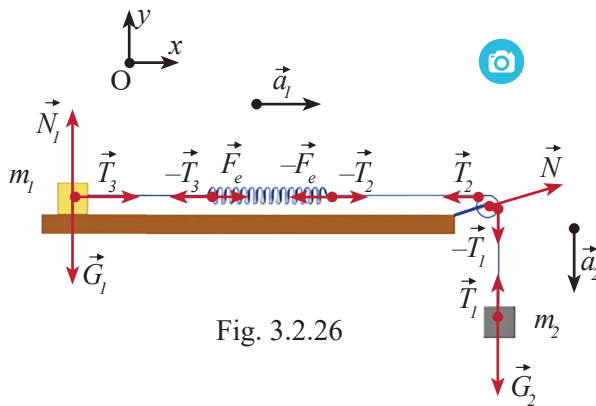


Fig. 3.2.26

Reține

Un resort (dinamometru) ideal inserat într-un fir ideal măsoară tensiunea din fir.

d) În figura 3.2.27, forțele desenate cu roșu sunt cele care acționează asupra scripetelui. Forța de apăsare este forța cu care scripetele acționează asupra lagărelor.

$$\vec{F}_{\text{apasare}} = -\vec{N}$$

$$-\vec{N} = (-\vec{T}_1) + \vec{T}_2$$

Folosind și relația (3.2.33), obții: $N = T \cdot \sqrt{2} \sim 1,7 \text{ N}$.

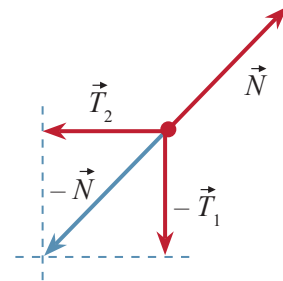


Fig. 3.2.27

6. Un jaguar, cu masa de 80 kg, sare și se prinde de o ramură verticală cu masa de 160 kg. La un moment dat, ramura se desprinde de copac și jaguarul se cațăără pe ramură astfel încât el rămâne mereu la aceeași înălțime față de sol (fig. 3.2.28). Calculează accelerația cu care cade ramura ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

Rezolvare:

Pentru fiecare corp din sistemul jaguar-ramură construiește diagrama corpului liber: reprezintă jaguarul printr-un punct împreună cu familia lui de forțe și analog pentru ramură (fig. 3.2.29 a) și b)).

Interacțiunea dintre jaguar și ramură este reprezentată prin forțele de acțiune și reacțiune $\vec{F}_1$ și $\vec{F}_2$:

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1, \text{ dar } F_1 = F_2 = F \quad (3.2.37)$$

Pentru jaguarul aflat în repaus: $F_1 = F = G_1 = m_1 g \quad (3.2.38)$

Pentru ramură: $G_2 + F_2 = m_2 a \quad (3.2.39)$

Din relațiile (3.2.37), (3.2.38) și (3.2.39) se obține:

$$m_2 g + F = m_2 a \Rightarrow m_2 g + m_1 g = m_2 a \Rightarrow a = \frac{g(m_1 + m_2)}{m_2} = 15 \text{ m/s}^2$$

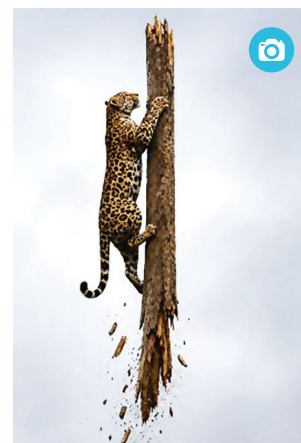


Fig. 3.2.28

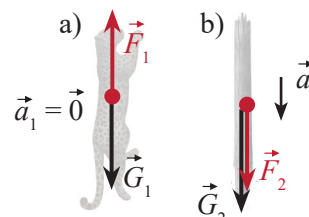


Fig. 3.2.29

EXERSEAZĂ

1. Un camion are masa de 18 ori mai mare decât masa unui autoturism și forța de tracțiune de 15 ori mai mare (fig. 3.2.30). După un timp, pornind din repaus, autoturismul a parcurs 120 m. Calculează distanța parcursă de camion, de la pornirea din repaus, în același timp.



Fig. 3.2.30

2. Un corp așezat pe o masă orizontală este tras prin intermediul unui resort (fig. 3.2.31). Coeficientul de frecare la alunecare dintre corp și planul orizontal este $\mu = 0,2$. La un moment dat, corpul are accelerația de $0,4 \text{ m/s}^2$ și resortul este alungit cu 2 cm.

Determină alungirea resortului atunci când acesta este vertical, corpul este suspendat de el și sistemul resort-corp se deplasează vertical în sus cu accelerația de 2 m/s^2 ($g = 10 \text{ m/s}^2$).



Fig. 3.2.31

3.3. INTERACȚIUNI PRIN CÂMPURI: INTERACȚIUNEA GRAVITAȚIONALĂ

Omenirea și-a pus întrebări referitoare la mișcarea astrelor pe cer încă din cele mai vechi timpuri. În Antichitate și în Evul Mediu, ideile despre mișcarea planetelor erau dominate mai degrabă de modele filozofice și geometrice decât de legi fizice bazate pe observații experimentale. Cel mai cunoscut model al Universului în aceste perioade a fost cel geocentric, descris de Aristotel și dezvoltat matematic de Claudius Ptolemeu. Conform acestui model, planetele, Soarele și stelele se roteau în jurul Pământului aflat în centrul Universului. În secolul al XVI-lea, Nicolaus Copernicus a propus o idee revoluționară: Soarele se află în centrul Sistemului Solar, iar planetele, inclusiv Pământul, se rotesc în jurul acestuia pe traiectorii circulare. Pe baza observațiilor de mare precizie realizate de Tycho Brahe (1546-1601), Johannes Kepler (1571-1630) a formulat cele trei legi ale mișcării planetelor în jurul Soarelui. După descoperirea acestor legi, oamenii de știință au început să privească Sistemul Solar ca pe un ansamblu unitar și bine organizat. Cu toate acestea, o întrebare esențială rămânea fără răspuns: ce forță nevăzută obligă planetele să urmeze traiectorii eliptice în jurul Soarelui?

Răspunsul a fost dat de Isaac Newton (1643-1727). În lucrarea „Principiile matematice ale filosofiei naturale”, Newton a formulat legea atracției universale, arătând că toate corpurile din Univers se atrag între ele. Astfel, el a arătat că planetele se mișcă în jurul Soarelui, fiind menținute pe orbită de forța de atracție gravitațională. În această lecție vei studia legea atracției universale și câmpul gravitațional.

Legea atracției universale este o lege empirică și se postulează, asemenea principiilor mecanicii. Această lege se aplică corpurilor considerate punctiforme în raport cu distanța dintre ele. Noțiunea de corp punctiform poate fi extinsă chiar și la cele mai masive corpuri din Univers, dacă distanțele dintre ele sunt mult mai mari decât dimensiunile corpurilor. De exemplu, Soarele și Pământul pot fi considerate corpuri punctiforme, deoarece distanța dintre ele este de peste 100 de ori mai mare decât diametrul Soarelui.

Reține

Două corpuri considerate punctiforme față de distanța dintre ele **se atrag** cu o forță **direct proporțională cu produsul maselor lor** și **invers proporțională cu pătratul distanței** dintre ele:

$$F \sim \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}.$$

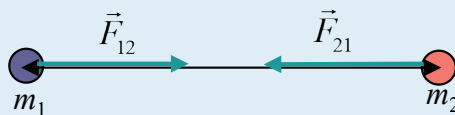


Fig. 3.3.1

Aceasta este **legea atracției universale** formulată de Newton, în 1687.

Se observă că valoarea forței de atracție este cu atât mai mare, cu cât masele celor două corpuri sunt mai mari. Forța de atracție scade pe măsură ce crește distanța dintre corpuri.

Forțele reprezentate în fig. 3.3.1 sunt direct proporționale cu produsul maselor m_1 , respectiv, m_2 , și invers proporționale cu pătratul distanței dintre cele două corpuri. Modulele forțelor sunt egale (forțele sunt acțiune-reacțiune). Corpurile reprezentate pot fi considerate punctiforme față de distanța dintre ele.

Expresia matematică a forței F este:

$$F = K \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3.3.1)$$

Constanta K este constanta atracției universale și are valoarea: $K = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$. Această constantă

a fost determinată experimental, pentru prima dată, de Henry Cavendish, în 1798, cu ajutorul unei balanțe de torsiune. În experimentul efectuat, Cavendish a folosit două sfere de plumb grele ($M \approx 158 \text{ kg}$), fixate de o bară care se poate roti. Alte două bile mici de plumb ($m \approx 0,75 \text{ kg}$) erau fixate la capetele unei țije suspendate de un fir elastic foarte subțire (fig. 3.3.2). Apropierea sferelor de masă M de bilele mici produce o atracție

gravitațională care produce, la rândul ei, o răsucire a firului de suspensie. Măsurând unghiul de răsucire, se poate determina forța de atracție și implicit valoarea constantei gravitaționale.

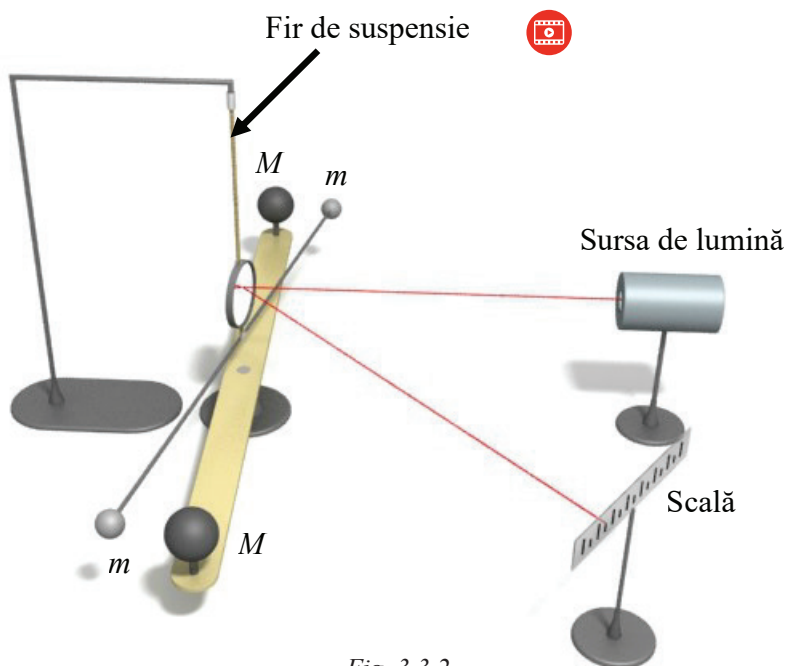


Fig. 3.3.2

APLICĂ

1. Calculează forța cu care Soarele atrage Pământul. Compară această forță cu forța cu care Soarele este atras de Pământ. Se cunosc: constanta atracției universale – $K = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$, masa Pământului – $M_p \cong 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, masa Soarelui – $M_s \cong 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, distanța Pământ-Soare – $d_{ps} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$.

Rezolvare:

Conform principiului acțiunii și reacțiunii, cele două forțe sunt egale ca valoare și de sens opus:

$$F_{PS} = F_{SP} = K \frac{M_p M_s}{d_{ps}^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{6 \cdot 10^{24} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{(1,5 \cdot 10^{11})^2} = 3,5 \cdot 10^{22} \text{ N}.$$

2. Calculează de câte ori scade forța de atracție gravitațională dacă distanța dintre corpurile punctiforme se dublează.

Rezolvare:

Aplicăm Legea atracției universale în cele două cazuri::

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= K \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \\ F_2 &= K \frac{m_1 \cdot m_2}{(2d)^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{K \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}}{K \frac{m_1 \cdot m_2}{(2d)^2}} = 4 \Rightarrow F_2 = \frac{F_1}{4} \text{ (scade de 4 ori)}$$

3. Distanța dintre centrul Pământului și al Lunii este de aproximativ 60 de raze terestre, iar masa Pământului este de aproximativ 81 de ori mai mare decât masa Lunii. Calculează forța rezultantă exercitată de aceste două corpuri cerești asupra unui corp de masă m , plasat între ele, pe segmentul care unește centrele lor, la distanța de 54 de raze terestre de centrul Pământului. Cele trei corpuri pot fi considerate punctiforme față de distanțele dintre ele.

Rezolvare:

În fig. 3.3.3, am reprezentat forțele de atracție exercitate de Pământ și de Lună asupra corpului de masă. Calculăm rezultanta R :

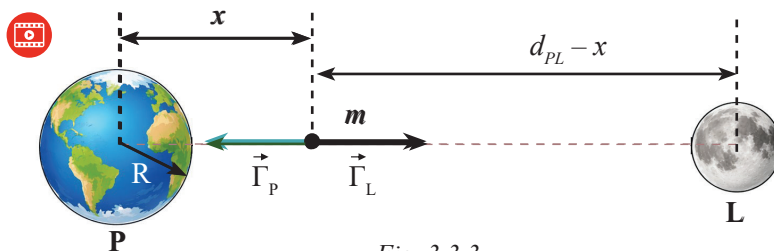


Fig. 3.3.3

$$\left. \begin{aligned} R &= F_P - F_L \\ F_P &= K \frac{m \cdot M_P}{x^2} \\ F_L &= K \frac{m \cdot M_L}{(d_{PL} - x)^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow R = K \frac{m \cdot M_P}{x^2} - K \frac{m \cdot M_L}{(d_{PL} - x)^2}.$$

Simplificăm relația, înlocuind mărimile fizice din problemă:

$$\left. \begin{aligned} M_P &= 81M_L \\ d_{P=L} &= 60R \\ x &= 54R \\ R &= K \frac{m \cdot M_P}{x^2} - K \frac{m \cdot M_L}{(d_{PL} - x)^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow R = K \frac{m \cdot 81M_L}{(54R)^2} - K \frac{m \cdot M_L}{(60R - 54R)^2} = K \frac{m \cdot M_L}{R^2} \left(\frac{1}{36} - \frac{1}{36} \right) = 0.$$

EXERSEAZĂ

1. Compară forțele gravitaționale exercitate de corpurile de mase M și $2M$ asupra unui al treilea corp, plasat la distanțe egale de cele două corpuri, pe linia ce unește centrele lor. Corpurile pot fi considerate punctiforme față de distanțele dintre ele.

2. Două corpuri de mase M și $4M$ sunt plasate la distanța d unul față de altul. Unde trebuie plasat un alt corp de masă m pentru ca rezultanta forțelor ce acționează asupra sa să fie zero? Corpurile pot fi considerate punctiforme față de distanțele dintre ele.

3. Compară forța de atracție dintre Soare și Pământ cu forța de atracție dintre Soare și Saturn. Se știe că: masa lui Saturn este de aproximativ 95 de ori mai mare decât masa Pământului, iar distanța Saturn-Soare este aproximativ egală cu 9,5 UA (1 UA = unitate astronomică = distanța medie Pământ – Soare).

Câmpul gravitațional

Soarele exercită o forță de atracție asupra Pământului, dar și asupra planetei Neptun, aflată la o distanță mult mai mare față de el. Cum se manifestă această forță la distanță? Se manifestă oare în același mod ca forța cu care Pământul atrage un măr? Pentru a explica modul în care se manifestă această **interacțiune la distanță**, fără să existe o legătură materială între corpuri, vom introduce conceptul teoretic numit **câmp gravitațional**. În această lecție vom studia proprietățile acestui câmp.

Fiecare corp generează în jurul său un **câmp gravitațional** și, la rândul său, corpul respectiv suferă acțiunea câmpurilor gravitaționale create de celelalte corpuri.

Reține

Interacțiunea gravitațională a două corpuri se realizează prin **intermediul câmpului gravitațional**.

Câmpul gravitațional reprezintă o formă de manifestare a materiei care nu poate fi percepută direct cu ajutorul simțurilor noastre, ci doar prin efectele sale asupra altor corpuri. Existența unui câmp poate fi evidențiată doar prin experimente. Să plasăm într-un câmp gravitațional oarecare un corp „de probă” ce poate fi considerat punct material, a cărui masă m are o valoare oricât de mică. Câmpul gravitațional va acționa asupra corpului de probă cu forța $\vec{F}$.

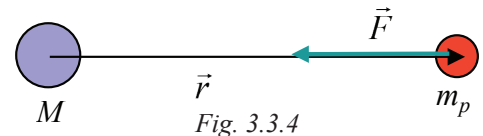
Reține

Intensitatea câmpului gravitațional $\vec{\Gamma}$ se definește ca fiind mărimea **fizică vectorială** numeric egală cu **raportul** dintre forța $\vec{F}$ exercitată de câmp asupra corpului de probă și masa m_p a corpului de probă:

$$\vec{\Gamma} = \frac{\vec{F}}{m_p} \Rightarrow [\Gamma]_{\text{s.i.}} = \frac{\text{N}}{\text{kg}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (3.3.2)$$

În cazul în care **câmpul gravitațional este generat de o masă punctiformă M** (fig. 3.3.4), **intensitatea câmpului gravitațional** poate fi exprimată astfel:

$$\left. \begin{aligned} F &= K \frac{M \cdot m_p}{r^2} \\ \Gamma &= \frac{F}{m_p} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Gamma = K \frac{M}{r^2}. \quad (3.3.3)$$



Se observă că **intensitatea câmpului gravitațional depinde de masa M a corpului care generează câmpul și de poziția punctului din spațiu în care analizăm câmpul** respectiv. Intensitatea câmpului nu depinde de masa corpului de probă.

Intensitatea câmpului gravitațional produs de o masă aflată în repaus nu variază în timp, deci câmpul gravitațional este un **câmp staționar**.

Reține

Ca orice câmp fizic, **câmpul gravitațional** poate fi vizualizat în mod convențional cu ajutorul unor **linii de câmp**. În fiecare punct, vectorul intensitate a câmpului este tangent la linia de câmp ce trece prin punctul respectiv. În cazul unui corp sferic omogen, **liniile de câmp sunt radiale**, câmpul fiind **central**; toate liniile de câmp sunt îndreptate spre centrul corpului.

Reține

În aproximația în care Pământul ar fi o sferă perfectă, cu masa distribuită uniform, **intensitatea câmpului gravitațional în exteriorul acestuia se poate exprima ca și cum întreaga sa masă ar fi concentrată în centrul său**.

Putem **extinde** această observație: datorită simetriei sferice, **câmpul gravitațional al unui corp sferic și omogen**, în exteriorul său, este echivalent cu cel pe care l-ar produce **întreaga sa masă, concentrată în centrul său**:

$$\Gamma = K \frac{M}{r^2}$$

Să considerăm un corp punctiform de masă m , situat în câmpul gravitațional generat de Pământ (fig. 3.3.5).

Asupra corpului acționează forța de atracție exercitată de planetă. Aplicând principiul al II-lea al mecanicii pentru corp, neglijând frecarea cu aerul și ținând cont că el se află în cădere liberă, putem scrie (fig. 3.3.6):

$$\left. \begin{aligned} m\vec{a} &= \vec{F} \\ \vec{F} &= m \cdot \vec{\Gamma} \\ \vec{a} &= \vec{g} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \vec{g}(r) = \vec{\Gamma}(r)$$

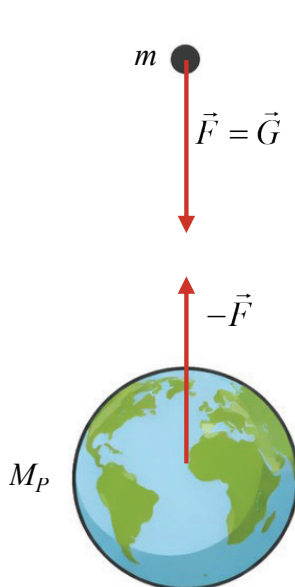


Fig. 3.3.5

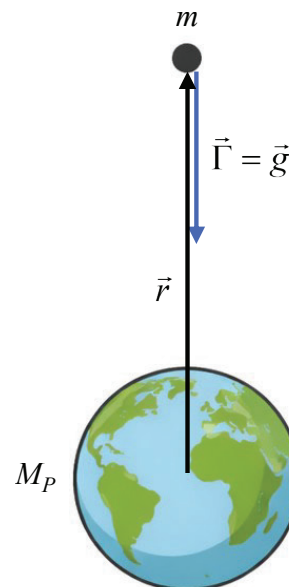


Fig. 3.3.6

Reține

Intensitatea câmpului gravitațional în vecinătatea Pământului, considerat sferic și omogen, coincide cu accelerația cu care cade un corp lăsat liber în acest câmp, în absența frecării cu aerul (fig. 3.3.6). Această observație poate fi extinsă pentru orice alt corp ceresc presupus sferic și omogen (fig. 3.3.7).

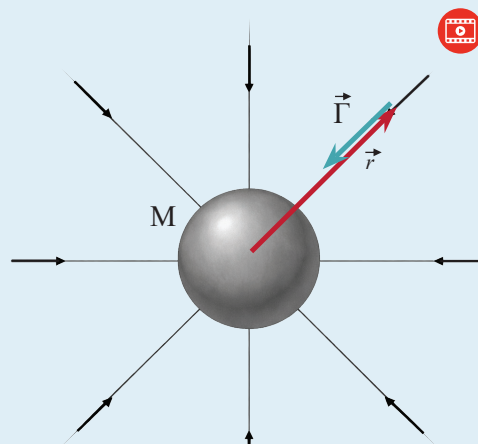


Fig. 3.3.7

Deoarece intensitatea câmpului gravitațional nu depinde de masa corpului de probă, rezultă că, **într-un punct dat al unui câmp gravitațional**, în absența altor interacțiuni, toate corpurile **au aceeași accelerație**, indiferent de masa lor.



Scanează codul QR. Vei putea urmări **experimentul** efectuat de astronauții misiunii Apollo 15 pe Lună, **experiment** care **confirmă** afirmațiile de mai sus. Astronauții au lăsat liber de la aceeași înălțime o pană de vultur și un ciocan. Ambele corpuri au ajuns simultan pe suprafața satelitului! Pe Lună, atmosfera este, practic, inexistentă și nu există frecare cu aerul. Deci, sub acțiunea exclusivă a câmpului gravitațional exercitat de Lună, corpurile au căzut cu aceeași accelerație.

Accelerația gravitațională **variază cu altitudinea** h , măsurată de la suprafața Pământului (fig. 3.3.8).

Cu cât ne îndepărtăm de Pământ, cu atât atracția gravitațională devine mai mică.

De exemplu, pentru o altitudine $h = 30$ km măsurată de la suprafața Pământului, accelerația gravitațională are valoarea ($M_p = 5,97 \cdot 10^{24}$ kg, $R_p = 6370$ km):

$$g_h = \Gamma_h = K \frac{M_p}{(R_p + h)^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{5,97 \cdot 10^{24}}{(6370 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3)^2} \cong 9,71 \text{ m/s}^2$$

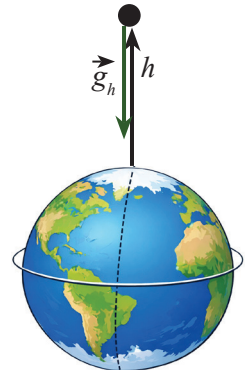


Fig. 3.3.8

Deși valoarea obținută este mai mică decât valoarea accelerației gravitaționale la suprafața Pământului, chiar și la această altitudine, efectul gravitației rămâne foarte puternic.

În imediata vecinătate a suprafeței Pământului, pe regiuni spațiale restrânse (de exemplu, în sala de clasă), se poate considera că **intensitatea câmpului gravitațional are aceeași valoare în toate punctele spațiului, iar liniile de câmp sunt paralele și echidistante** (fig. 3.3.9). Un astfel de câmp se numește **câmp gravitațional uniform**.

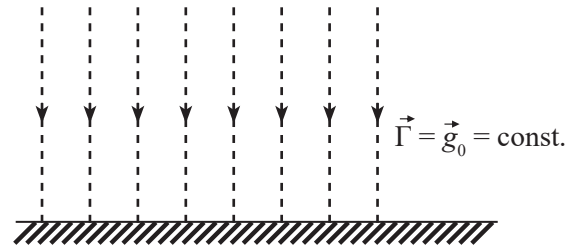


Fig. 3.3.9

Reține

În apropierea suprafeței Pământului (sau a oricărui corp masiv), variația câmpului gravitațional poate fi neglijată. Prin urmare, într-o regiune spațială restrânsă, **câmpul gravitațional poate fi considerat uniform**.

APLICĂ

1. Calculează valoarea accelerației gravitaționale la suprafața planetei Marte. Se cunosc: $K = 6,67 \cdot 10^{-11}$, $M_M = 6,42 \cdot 10^{23}$ kg, $R_M = 3,4 \cdot 10^6$ m.

Rezolvare: $g_M = \Gamma_M = K \frac{M_M}{R_M^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{6,42 \cdot 10^{23}}{(3,4 \cdot 10^6)^2} \cong 3,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, mai mică decât pe Pământ.

2. Două corpuri sferice cerești au raze egale. Calculează raportul maselor celor două corpuri dacă raportul accelerațiilor gravitaționale, la suprafața lor, este 1/3.

Rezolvare:
$$\left. \begin{aligned} g_1 &= K \frac{m_1}{R_1^2} \\ g_2 &= K \frac{m_2}{R_2^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{g_1}{g_2} = \frac{K \frac{m_1}{R_1^2}}{K \frac{m_2}{R_2^2}} \Rightarrow \frac{g_1}{g_2} = \frac{m_1}{R_1^2} \cdot \frac{R_2^2}{m_2}$$

Înlocuind datele din problemă, obținem raportul cerut:

$$\left. \begin{aligned} \frac{g_1}{g_2} &= \frac{m_1}{R_1^2} \cdot \frac{R_2^2}{m_2} \\ R_1 &= R_2 \\ \frac{g_1}{g_2} &= \frac{1}{3} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{3}$$

3. Calculează accelerația gravitațională la o înălțime egală cu o rază terestră deasupra suprafeței Pământului. Exprimă rezultatul în funcție de valoarea accelerației la suprafața Pământului, $g_0 = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Rezolvare:

$$\left. \begin{aligned} g_h &= K \frac{M_P}{(R+h)^2} \\ g_0 &= K \frac{M_P}{R^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{g_h}{g_0} = \frac{K \frac{M_P}{(R+h)^2}}{K \frac{M_P}{R^2}} = \frac{R^2}{(R+h)^2}$$

Cum $h = R$, vom obține:
$$\left. \begin{aligned} \frac{g_h}{g_0} &= \frac{R^2}{(R+h)^2} \\ h &= R \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{g_h}{g_0} = \frac{R^2}{(2R)^2} \Rightarrow g_h = \frac{g_0}{4}.$$

4. Calculează raportul dintre accelerația gravitațională de la suprafața Pământului și cea de la suprafața Lunii. Se cunosc: $M_P = 81M_L$ și $R_P = 3,7R_L$.

Rezolvare:

$$\left. \begin{aligned} g_{0P} &= K \frac{M_P}{R_P^2} \\ g_{0L} &= K \frac{M_L}{R_L^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{g_{0P}}{g_{0L}} = \frac{K \frac{M_P}{R_P^2}}{K \frac{M_L}{R_L^2}} \quad (3.3.4)$$

Înlocuind în relația 3.3.4 $M_P = 81M_L$ și $R_P = 3,7R_L$, obținem:
$$\frac{g_{0P}}{g_{0L}} = \frac{\frac{81M_L}{(3,7)^2 R_L^2}}{\frac{M_L}{R_L^2}} = 5,78 \approx 6$$



Scanează codul QR pentru a privi mersul „săltat” al astronautilor echipajului Apollo 17, Gene Cernan și Jack Schmitt, pe suprafața Lunii, unde intensitatea câmpului gravitațional este de aproape șase ori mai mică decât intensitatea câmpului gravitațional pe suprafața Pământului.

5. Un corp este lansat vertical în sus de la nivelul solului, cu viteza inițială $v_0 = 10 \text{ m/s}$, în câmp gravitațional presupus uniform ($g_0 = 10 \text{ m/s}^2$). Calculează:

- După cât timp de la lansare corpul ajunge la înălțimea maximă.
- Înălțimea maximă atinsă de corp în mișcarea sa.

Rezolvare:

a) Deoarece asupra corpului acționează doar greutatea sa, accelerația corpului este (fig. 3.3.10):

$$\left. \begin{aligned} m \cdot a &= -G \\ G &= m \cdot g \end{aligned} \right\} \Rightarrow m \cdot a = -m \cdot g \Rightarrow a = -g$$

Pentru a afla timpul de urcare, aplicăm legea vitezei pentru corpul care urcă rectiliniu uniform variat:

$$\left. \begin{aligned} v_y &= v_0 + a \cdot t \\ v &= 0 \Rightarrow t = t_u \\ a &= -g \end{aligned} \right\} \Rightarrow 0 = v_0 - g \cdot t_u \Rightarrow t_u = \frac{v_0}{g} = \frac{10}{10} = 1 \text{ s}$$

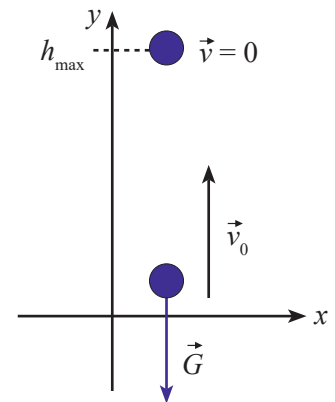


Fig. 3.3.10

b) Alegem originea axei Oy la nivelul solului, deci $y_0 = 0$. Coordonata mobilului la un moment oarecare este:

$$\left. \begin{array}{l} y = y_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \\ y_0 = 0 \\ a = -g \end{array} \right\} \Rightarrow y = y_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \Rightarrow y = v_0 \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2}$$

Înălțimea maximă este coordonata mobilului la momentul $t = t_u$:

$$\left. \begin{array}{l} y = v_0 \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2} \\ t = t_u = \frac{v_0}{g} \\ y = h_{\max} \end{array} \right\} \Rightarrow h_{\max} = v_0 \cdot \frac{v_0}{g} - \frac{g \cdot \left(\frac{v_0}{g}\right)^2}{2} = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{10 \cdot 10}{2 \cdot 10} = 5 \text{ m/s}^2.$$

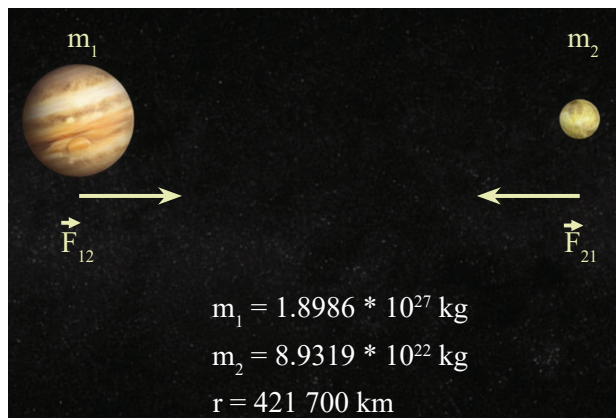
EXERSEAZĂ

1. Care este motivul pentru care alegem masa m_p foarte, foarte mică?
2. Alege și notează în caiet răspunsul corect la următoarea întrebare: Dacă te afli pe Lună, ți se modifică:
 - a. doar greutatea;
 - b. doar masa;
 - c. și greutatea și masa;
 - d. nici greutatea, nici masa.
3. Marchează cu adevărat (A) sau fals (F) următoarele afirmații:
 - a. Forța de atracție dintre două corpuri punctiforme nu depinde de distanța dintre ele.
 - b. Forța de atracție dintre două corpuri punctiforme este direct proporțională cu produsul maselor lor.
 - c. Intensitatea câmpului gravitațional este o mărime fizică adimensională.
4. Considerând că Pământul este o sferă perfectă de rază $R = 6370 \text{ km}$ și cunoscând valoarea accelerației gravitaționale la suprafața planetei $g_0 = 9,8 \text{ ms}^{-2}$, determină masa Pământului.
5. Calculează accelerația gravitațională într-un punct situat deasupra unui pol, la o înălțime egală cu $n = 3$ raze terestre. Se cunoaște: $g_0 = 9,85 \text{ m/s}^2$.
6. Presupunând că te afli pe o planetă cu masa de trei ori mai mare decât a Pământului și cu raza de două ori mai mică, ce greutate vei avea pe această planetă?

PROIECT

a. Folosește datele din imaginea 3.3.11 și valoarea constantei gravitaționale (o găsești în manual; a fost determinată de Cavendish) pentru a calcula forța de interacțiune gravitațională dintre Jupiter și satelitul său Io.

b. Realizează un proiect în care să prezinți pe scurt caracteristicile planetelor din Sistemul Solar (masă, compoziție, perioadă de revoluție, durata unei zile, temperatură, accelerație gravitațională etc.) și sateliții lor naturali.



La plimbare prin Sistemul Solar – test neconvențional

În fig. 3.3.11 sunt prezentate câteva date referitoare la unele dintre sistemele planetă – satelit din Sistemul Solar. Desenul nu este realizat la scară. Distanțele indicate în imagine sunt măsurate între centrele corpurilor cerești. Corpurile cerești se consideră puncte materiale față de distanțele dintre ele.

Consideră $k = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$.

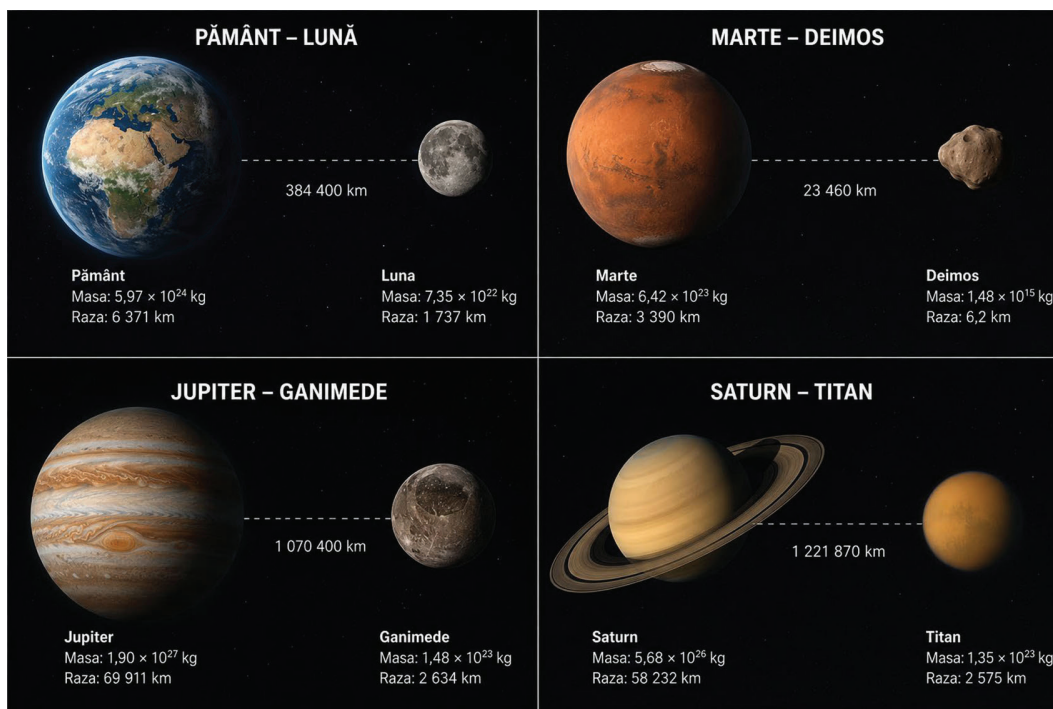


Fig. 3.3.11

1. Presupunând că ai călători cu viteza constantă $v = 3000 \text{ km/h}$, calculează în cât timp ai ajunge de pe Pământ pe Lună. (Nava Orion a misiunii Artemis I, cea mai recentă misiune NASA spre Lună, a avut o viteză medie (aproximativ) $v = 3680 \text{ km/h}$).

2. Deimos este un satelit de formă neregulată.

a. Presupunând totuși că forma sa poate fi aproximată ca fiind o sferă, calculează ce greutate ar avea un elev de masă $m = 70 \text{ kg}$ pe acest satelit.

b. Compară această greutate cu greutatea unei baterii AAA ($m = 21 \text{ g}$) pe Pământ.

3. Jupiter este cea mai mare planetă din Sistemul Solar. Este atât de mare încât, practic, toate celelalte planete ar încăpea în interiorul său. Ganymede este cel mai mare satelit din Sistemul Solar, având raza de aproximativ 1,078 ori mai mare decât raza planetei Mercur. Calculează de câte ori este mai mare forța de atracție gravitațională dintre Jupiter și Ganymede față de forța de atracție dintre Pământ și Lună.

4. Știind că volumul unei sfere este $V = \frac{4}{3} \pi \cdot R^3$:

a. calculează densitatea medie a planetei Saturn;

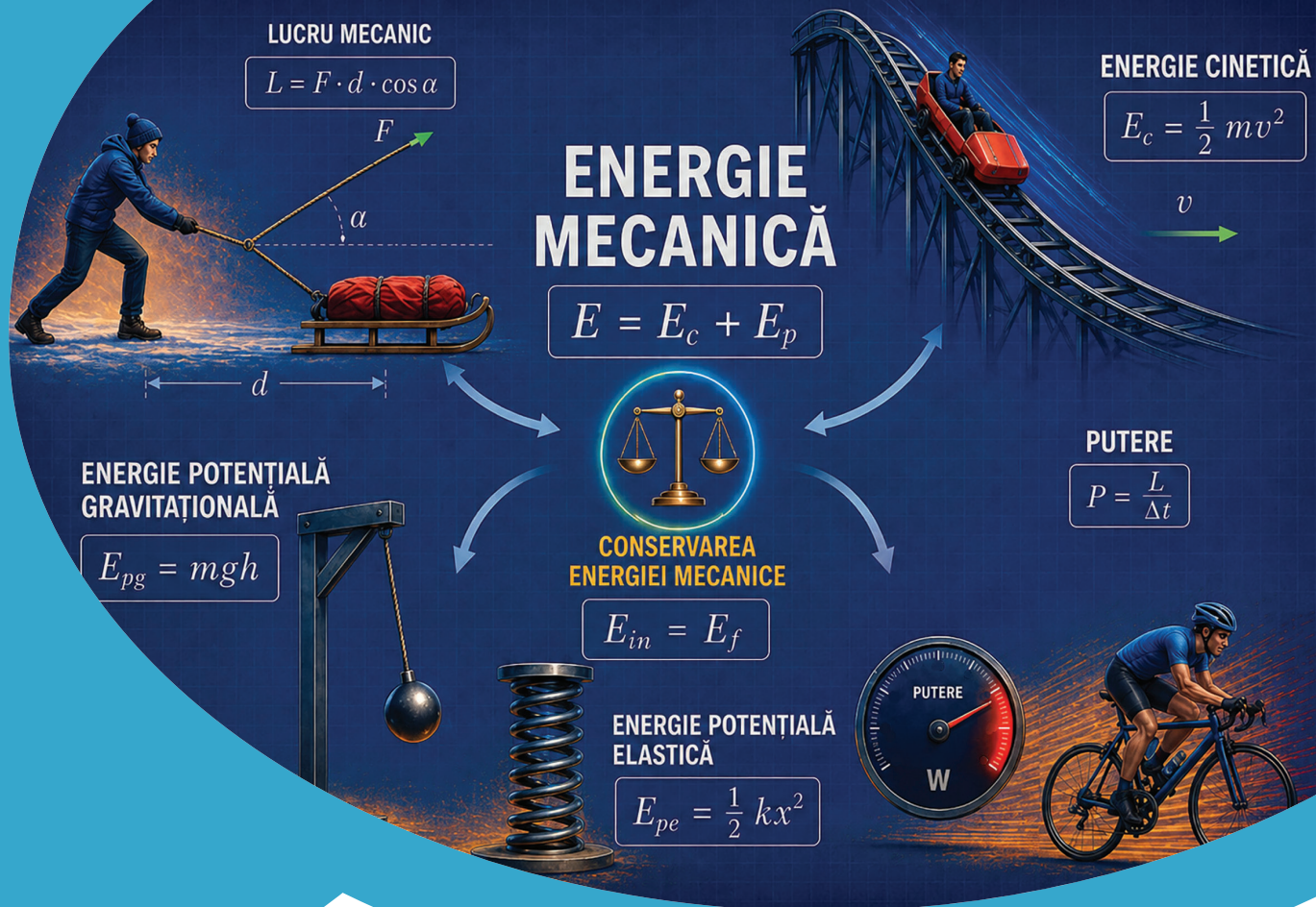
b. ar putea pluti Saturn pe apă?

5. Pe Marte se află Olympus Mons, cel mai înalt vulcan cunoscut din Sistemul Solar. Acest vulcan este de aproximativ trei ori mai înalt decât Muntele Everest. Calculează de câte ori este mai mică intensitatea câmpului gravitațional pe vârful vulcanului față de intensitatea câmpului pe suprafața planetei Marte (caută înălțimea vârfului Everest pe internet, dacă nu-i știi valoarea).

TEST DE EVALUARE

Pentru fiecare exercițiu, răspunsul corect se notează cu 1 punct. Se acordă 1 punct din oficiu.

-  1. Identifică afirmația greșită și notează litera corespunzătoare în caiet.
- a. Atât timp cât asupra unui corp nu acționează nicio forță, el își menține starea de repaus sau de mișcare rectilinie și uniformă.
 - b. Masa unui corp nu se modifică la deplasarea sa de pe Pământ pe Lună.
 - c. Dacă asupra a două corpuri acționează forțe egale, corpul mai greu va avea o accelerație mai mare.
 - d. Coeficientul de frecare la alunecare nu depinde de forța de apăsare normală exercitată de corp pe suprafața pe care se află.
-  2. Alege și notează în caiet răspunsul corect la următoarea întrebare:
Care este relația de ordine dintre accelerațiile gravitaționale pentru două corpuri cerești sferice care au masele egale și razele în raportul $R_1/R_2=1/4$?
- a. $g_1 < g_2$;
 - b. $g_1 > g_2$;
 - c. $g_1 = g_2$;
 - d. nu se poate preciza.
-  3. Scrie în caiet literele afirmațiilor de mai jos și indică pentru fiecare dacă este adevărată (A) sau falsă (F).
- a. Acțiunea și reacțiunea apar simultan.
 - b. Forța de apăsare exercitată de un corp pe o suprafață este totdeauna egală cu greutatea corpului
 - c. Modulul de elasticitate (modulul lui Young) nu depinde de forța deformatoare ce acționează asupra barei elastice.
 - d. Forța de frecare statică nu depinde de forța exterioară ce acționează asupra corpului.
4. Justifică răspunsurile date pentru afirmațiile de la punctele c și d ale exercițiului anterior.
5. Explică de ce acțiunea și reacțiunea nu au resultantă nulă.
6. Presupunând că te afli pe o planetă cu masa egală cu masa Pământului, dar cu raza de 3 ori mai mică decât a Pământului, exprimă greutatea ta pe această planetă în funcție de greutatea de pe Pământ.
- a. $10G$
 - b. $3G$
 - c. $G/3$
 - d. $9G$
-  7. Două cabluri metalice, elastice, realizate din același material și având aceeași secțiune, ridică același corp. Lungimea cablului 2 este jumătate din lungimea cablului 1. Cablul 1 ridică corpul cu accelerația 2 m/s^2 , iar cablul 2 cu 6 m/s^2 ($g = 10 \text{ m/s}^2$). Alungirea cablului 1 este 6 cm. Calculează alungirea cablului 2 și notează pe caiet litera corespunzătoare răspunsului corect.
- a. 3 cm
 - b. 4 cm
 - c. 6 cm
 - d. 8 cm
-  8. Două corpuri de mase $m_1 = 2 \text{ kg}$ și $m_2 = 3 \text{ kg}$, așezate pe un plan orizontal fără frecări, sunt legate între ele printr-un fir ideal orizontal având inserat un resort ușor (de masă neglijabilă) care are constanta elastică $k = 100 \text{ N/m}$. Atunci când se trage de corpul m_2 cu o forță orizontală F , resortul se alungește cu 4 cm. Calculează valoarea forței F .
- a. 3,33 N
 - b. 5 N
 - c. 6,67 N
 - d. 10 N
9. Un corp cu masa de 2 kg coboară cu viteză constantă pe un plan înclinat care formează cu orizontala un unghi de 37° ($\sin 37^\circ = 0,6$). Cu ce forță paralelă cu planul trebuie tras corpul în sus cu accelerația de 2 m/s^2 ($g = 10 \text{ m/s}^2$)?
- a. 12 N
 - b. 24 N
 - c. 28 N
 - d. 32 N



Capitolul 4

Energia mecanică

La finalul acestui capitol, vei fi capabil:

- să determini lucrul mecanic și să aplici teorema variației energiei cinetice pentru a descrie starea de mișcare în situații rectilinii și curbilinii;
- să rezolvi exerciții și probleme utilizând puterea mecanică și randamentul, corelând relațiile dintre lucru mecanic, energie și timp;
- să identifice energiile potențiale gravitațională și elastică, să le calculezi și să aplici legea conservării energiei mecanice pentru a analiza mișcarea corpurilor;
- să observi și să aplici noțiunea de lucru mecanic.

4.1. LUCRUL MECANIC

În studiul fenomenelor fizice, noțiunile de **energie**, **lucru mecanic** și **putere** ocupă un loc esențial. Energia reprezintă capacitatea unui sistem de a efectua lucru mecanic sau de a produce transformări, iar lucrul mecanic exprimă transferul de energie între corpuri sau sisteme sub acțiunea unei forțe. Puterea caracterizează rapiditatea cu care se efectuează lucrul mecanic sau se transformă energia.

În acest capitol vom analiza **teoremele de variație** care stabilesc legătura dintre forțele aplicate și modificarea **energiei mecanice**, precum și **legile de conservare** corespunzătoare. Acestea descriu condițiile în care energia totală a unui sistem se menține constantă (în special pentru sisteme izolate) și stau la baza înțelegerii mișcării și a transformărilor din natură.

Lucrul mecanic efectuat de o forță constantă

Atunci când un halterofil **ține** o halteră deasupra capului acționând asupra ei cu o forță, **forța nu efectuează lucru mecanic L** , dar când **ridică** haltera deasupra capului, acționând cu aceeași forță, **aceasta efectuează L** (fig. 4.1.1).



Fig. 4.1.1

Reține

Dacă sub acțiunea unei forțe, punctul de aplicație al acesteia se deplasează, spunem că forța efectuează un lucru mecanic.

Definiție:

Lucrul mecanic efectuat de o forță constantă, $\vec{F}$, care își deplasează pe distanța $\vec{d}$ punctul de aplicație, este mărimea fizică scalară definită ca produsul scalar dintre vectorii $\vec{F}$ și $\vec{d}$:

$$L = F \cdot d \cdot \cos \alpha \quad (4.1.1)$$

unde α este unghiul format de vectorii $\vec{F}$ și $\vec{d}$, iar $\vec{d}$ este vectorul deplasare al punctului de aplicație al lui $\vec{F}$ (fig. 4.1.2).

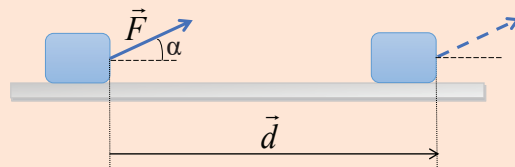


Fig. 4.1.2

Reține

Lucrul mecanic este o mărime fizică scalară. Lucrul mecanic este o **mărime de proces** deoarece depinde de drumul parcurs de corp, dar și de pozițiile inițială și finală.

Ecuția unității de măsură pentru lucrul mecanic în Sistemul Internațional este:

$$[L]_{\text{SI}} = [F] \cdot [d] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J (joule)} \quad (4.1.2)$$

Reține

Un joule este lucrul mecanic efectuat de o forță constantă de 1 N atunci când punctul său de aplicație se deplasează rectiliniu pe distanța de 1 m, pe direcția și în sensul forței.



James Prescott Joule,
1818-1889

În funcție de valorile unghiului α , se disting următoarele situații particulare:

1) $\alpha = 0^\circ \Rightarrow L = F \cdot d$, deplasarea se face pe direcția și în sensul forței (fig. 4.1.3).

Lucrul mecanic al unei forțe constante care acționează în sensul deplasării este totdeauna pozitiv ($L > 0$). Spunem că forța efectuează un **lucru mecanic motor**.

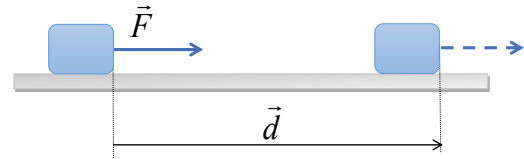


Fig. 4.1.3

2) $\alpha = \frac{\pi}{2} \Rightarrow L = 0$. În fig. 4.1.4, deplasarea se face perpendicular

pe direcția forței. În această situație, forța **nu** efectuează lucru mecanic.

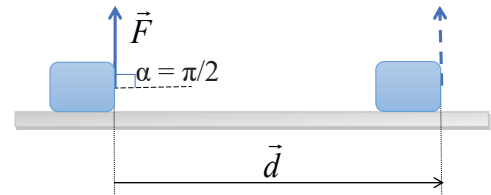


Fig. 4.1.4

3) $\alpha = \pi \Rightarrow L = -F \cdot d$, deplasarea se face pe direcția forței, în sens opus acesteia (fig. 4.1.5). De exemplu, forțele rezistente (frecare) sunt orientate în sens opus deplasării.

Lucrul mecanic al unei forțe constante care acționează în sens opus deplasării (fig. 4.1.5) este totdeauna negativ ($L < 0$). Spunem că forța efectuează un **lucru mecanic rezistent**.

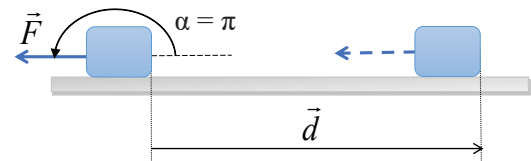


Fig. 4.1.5

Considerăm un corp asupra căruia acționează simultan mai multe forțe concurente, iar rezultanta forțelor este:

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n \quad (4.1.3)$$

Lucrul mecanic al rezultantei unor forțe concurente care acționează simultan asupra unui corp este egal cu suma lucrurilor mecanice ale forțelor concurente.

$$L = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad (4.1.4)$$

Interpretarea geometrică a lucrului mecanic

Lucrul mecanic al unei forțe constante este numeric egal cu aria suprafeței delimitate de graficul forței $F(x)$ și axa Ox , cuprinsă între coordonatele x_1 și x_2 (fig. 4.1.6).

Interpretarea geometrică a lucrului mecanic

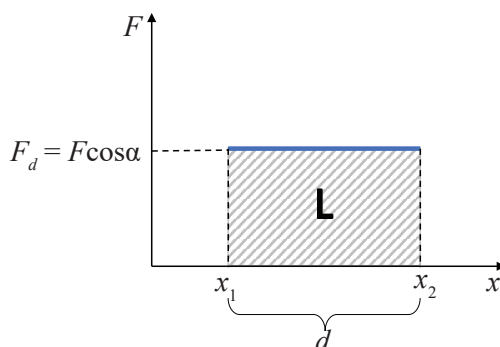


Fig. 4.1.6

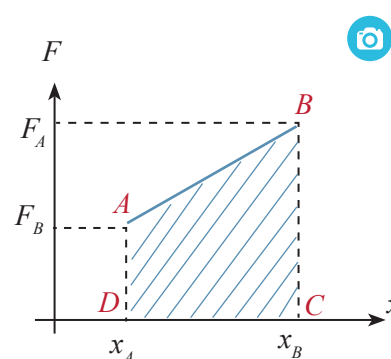


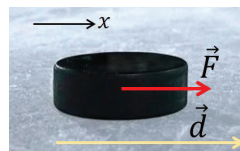
Fig. 4.1.7

Observație: În cazul unei forțe variabile, lucrul mecanic total efectuat este reprezentat de aria suprafeței cuprinse sub grafic și, generalizând, coordonatele de pe axa Ox , x_A și x_B .

De exemplu, în fig. 4.1.7, lucrul mecanic efectuat de forța $\vec{F}$ este numeric egal cu aria trapezului $ABCD$.

APLICĂ

1. Un puc de hochei cu masa de 105 g alunecă pe gheață. Un jucător exercită asupra lui o forță constantă $F = 4,50 \text{ N}$, pe o distanță $d = 0,150 \text{ m}$.
Ce lucru mecanic efectuează jucătorul asupra pucului?

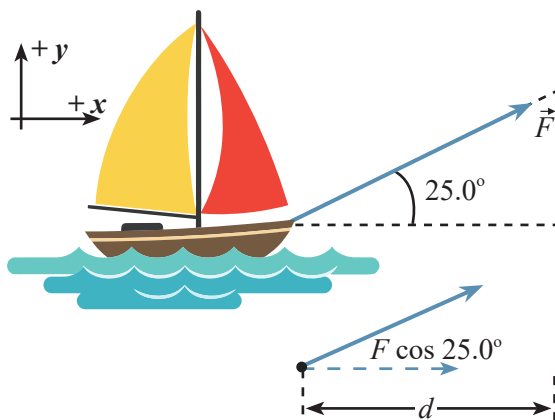


Rezolvare:

Aplicăm formula lucrului mecanic:

$$L = F \cdot d \cdot \cos \alpha, \text{ unde } \alpha = 0^\circ, \text{ deci } L = F \cdot d \Rightarrow L = 4,50 \text{ N} \cdot 0,150 \text{ m} \cdot 1 = 0,675 \text{ J}$$

2. Un marinar trage o barcă pe o distanță de 30,0 m, de-a lungul unui ponton, folosind o funie care formează un unghi de 25° cu orizontala. Ce lucru mecanic efectuează marinarul asupra bărcii dacă aplică o forță de 255 N asupra funiei?



Rezolvare:

Aplicăm formula pentru lucrul mecanic atunci când există un unghi între forță și direcția orizontală a deplasării și înlocuim datele numerice.

$$L = F \cdot d \cdot \cos \alpha \Rightarrow L = 255 \text{ N} \cdot 30,0 \text{ m} \cdot \cos 25^\circ = 6,93 \cdot 10^3 \text{ J}$$

3. Un șofer pornește cu mașina de la un semafor și se deplasează pe o porțiune dreaptă de drum, pe distanța de 100 m, până la următorul semafor. Forța de tracțiune exercitată de motor asupra mașinii variază în funcție de deplasare astfel:

- pe prima porțiune de drum, între 0 și 40 m, șoferul accelerează, iar forța de tracțiune crește liniar de la 0 la 3000 N;
 - între 40 m și 70 m, șoferul menține accelerația constantă, iar forța rămâne constantă la 3000 N;
 - între 70 m și 100 m, șoferul reduce treptat accelerația, iar forța scade liniar de la 3000 N la 0.
- Calculează lucrul mecanic efectuat de forța de tracțiune a motorului pe întreaga distanță parcursă.

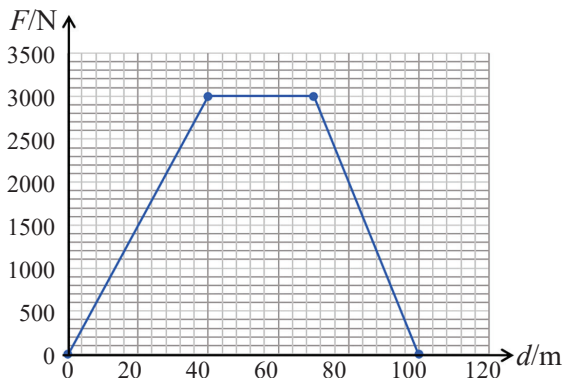
Rezolvare:

Pentru a putea afla lucrul mecanic efectuat de forța de tracțiune, construim graficul variației forței în funcție de distanță.

Lucrul mecanic este numeric egal cu aria figurii geometrice cuprinse între grafic și axa orizontală.

$$A = \frac{(B+b) \cdot h}{2} \Rightarrow$$

$$L = \frac{(100+30) \cdot 3000}{2} = 195000 \text{ J} = 195 \text{ kJ}$$

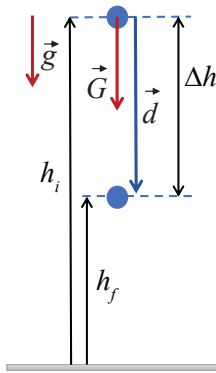


4.2. LUCRUL MECANIC EFECTUAT DE DIFERITE FORȚE

Lucrul mecanic efectuat de greutate în câmp gravitațional uniform

Considerăm un punct material m aflat în vecinătatea suprafeței Pământului, în care câmpul gravitațional poate fi considerat uniform, astfel încât accelerația gravitațională și greutatea sunt constante. Vom analiza lucrul mecanic efectuat de forța de greutate în cazul căderii pe verticală, neglijând rezistența din partea aerului, apoi la alunecarea pe un plan înclinat.

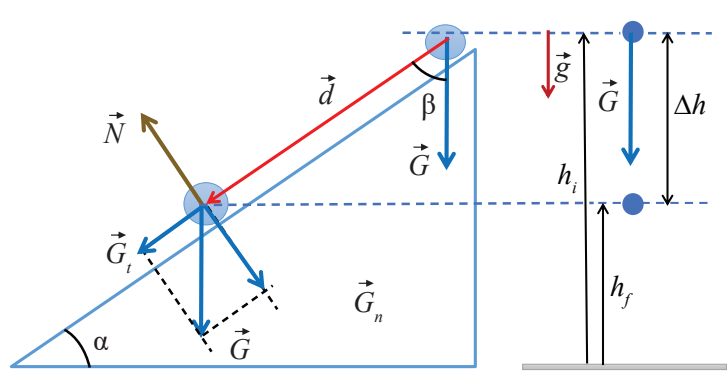
Pentru a calcula lucrul mecanic al greutății, vom stabili: sensul axei Oy în sus; toate înălțimile se măsoară față de suprafața Pământului; $\Delta h = h_f - h_i$.



Căderea liberă – forța de greutate este orientată în jos, pe direcția și în sensul deplasării: $L = mg \cdot d \cdot \cos 0^\circ = -mg \cdot \Delta h$

Deoarece $\Delta h = h_f - h_i < 0 \Rightarrow L > 0$.

Forța de greutate joacă rol de forță motoare, iar lucrul mecanic este motor.



Coborâre pe verticală pe distanța Δh , în absența frecării: $L = mg \cdot d \cdot \cos \beta = mg \cdot (h_i - h_f) = -mg \Delta h$, unde $d \cdot \cos \beta$ reprezintă diferența de nivel, Δh .

Concluzii:

1. Lucrul mecanic al greutății corpului este independent de drumul parcurs de corp și de legea de mișcare a acestuia (depinde numai de pozițiile inițială și finală).

2. Lucrul mecanic efectuat de forța de greutate este egal cu produsul dintre modulul greutății și diferența de nivel între pozițiile inițială și finală ale punctului material:

$$L_G = mg \cdot (h_i - h_f) = -mg \Delta h \quad (4.2.1)$$

unde h_i și h_f reprezintă înălțimile pozițiilor inițială și finală ale punctului material față de nivelul de referință ales convenabil ca fiind $h = 0$. Pentru un corp de masă m care cade de la înălțimea h , lucrul mecanic efectuat de forța de greutate se poate scrie: $L_G = G \cdot h = mgh$.

3. Lucrul mecanic al forței de greutate este independent de drumul parcurs de corp și/sau de legea de mișcare a acestuia.

Definiție:

Forța care acționează asupra unui punct material și efectuează un lucru mecanic independent de forma drumului parcurs și de legea de mișcare, depinzând doar de pozițiile punctelor extreme ale traiectoriei, se numește **forță conservativă**.

Exemple: forța de atracție gravitațională, forța elastică, forța electrostatică etc.

Lucrul mecanic efectuat de forța de frecare la alunecare

Forța de frecare este o forță de contact paralelă cu suprafața și opusă mișcării sau tendinței de mișcare (fig. 4.2.1).

Lucrul mecanic al forței de frecare se poate scrie utilizând relația (4.1.1):

$$L_{F_f} = F_f \cdot d \cdot \cos 180^\circ = -F_f \cdot d \quad (4.2.2)$$

unde $\cos 180^\circ = -1$.

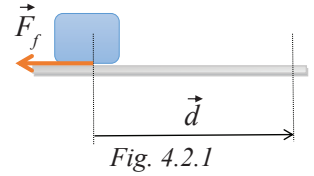


Fig. 4.2.1

Observații:

- Lucrul mecanic al forței de frecare este un lucru mecanic rezistent, $L < 0$.
- Lucrul mecanic al forței de frecare depinde de forma drumului parcurs.

Reține

Forțele neconservative sunt acele forțe mecanice pentru care lucrul mecanic depinde și de forma drumului parcurs, nu doar de pozițiile inițială și finală.

Exemple de forțe neconservative: forța de frânare aplicată extern, forța de frecare, forțele de rezistență a aerului/appei (forțe de amortizare).

APLICĂ

1. O ladă cu masa de $m = 20$ kg este trasă pe o podea orizontală pe distanța de $d = 8$ m. Coeficientul de frecare la alunecare dintre ladă și podea este $\mu = 0,25$. Se consideră accelerația gravitațională $g = 10$ m/s².

- Calculează lucrul mecanic al forței de frecare pe distanța parcursă.
- Explică de ce lucrul mecanic al forței de frecare este negativ.

Rezolvare:

a) Pe o suprafață orizontală, reacțiunea normală este egală cu greutatea corpului: $N = G = mg$, iar din calculele numerice rezultă $N = 20 \cdot 10$ N = 200 N.

Forța de frecare se calculează din relația: $F_f = \mu \cdot N$, de unde $F_f = 50$ N.

Lucrul mecanic al unei forțe constante este: $L = F \cdot d \cdot \cos \alpha$. Forța de frecare fiind orientată în sens opus deplasării ($\cos 180^\circ = -1$), obținem: $L_f = -F_f \cdot d$, de unde $L_f = -400$ J.

b) Lucrul mecanic al forței de frecare este negativ deoarece forța de frecare are sens opus deplasării corpului.

2. Un elev comprimă un arc aflat într-un dispozitiv de lansare pentru o mașinuță de jucărie. Constanta elastică a arcului este $k = 200$ N/m, iar comprimarea acestuia este $x = 0,15$ m față de poziția sa nedeformată. Calculează lucrul mecanic efectuat de forța elastică asupra mașinuței atunci când arcul revine la poziția inițială. Explică de ce forța elastică nu are aceeași valoare pe toată durata mișcării.

Rezolvare:

Din legea lui Hooke știm că forța elastică este: $F_e = kx$.

Forța elastică maximă apare când arcul este comprimat la maximum: $F_{\max} = kx$.

Când arcul revine la poziția nedeformat, forța elastică scade de la 30 N la 0 N. $F_{\max} = 200 \times 0,15$ N = 30 N. Deoarece forța elastică variază liniar cu deformarea, putem scrie forța elastică medie:

$$F_{\text{medie}} = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2}, \text{ de unde } F_{\text{medie}} = \frac{30 + 0}{2} \text{ N} = 15 \text{ N}.$$



Din formula de definiție a lucrului mecanic rezultă: $L = F_{\text{medie}} \cdot x$.

Din calculele numerice, obținem: $L = 15 \cdot 0,15$ J = 2,25 J.

Forța elastică nu este constantă, deoarece depinde de deformarea arcului. La comprimarea maximă, deformarea este cea mai mare, deci și forța elastică este maximă. Pe măsură ce arcul revine la forma inițială, deformarea scade, iar forța elastică scade treptat până la zero.

4.3. PUTEREA MECANICĂ. RANDAMENTUL

Definiția lucrului mecanic nu face nicio referire la intervalul de timp în care acesta se efectuează. Dacă ridicăm o halteră cu greutatea de 100 N pe o distanță verticală de 1,0 m, cu viteză constantă, lucrul mecanic efectuat este $L = 100 \text{ J}$ indiferent dacă ridicarea durează 1 s, 1 oră sau 1 an. În multe situații însă, este important să știm cât de repede se efectuează lucrul mecanic. Această mărime se numește putere.

Definiție:

Puterea medie în intervalul de timp Δt este mărimea fizică scalară P definită prin relația:

$$P = \frac{L}{\Delta t} \quad (4.3.1)$$

unde L este lucrul mecanic efectuat în intervalul de timp Δt .

Unitatea de măsură pentru putere este:

$$[P]_{\text{SI}} = \frac{[L]_{\text{SI}}}{[\Delta t]_{\text{SI}}} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W (watt)} \quad (4.3.2)$$



James Watt,
1736-1819

Reține

Un **watt** este puterea mecanică produsă de o forță care efectuează un lucru mecanic de 1 joule în timp de o secundă.

O unitate de măsură folosită mai ales în domeniul auto este numită *cal-putere*, cu simbolul CP (în limba engleză *horse power* – HP):

$$1 \text{ CP}^1 \cong 736 \text{ W}$$

În practică se utilizează o unitate suplimentară de măsură a lucrului mecanic, numită *kilowatt-oră* (kWh), care poate fi transformată în jouli:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3600000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

Randamentul ridicării unui corp pe planul înclinat

Conform Dicționarului explicativ al limbii române, în limbajul comun, randamentul (*eficiență, profit, beneficiu*) reprezintă raportul dintre efectul obținut și efortul depus într-o activitate. Același înțeles al cuvântului randament se păstrează și în fizică, adaptat însă la descrierea eficienței transferului de energie între sisteme fizice.

Definiție:

Randamentul mecanic se definește ca raportul dintre lucrul mecanic util și lucrul mecanic consumat.

$$\eta = \frac{L_u}{L_c} \quad (4.3.3)$$

unde **lucrul mecanic consumat**, L_c , este lucrul mecanic efectuat de forța motoare (de exemplu, forța de tracțiune) asupra mecanismului la deplasarea punctului de aplicație; **lucrul mecanic util**, L_u , este lucrul mecanic care produce efectul urmărit, de regulă lucrul mecanic efectuat împotriva forței rezistente.

Observații:

- Relația (4.3.3) se mai poate scrie $\eta = \frac{P_u}{P_c}$ ținând cont de definiția puterii mecanice.
- Randamentul mecanic este o mărime scalară adimensională (nu are unitate de măsură) și se poate exprima în procente.
- În condiții reale, o parte din L_c se pierde prin frecări și alte efecte nedorite de utilizator, deci: $L_u \leq L_c \Rightarrow \eta \leq 1$. În absența frecărilor, $\eta = 1$.

¹ CP reprezintă puterea unei forțe care ridică uniform un corp cu masa de 75 kg la înălțimea de 1 m în timp de 1 s.

În cele ce urmează, vom aplica relația (4.3.3) pentru a calcula **randamentul ridicării unui corp pe planul înclinat**.

Considerăm un punct material de masă m care urcă uniform pe un plan înclinat de unghi α , sub acțiunea unei forțe paralele cu planul, $\vec{F}$, ca în fig. 4.3.1. Având în vedere că mișcarea pe planul înclinat este uniformă, putem afla expresia forței F din relațiile:

$$\begin{cases} O_x: F = G_t + F_f \\ O_y: N = G_n \end{cases} \Rightarrow F = mg \cdot (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

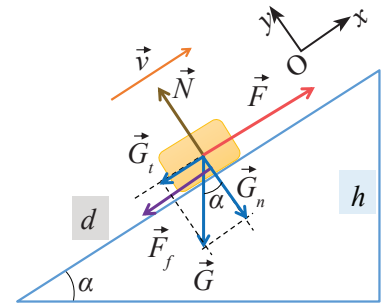


Fig. 4.3.1

Lucrul mecanic efectuat de forța $\vec{F}$ este **consumat** pentru ridicarea corpului în câmp gravitațional terestru la înălțimea h și pentru a învinge forța de frecare pe lungimea planului înclinat, d .

$$L_c = F \cdot d = mg \cdot d \cdot (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \quad (4.3.4)$$

Lucrul mecanic util este efectuat pentru ridicarea corpului în câmp gravitațional pe distanța $h = d \cdot \sin \alpha$:

$$|L_u| = G \cdot h = mgh = mgd \sin \alpha \quad (4.3.5)$$

Înlocuind (4.3.4) și (4.3.5) în relația (4.3.3), obținem:

$$\eta = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha + \mu \cos \alpha} = \frac{1}{1 + \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha} \quad (4.3.6)$$

Din relația (4.3.6) se poate observa că, în prezența frecării, randamentul este totdeauna subunitar.

EXPERIMENTEAZĂ: Determinarea randamentului ridicării uniforme a unui corp pe planul înclinat

Materiale necesare: tribometru, corp paralelipedic din lemn cu cârlig cu masă cunoscută, dinamometru, calculator.

Randamentul unui plan înclinat este definit prin relația (4.3.3).

Pentru planul înclinat din figura 4.3.2, L_u este lucrul mecanic efectuat de forța de greutate a corpului care este ridicat pe plan, iar L_c este lucrul mecanic al forței de tracțiune. În aceste condiții, randamentul planului înclinat este:

$$\eta = \frac{Mgh}{F\ell} = \frac{Mg \sin \alpha}{F} \quad (4.3.7)$$

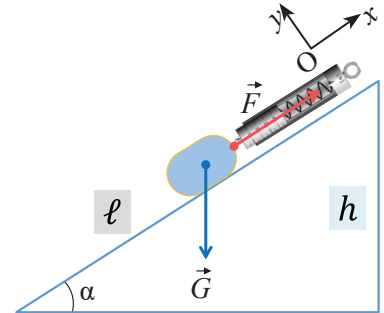


Fig. 4.3.2

Mod de lucru:

- Fixați tribometrul în poziție înclinată sub un anumit unghi.
- Așezați corpul paralelipedic pe planul înclinat, fixați dinamometrul de cârlig și deplasați uniform corpul de-a lungul planului de la bază în sus.
- Înregistrați în tabelul de mai jos valorile masei corpului M , ale forței de tracțiune F și ale unghiului α .
- Repetați etapele de mai sus pentru diferite înclinări ale planului înclinat.
- Înregistrați datele obținute, calculați randamentul planului, efectuați calculul incertitudinilor și formulați concluzii. Identificați sursele de erori.

Tabel de date

Nr. crt.	M/kg	F/N	α	$\sin \alpha$	μ	$\bar{\mu}$	$\Delta \mu = \bar{\mu} - \mu $	$\overline{\Delta \mu}$

APLICĂ

1. Motorul unei bărci rapide dezvoltă o forță de tracțiune de 8000 N. Ce putere are motorul când barca atinge viteza de 25 m/s?

Rezolvare:

Se aplică relația $P = \frac{L}{\Delta t}$, unde $L = F \cdot d = F \cdot v \cdot \Delta t$, prin urmare: $P = F \cdot v$.

$$P = 8000 \text{ N} \cdot 25 \text{ m/s} = 200000 \text{ W} = 200 \text{ kW}.$$

2. Un elev cu masa de 40 kg urcă rectiliniu uniform pe o scară verticală cu înălțimea de 5 m în 8 s. Calculează puterea mecanică dezvoltată de elev.

Rezolvare:

Forța de tracțiune efectuată de copil este egală cu forța sa de greutate, iar distanța pe care se deplasează punctul de aplicație al forței de greutate este h .

$$P = \frac{L}{\Delta t}, \text{ unde } L = G \cdot h = mgh$$

$$L = 40 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 5 \text{ m} = 1962 \text{ J}$$

$$P = \frac{L}{\Delta t}; P = \frac{1962 \text{ J}}{8 \text{ s}} = 245,25 \text{ W}.$$

3. Un lift ridică uniform 4 persoane, de la parter până la etajul 8. Masa totală a persoanelor este de 280 kg, iar înălțimea dintre două etaje este de 3 m. Liftul ajunge sus în 20 s. Randamentul motorului liftului este de 75%. Se consideră: $g = 10 \text{ m/s}^2$. Aflați:

- a) lucrul mecanic util efectuat pentru ridicarea persoanelor;
- b) puterea utilă a liftului;
- c) puterea consumată de motor.

Rezolvare:

a) Calculăm înălțimea totală: $h = n \cdot h_{\text{etaj}} \Rightarrow h = 24 \text{ m}$.

Calculăm lucrul mecanic util – lucrul mecanic al forței de tracțiune, unde forța de tracțiune este egală cu forța de greutate: $L = G \cdot h = m \cdot g \cdot h$, iar din calculele numerice rezultă: $L = 67\,200 \text{ J}$.

b) Puterea utilă este: $P_u = \frac{L_u}{\Delta t}$, de unde: $P_u = \frac{67200}{20} \text{ W} = 3360 \text{ W}$.

c) Randamentul mecanic este: $\eta = \frac{P_u}{P_c}$, de unde puterea consumată de motor este: $P_c = \frac{P_u}{\eta}$. Din calculele

numerice rezultă: $P_c = \frac{3360}{0,75} \text{ W} = 4480 \text{ W}$.



Observație: Puterea consumată este mai mare decât puterea utilă deoarece o parte din energie se pierde prin frecare, încălzirea motorului, cabluri și alte mecanisme ale liftului. Din acest motiv, randamentul este mai mic decât 100%.

4.4. ENERGIA CINETICĂ. TEOREMA VARIAȚIEI ENERGIEI CINETICE

Definiție:

Energia cinetică este energia pe care o are un corp datorită mișcării sale, în raport cu un sistem de referință inerțial dat. Expresia matematică a **energiei cinetice** este:

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \quad (4.4.1)$$

Unitatea de măsură pentru energia cinetică în Sistemul Internațional este *joule* (J).

Observații:

1. Energia cinetică a unui corp de masă dată, aflat în mișcare, este o mărime fizică scalară, la fel ca lucrul mecanic, și depinde de mărimea vitezei corpului, nu de direcție și sens. Din acest motiv, **energia cinetică este o mărime care caracterizează starea mecanică a corpului.**
2. Un corp aflat în repaus nu are energie cinetică ($E_c = 0$).
3. Energia cinetică a unui corp este totdeauna pozitivă și depinde de sistemul de referință ales.

Imaginați-vă un șofer conducând o mașină. În timpul deplasării, mașina are viteză, prin urmare, are energie cinetică. Când frânează, șoseaua exercită asupra roților o forță de frecare orientată în sens opus sensului de mișcare. Frânele acționează asupra mașinii și îi reduc energia cinetică. În mod similar, atunci când accelerează, motorul (acționând prin roți) exercită o forță orientată pe direcția și în sensul mișcării. Forța produsă de motor efectuează lucru mecanic asupra mașinii și îi crește energia cinetică.

Enunț:

Variația energiei cinetice a unui punct material care se deplasează în raport cu un sistem de referință inerțial, între stările inițială și finală, este egală cu lucrul mecanic al forței rezultante care acționează asupra punctului material în timpul acestei variații.

$$L_{if} = \Delta E_c \quad (4.4.2)$$

Relația (4.4.2) este numită **teorema de variație a energiei cinetice**, iar ea se aplică, în general, chiar și pentru forțe care variază ca direcție și în modul.

Observații:

1. În relația (4.4.2), variația energiei cinetice $\Delta E_c = E_{cf} - E_{ci}$ reprezintă diferența dintre energia cinetică a corpului în starea finală, E_{cf} , și energia cinetică în starea inițială, E_{ci} .
2. Din relația (4.4.2) se observă că, atunci când asupra unui corp acționează o forță motoare ($L > 0$), energia cinetică a corpului crește, iar când acționează o forță rezistentă ($L < 0$), energia cinetică scade.

Reține

Lucrul mecanic efectuat de o forță determină o variație de energie. **Energia** este o **mărime fizică de stare**.

Lucrul mecanic este o **mărime fizică de proces** deoarece depinde de drumul parcurs.

EXPERIMENTEAZĂ: Verificarea teoremei variației energiei cinetice pentru un sistem de corpuri

Scopul lucrării: verificarea teoremei variației energiei cinetice pentru un sistem format din două corpuri legate printr-un fir ideal și determinarea dependenței dintre deplasările acestora.

Materiale necesare: masă orizontală, scripete, fir inextensibil, două corpuri cu mase diferite cunoscute, hârtie milimetrică, riglă.

Noțiuni teoretice:

Pentru sistemul format din două corpuri m_1 și m_2 , variația energiei cinetice este egală cu suma lucrurilor mecanice ale forțelor exterioare:

$$\Delta E_c = L_G + L_f \Rightarrow \frac{m_1 v^2}{2} + \frac{m_2 v^2}{2} = m_2 g h - \mu m_1 g s$$

Din mișcarea corpului m_1 pe planul orizontal:

$$\frac{m_1 v^2}{2} = \mu m_1 g s \Rightarrow \frac{v^2}{2} = \mu g s.$$

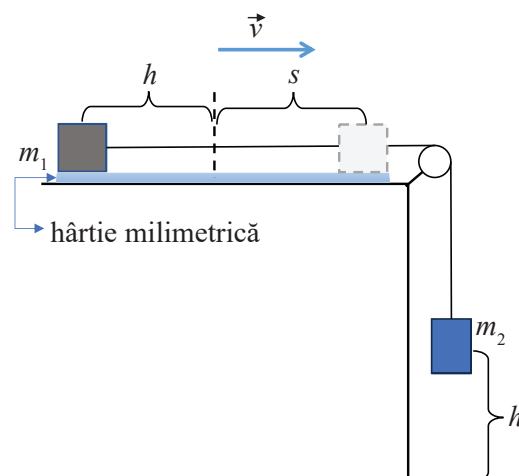
Rezultă: $(m_1 + m_2) \cdot \mu g s = g h \cdot (m_2 - m_1)$.

De unde:

$$\frac{s}{h} = \frac{m_2 - m_1}{(m_1 + m_2) \cdot \mu} = \text{constant}$$

Mod de lucru:

1. Se fixează hârtia milimetrică pe masa orizontală.
2. Se așază corpul m_1 pe masă și corpul m_2 suspendat. Se notează pe hârtia milimetrică poziția inițială a corpului m_1 .
3. Se trage ușor corpul m_2 în jos până atinge solul. Corpul m_1 se va deplasa pe aceeași distanță, h . Se măsoară pe hârtia milimetrică deplasarea, h .
4. Se pune din nou corpul m_1 în poziția inițială și se lasă sistemul liber. Se măsoară deplasarea s a corpului m_1 .
5. Se repetă măsurătorile pentru mai multe valori ale lui h .
6. Se reprezintă grafic $s = f(t)$.



Tabel de date

Nr. det.	h/m	s/m

Concluzii: Graficul obținut este liniar, ceea ce confirmă relația teoretică dedusă și verifică teorema variației energiei cinetice pentru un sistem de corpuri.

Surse de erori: frecări în scripete, fir neideal (elasticitate), erori de măsurare, oscilații ale corpului suspendat.

APLICĂ

1. Un biciclist pornește din starea de repaus și după $d = 30$ m atinge viteza $v = 10,8$ km/h. Greutatea biciclistului și a bicicletei fiind egală cu 784 N, să se afle forța dezvoltată de biciclist, în absența frecărilor. Se va considera $g \cong 10$ m/s².

Rezolvare:

Variația energiei cinetice a biciclistului este: $\Delta E_c = E_{cf} - E_{ci} = L_p$, unde $L_t = F_{bic} \cdot d$.

$$\frac{mv^2}{2} - 0 = F_{bic} \cdot d \Rightarrow F_{bic} = \frac{mv^2}{2d}.$$

Din calculele numerice rezultă: $F_{bic} = 11,76$ N.

4.5. ENERGIA POTENȚIALĂ GRAVITAȚIONALĂ ȘI ENERGIA POTENȚIALĂ ELASTICĂ

Energia potențială a unui sistem fizic este determinată de forțele de interacțiune dintre părțile componente ale sistemului. Ea depinde de poziția pe care o au componentele sistemului unele față de altele (forma sistemului).

Sub acțiunea unor forțe, **corpurile se deformează** (de exemplu, un arc, o prăjină). Spunem că acele corpuri acumulează **energie potențială elastică** (de deformare).



Când trenulețul urcă spre un loc cu înălțime mare de pe traseul unui roller-coaster, spunem că **acumulează energie potențială gravitațională**. Când trenulețul coboară, spunem că își transformă energia potențială gravitațională în energie cinetică.

4.5.1. Energia potențială gravitațională

Definiție:

Energia care depinde de poziția corpului în câmp gravitațional și care este datorată acțiunii acestuia asupra corpului se numește **energie potențială gravitațională** și este o **mărimă fizică de stare**.

$$E_{pg} = mgh \quad (4.5.3)$$

unde m – masa corpului, g – accelerația gravitațională, h – înălțimea la care se află corpul față de nivelul corespunzător energiei potențiale nule.

Energia potențială gravitațională caracterizează starea mecanică a sistemului corp-Pământ. Din cauza comodității de exprimare, se folosește adesea expresia incompletă „energia potențială gravitațională a corpului”.

Convenție: Configurația căreia îi corespunde o energie potențială nulă este aleasă arbitrar. În majoritatea situațiilor, se stabilește $E_{pg} = 0$ pentru înălțimea cea mai joasă la care se află corpul față de Pământ.

4.5.2. Energia potențială elastică

Definiție:

Energia care depinde de poziția corpului în câmpul forțelor elastice, prin urmare, de deformarea resortului, și este datorată interacțiunii dintre corp și câmpul forțelor elastice, se numește **energie potențială elastică** și este o **mărimă fizică de stare**.

$$E_{pe} = \frac{kx^2}{2} \quad (4.5.4)$$

unde k – constanta elastică a resortului, x – deformarea resortului.

Convenție: Configurația căreia îi corespunde o energie potențială nulă corespunde stării în care resortul este nedeformat: $x = 0 \Rightarrow E_p(0) = 0$.

APLICĂ

1. Un corp cu masa de 250 g este aruncat vertical în sus, de la suprafața Pământului și, în absența frecărilor, ajunge la înălțimea maximă de 15 m. Aflați energia potențială gravitațională a sistemului corp-Pământ la înălțimea maximă.

Rezolvare:

Stabilim nivelul de energie potențială nulă la suprafața Pământului. În aceste condiții, energia potențială gravitațională este $E_{pg} = mgh$, iar din calculele numerice rezultă:

$$E_{pg} = 0,25 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 15 \text{ m} = 37,5 \text{ J}.$$

2. Energia potențială înmagazinată într-un resort comprimat este de 900 J. Calculați constanta elastică a resortului dacă acesta a fost comprimat cu 30 cm.

Rezolvare:

Energia potențială elastică este: $E_{pe} = \frac{kx^2}{2}$, de unde rezultă: $k = \frac{2E_{pe}}{x^2}$.

Din calculele numerice, după efectuarea transformărilor de unități de măsură în SI, obținem: $k = 20 \text{ kN/m}$

3. De un resort elastic, fixat la capătul superior, este suspendat un corp. Corpul oscilează pe verticală, de o parte și de alta a poziției de echilibru. Ce se poate spune despre energia mecanică a sistemului resort-corp în timpul oscilației? Explicați transformările de energie care au loc.

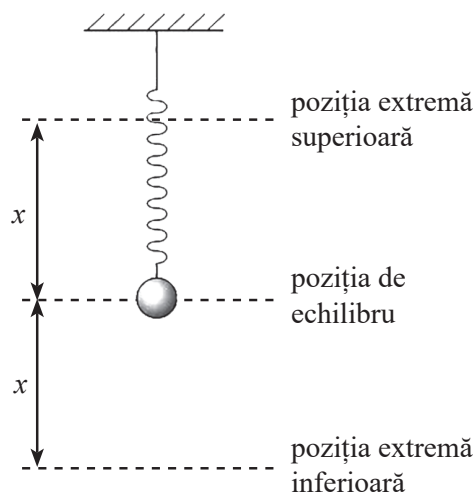
Rezolvare:

În timpul oscilației, sistemul format din **resort și corp** are energie mecanică alcătuită din: **energie cinetică**, deoarece corpul se mișcă; **energie potențială elastică**, deoarece resortul este deformat; **energie potențială gravitațională**, deoarece corpul se află la o anumită înălțime față de Pământ.

Când corpul se află în poziția extremă superioară sau în poziția extremă inferioară, el se oprește pentru un moment înainte de a-și schimba sensul mișcării. În aceste poziții, viteza corpului este zero, deci energia cinetică este nulă.

Când corpul trece prin poziția de echilibru, viteza lui este maximă. De aceea, în poziția de echilibru, energia cinetică este maximă.

În timpul oscilației, energia se transformă continuu: energia potențială se transformă în energie cinetică, iar apoi energia cinetică se transformă din nou în energie potențială.



4. Un copil apasă un arc dintr-o jucărie și îl comprimă cu câțiva centimetri. Când copilul dă drumul arcului, acesta împinge o bilă mică, iar bila se pune în mișcare. Explică ce fel de energie are arcul atunci când este comprimat și de ce bila începe să se miște după ce arcul este eliberat.

Rezolvare:

Când arcul este comprimat, el are **energie potențială elastică**, deoarece este deformat față de forma lui normală. Această energie este „stocată” în arc cât timp el rămâne comprimat.

Când copilul eliberează arcul, acesta tinde să revină la forma inițială. În acel moment, energia potențială elastică se transformă în **energie cinetică**, adică energie de mișcare, iar bila începe să se deplaseze.

Cu cât arcul este comprimat mai mult, cu atât energia potențială elastică este mai mare, iar bila poate fi împinsă mai puternic.

4.6. ENERGIA MECANICĂ. LEGEA CONSERVĂRII ENERGIEI MECANICE

Energia unui corp se modifică atunci când forțele care acționează asupra acestuia efectuează un lucru mecanic. În toate exemplele din fig. 4.6.1, energia se poate transforma dintr-o formă în alta sau poate transfera energie de la un corp la altul prin efectuarea de lucru mecanic.

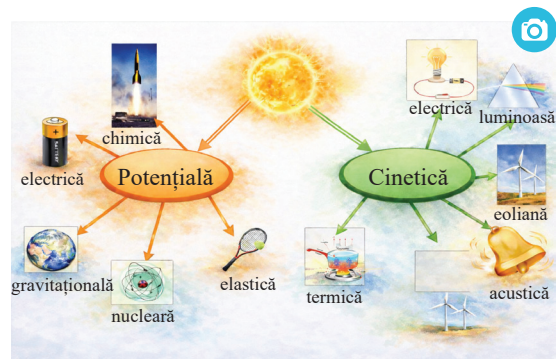


Fig. 4.6.1

Definiție:

Energia mecanică totală a unui sistem se definește ca suma tuturor energiilor potențială și cinetică ale sistemului.

$$E = E_p + E_c \quad (4.6.1)$$

Legea conservării energiei

În continuare vom analiza ce se întâmplă cu energia mecanică dintr-un sistem izolat față de mediul înconjurător, în care lucrul mecanic al forțelor externe este nul.

Atunci când asupra unui corp dintr-un sistem acționează numai forțe conservative, lucrul mecanic efectuat de acestea determină transformarea energiei între energia cinetică E_c a corpului și energia potențială E_p a sistemului.

Enunț:

Într-un sistem izolat, energia cinetică și energia potențială se pot modifica, dar suma lor – energia mecanică E a sistemului – rămâne constantă, deci se conservă. Energia nu poate fi creată sau distrusă, ea se poate transforma dintr-o formă în altă formă.

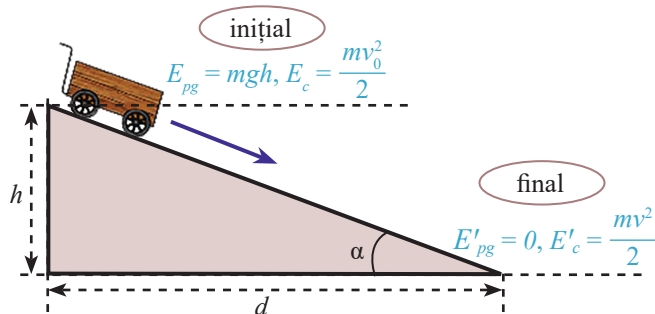
$$E_{pi} + E_{ci} = E_{cf} + E_{pf} = \text{constant} \quad (4.6.2)$$

APLICĂ

1. Un cărucior coboară o pantă de înălțime $h = 3$ m, cu viteza inițială $v_0 = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Ce viteză va avea căruciorul la baza pantei? Se neglijează frecarea cu suprafața pantei. Se va considera $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Rezolvare:

Vom realiza un desen în care vom marca stările inițială/finală și energiile în fiecare stare.



Din datele problemei, în starea inițială, energia mecanică este: $E_{in} = E_{pg} + E_c = mgh + \frac{mv_0^2}{2}$.

În starea finală, energia mecanică este: $E_{fin} = E'_{pg} + E'_c = 0 + \frac{mv^2}{2}$.

Aplicăm legea conservării energiei: $(E_c + E_p)_{in} = (E_c + E_p)_{fin}$:

$$mgh + \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v^2 = v_0^2 + 2gh, \text{ iar } v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$$

Din calculele numerice, obținem: $v = 8 \text{ m/s}$.

EXERSEAZĂ



1. Analizează următoarele afirmații și răspunde cu A dacă afirmația respectivă este adevărată sau cu F dacă este falsă:

a. Un corp aruncat vertical în sus revine la sol cu aceeași viteză cu care a fost aruncat, dacă se neglijează frecarea cu aerul.

b. Un corp aflat într-un câmp gravitațional posedă energie potențială gravitațională atunci când se află la o anumită înălțime față de un nivel de referință ales.

c. Dacă forța de greutate efectuează un lucru mecanic pozitiv asupra unui corp, energia potențială gravitațională a acestuia crește.

d. În toate punctele situate pe același plan orizontal, energia potențială gravitațională are aceeași valoare, față de un nivel de referință ales.

e. Un resort alungit sau comprimat posedă energie potențială elastică.

f. Puterea mecanică reprezintă produsul dintre lucrul mecanic efectuat de o forță și intervalul de timp în care acest lucru mecanic este realizat.

2. Un corp are la un anumit moment viteza $v_0 = 20 \text{ m/s}$ și în același moment energia cinetică a corpului este $E_c = 800 \text{ J}$. Să se afle masa corpului.

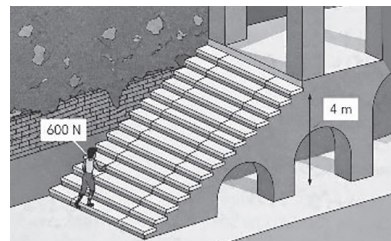
3. Dintr-un punct se aruncă pe verticală în sus un corp cu masa $m = 200 \text{ g}$ cu o viteză inițială $v_0 = 20 \text{ m/s}$. Să se afle la jumătatea înălțimii maxime valoarea energiei potențiale gravitaționale a corpului, dacă în punctul de aruncare $E_p = 0$.

4. Un resort este comprimat cu $x = 5 \text{ cm}$, fiind menținut în această stare de o forță $F = 20 \text{ N}$. Să se afle energia potențială a sistemului corp-resort.

5. O minge de baseball cu masa de $m = 0,145 \text{ kg}$ părăsește mâna aruncătorului cu viteza de $v = 32,0 \text{ m/s}$. Dacă rezistența aerului este neglijabilă, ce lucru mecanic a efectuat aruncătorul asupra mingii prin aruncare?

6. O cărămidă cu masa de $1,50 \text{ kg}$ alunecă pe o suprafață orizontală rugoasă cu viteza de $13,0 \text{ m/s}$. Dacă aceasta se oprește în $4,80 \text{ s}$, câtă energie mecanică se pierde și ce se întâmplă cu această energie?

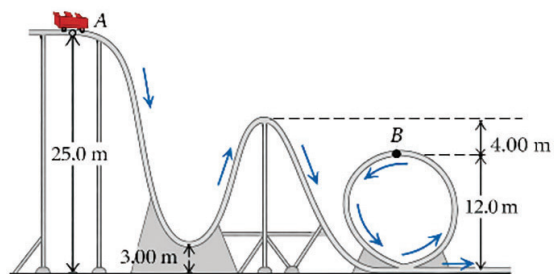
7. Un elev cu greutatea de 600 N urcă o scară cu înălțimea de $4,0 \text{ m}$, față de sol, în $8,0 \text{ s}$. Calculează puterea medie dezvoltată de elev în timpul urcării scării.



8. Un elev pornește cu bicicleta de pe vârful unui deal, fără să pedaleze. La început, bicicleta are viteza 0 m/s și se află la o înălțime de 5 m față de baza dealului. Masa totală (elev și bicicletă) este de 70 kg . Se neglijează frecările.

a) Determină viteza bicicletei la baza dealului.

b) Dacă, în realitate, la baza dealului viteza este doar 8 m/s , explică unde „s-a pierdut” o parte din energie.



9. Un vagon de roller-coaster cu masa de 350 kg pornește din repaus din punctul A și alunecă pe o pistă fără frecare, care include un loop vertical, ca în figura alăturată. Cu ce viteză se deplasează vagonul în punctul B?

* În toate problemele propuse se va considera $g = 10 \text{ m/s}^2$.

TEST DE EVALUARE

Subiectul I

Scrie pe foaia de răspuns litera corespunzătoare răspunsului corect:

1. Un corp cade liber în câmp gravitațional. Mărima fizică care rămâne constantă este:

a)	b)	c)	d)
energia potențială	energia cinetică	energia mecanică totală	viteza

2. O forță acționează perpendicular pe direcția deplasării. În aceste condiții, lucrul mecanic este:

a)	b)	c)	d)
pozitiv	negativ	nul	maxim

3. Un elev ridică un ghiozdan având greutatea de 50 N pe distanța de 1,5 m. Lucrul mecanic efectuat de forța de greutate este:

a)	b)	c)	d)
750 J	75 J	-75 J	-750 J

4. Un resort cu constanta elastică $k = 200 \text{ N/m}$ este comprimat pe o distanță $x = 0,10 \text{ m}$. Energia înmagazinată în resort este:

a)	b)	c)	d)
0,1 J	2 J	1 J	10 J

Subiectul II

Un corp se deplasează pe o suprafață orizontală cu frecare. Explicați dacă energia mecanică a corpului se conservă sau nu în timpul mișcării. Precizați în ce formă de energie se transformă o parte din energia mecanică.

Subiectul III

Rezolvați următoarele probleme:

1. Un baton alimentar conține 140 calorii (1 calorie alimentară = 4186 J). Aflați la ce înălțime trebuie să urce un excursionist cu masa de 65 kg pentru a consuma energia din batonul alimentar.

2. Pe satelitul Io ($g_{\text{Io}} = 1,81 \text{ m/s}^2$), materialul vulcanic este aruncat până la înălțimea de 500 km. Determinați viteza inițială necesară materialului vulcanic să ajungă la acea înălțime.

Notă:

Subiectul I – **4p** (fiecare grila – 1p).

Subiectul II – **2p**.

Subiectul III – câte 1,5 p la fiecare problemă.

Se acordă **1 p** din oficiu.



Capitolul 5

Temă integratoare

La finalul acestui capitol, vei fi capabil:

- să faci legătura între noțiunile fizice învățate și importanța aplicării lor în circulația rutieră;
- să observi în viața de zi cu zi distanța de frânare și distanța de oprire a unui vehicul;
- să înțelegi importanța unui timp de reacție cât mai scurt;
- să traversezi corect strada, pe la trecerea de pietoni, aplicând regulile învățate.

5.1. ELEMENTE DE SIGURANȚĂ RUTIERĂ (TIMP DE REACȚIE, DISTANȚĂ DE FRÂNARE, RAZĂ DE VIRAJ)

În fiecare zi participăm la trafic, fie ca pietoni, fie ca pasageri sau conducători de vehicule. În spatele regulilor de circulație se află principii fizice fundamentale, studiate în mecanică.

Respectarea regulilor de circulație înseamnă aplicarea corectă a legilor fizicii pentru **siguranța ta** și a celorlalți participanți la trafic.

Cunoașterea legilor fizicii permite explicarea unor reguli esențiale, precum păstrarea distanței față de vehiculul din față, utilizarea centurii de siguranță sau adaptarea vitezei la condițiile de drum. În **distanța de oprire** a unui vehicul este inclusă distanța parcursă în **timpul de reacție** și apoi **distanța de frânare**.

Timpul de reacție este timpul scurs din momentul în care șoferul vede obstacolul până în momentul în care apasă pe frână. Timpul de reacție variază între 0,7 s și 3 s în funcție de starea șoferului. În acest interval de timp, mașina are o mișcare rectilinie și uniformă și pe această porțiune, frâna vehiculului nu este folosită. Distanța parcursă în acest timp, numită **distanță de reacție** (d_r) (vezi fig. 5.1), crește dacă timpul de reacție crește. Acest lucru se întâmplă dacă șoferul este obosit, neatent, sub influența alcoolului sau a altor droguri.

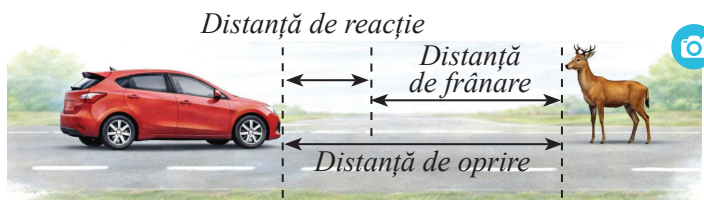


Fig. 5.1

Conform relațiilor cunoscute de la capitolul 2. *Elemente de cinematică*:

$$d_r = v \cdot t_r \quad (5.1)$$

Distanța de frânare este distanța necesară pentru a opri mașina din momentul acționării frânei. Aceasta depinde de starea drumului și comanda dată de șofer. *Distanța de frânare crește dacă*: frânele sau cauciucurile mașinii sunt în stare proastă; condițiile de drum și de vreme sunt dificile (de exemplu, polei sau umezeală); mașina are o masă mai mare (de exemplu, autocar sau camion).

Timpul de frânare este timpul în care mașina parcurge distanța de frânare. În acest timp, mașina are o mișcare uniform încetinită. Folosind cunoștințele căpătate în capitolul „2. Elemente de cinematică”, distanța de frânare se poate calcula din relația:

$$d_f = \frac{v^2}{2a_f} \quad (5.2)$$

Distanța de frânare (d_f) este cu atât mai mare cu cât viteza vehiculului (v) este mai mare și accelerația de frânare este mai mică.

Distanța de oprire (d_{op}) (vezi fig. 5.1) este suma dintre distanța de reacție (d_r) și distanța de frânare (d_f).

$$d_{op} = d_r + d_f \Rightarrow d_{op} = v \cdot t_r + \frac{v^2}{2a_f} \quad (5.3)$$

Reține

- o mașină nu poate opri instantaneu datorită inerției. Ea are nevoie de timp și distanță pentru oprire;
- o mașină cu masă mai mare are o distanță de oprire mai mare (fig. 5.2);
- *mașinile nu pot frâna cu roțile blocate* pentru că, în acest caz, mașina alunecă necontrolat și nu mai urmează direcția dorită de șofer. (Există sisteme care se opun blocării roților, cum ar fi ABS „Anti-lock Braking Sistem”)



Fig. 5.2. Mașina cu masă mai mare are distanța de oprire mai mare

Reguli de traversare corectă (vezi fig. 5.3):

1. Oprește-te înainte de a traversa;
2. Asigură-te stânga-dreapta-stânga;
3. Traversează doar pe trecerea de pietoni;
4. Așteaptă oprirea vehiculelor;
5. Traversează în pas normal;
6. Nu folosi telefonul sau căștile;
7. Fii atent pe toată durata traversării.



Fig. 5.3

Greșelile frecvente care se fac de către pietoni pornesc de la ignorarea inerției mașinii (se ignoră faptul că o mașină are nevoie de timp și distanță pentru a se opri, mașina nu poate opri instantaneu), necunoaștere sau ignorarea forțelor care intervin în timpul deplasării unui vehicul (forța de frecare, forța centrifugă, forța centripetă).

Greșelile cel mai des întâlnite la trecerea străzii:

– neatenția în timpul traversării (folosirea telefonului sau a căștilor) (vezi figura 5.4);

– traversare fără asigurare;

– intrarea bruscă pe trecerea de pietoni;

– presupunerea că șoferul oprește instantaneu (*nu poate fi ignorată inerția mașinii*);

– traversarea printre mașini (vizibilitate redusă – pietonul apare instantaneu în fața unei mașini).

În activitatea cotidiană se întâlnesc din ce în ce mai mult situațiile în care pietonii trebuie să se deplaseze pe marginea unei șosele fără trotuare. În acest caz, *pietonul trebuie să meargă pe partea stânga a drumului și să poarte haine cât mai vizibile (vestă reflectorizantă)* (fig. 5.5).

Această regulă este necesară pentru ca:

– pietonul să vadă mașinile care vin din față;

– pietonul să poată reacționa mai repede și să se poate feri la nevoie;

– șoferii să poată observa pietonul cu ușurință.

APLICĂ

Calculează distanța de oprire a unei mașini care rulează cu viteza de 90 km/h (25 m/s) în diferite condiții de rulaj:

a) condiții optime de rulaj (șoferul nu este obosit și drumul este uscat), timpul de reacție este $t_r = 1$ s și accelerația de frânare este $a_f = 8$ m/s²;

b) condiții dificile de rulaj (șoferul este obosit și se deplasează pe un drum umed, cu mazăgă), timpul de reacție este $t_r = 2$ s și accelerația de frânare este $a_f = 5$ m/s².

Indicație: Aplică formula 5.1.

Raza de viraj

Când șoseaua prezintă o curbă, mașina descrie un arc de cerc. Raza acestui cerc (distanța de la centrul curbei la traiectoria urmată de vehicul) se numește *rază de viraj*.

Atunci când vehiculul se deplasează într-o curbă (având o mișcare circulară), asupra lui acționează o forță centrifugă ($\vec{F}_{cf}$) care îl „împinge” spre exteriorul traiectoriei în sensul depărtării de centrul curbei. Această forță apare doar în sistemul de referință legat de vehicul.



Fig. 5.4

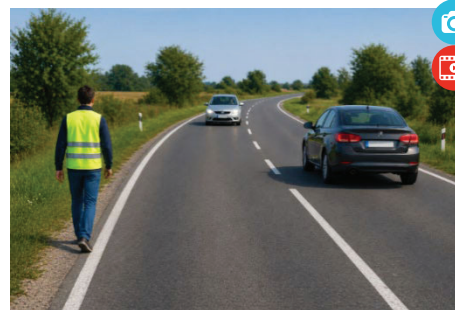


Fig. 5.5

Forța de frecare statică (aderența) ($\vec{F}_{fs}$) se opune tendinței vehiculului de a derapa spre exteriorul curbei, contracarând efectul forței centrifuge (fig. 5.6).

Adică vehiculul se poate deplasa în siguranță pe șoseaua curbilinie doar dacă:

$$F_{fs} \geq F_{cf} \quad (5.4)$$

Folosind formule cunoscute în mișcarea circulară, se deduce că viteza maximă cu care un vehicul poate parcurge o curbă este:

$$v = \sqrt{\mu_s R g} \quad (5.5)$$

Relația 5.5 arată că o curbă cu raza de viraj mică trebuie parcursă în siguranță cu o viteză mică.

De asemenea, aderența, respectiv, valoarea coeficientului de frecare static (μ_s) sunt esențiale pentru stabilirea vitezei de deplasare în siguranță într-o curbă. În tabelul de mai jos poți observa scăderea coeficientului de frecare static (μ_s) de la drum uscat la drum umed și la drum cu gheață.

Relația 5.5 arată că viteza unui vehicul în curbă trebuie să fie mai mică pe măsură ce coeficientul de frecare static scade. Astfel, pe drum umed sau drum cu gheață, viteza în curbă trebuie să fie mult mai mică decât viteza pe același drum uscat.

Tip drum	μ_s	Observații
Drum uscat	0,7-0,9	aderență bună, frânare eficientă
Drum umed	0,6-0,4	aderență redusă, risc derapaj
Drum cu gheață	0,1-0,2	aderență foarte redusă, frânare dificilă

APLICĂ

Calculează vitezele maxime (teoretice) cu care o mașină parcurge în siguranță o curbă cu raza de 150 m pe un drum uscat ($\mu_{1s} = 0,8$) și pe un drum cu gheață ($\mu_{2s} = 0,15$) ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

Indicație: aplică relația 5.5.

Reține

Dacă este depășită viteza maximă cu care poate fi parcursă o curbă în siguranță, vehiculul iese din curbă alunecând spre exteriorul ei. În acest caz, apare **alunecarea dinamică**. Forța de frecare la alunecare (dinamică) este mai mică decât forța de frecare statică maximă (vezi forța de frecare statică și la alunecare din capitolul 3, *Principiile mecanicii newtoniene și aplicarea acestora*, pag. 43), astfel că, odată începută alunecarea laterală, în sensul creșterii razei de curbură, este foarte greu să fie oprită această mișcare, mai ales că odată cu creșterea razei de curbură crește și forța centrifugă (F_{cf}), care tinde să scoată mașina în exteriorul curbei. În aceste condiții, apăsarea bruscă pe frână este periculoasă pentru că mașina nu mai poate fi menținută sub control.

În trafic se pot întâmpla evenimente nedorite de producătorii de mașini sau de participanții la trafic. Majoritatea producătorilor de autoturisme testează comportarea acestora la impact și modul în care sunt protejați șoferul și pasagerii la ciocnirea cu un obstacol. În fig. 5.7 este prezentat un astfel de test la ciocnire.

Siguranța rutieră este asigurată prin utilizarea sistemelor de protecție ale vehiculului și prin comportamentul responsabil al participanților la trafic.

Măsurile de siguranță la impact sunt realizate în conformitate cu legile fizicii.

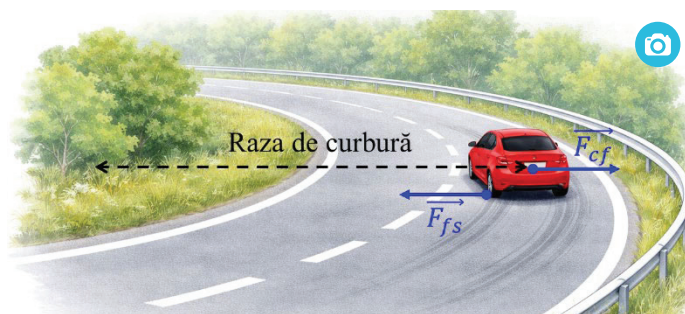


Fig. 5.6



Fig. 5.7

Centura de siguranță împiedică manifestarea inerției pasagerilor. La oprirea bruscă a mașinii, în absența centurii, pasagerii continuă mișcarea din cauza inerției și se lovesc de geamul mașinii sau, în cazuri mai grave, sparg geamul și ies prin geam. Centura de siguranță menține pasagerii în contact cu mașina și nu au loc fenomenele descrise anterior.

Centura de siguranță micșorează la impact forța aplicată șoferului și pasagerilor prin creșterea timpului în care viteza pasagerilor scade la zero (fig. 5.8). În capitolul 3, *Principiile mecanicii newtoniene și aplicarea acestora*, ai învățat despre legătura dintre forță și variația impulsului.

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1}{\Delta t} \quad (5.6)$$

Aria de sub curbele din fig. 5.8 reprezintă variația impulsului. Aceasta este aceeași în ambele cazuri pentru că are loc aceeași schimbare a vitezei de la aceeași valoare inițială la zero. Diferența apare la intervalul de timp în care se produce această variație: fără centură timp scurt și forță mare, cu centură timp lung și forță mică.

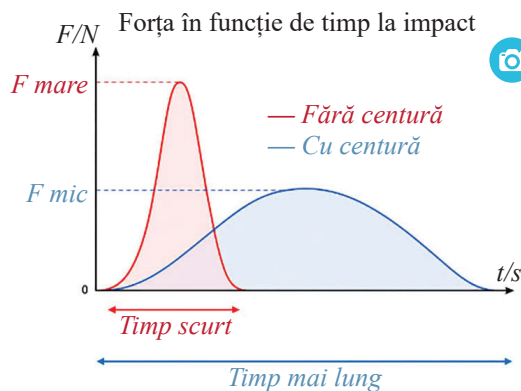


Fig. 5.8

Concluzie: centura de siguranță nu modifică variația impulsului, ci mărește timpul în care acesta are loc, reducând astfel forța maximă exercitată asupra corpului (fig. 5.8).

Distanța de siguranță este spațiul dintre două vehicule aflate în mers, astfel încât șoferul din spate să poată opri în siguranță, fără să se ciocnească de vehiculul din față, atunci când acesta frânează brusc.

Din punct de vedere fizic, distanța de siguranță = distanța de reacție + distanța de frânare (relația 5.1). Practic, în mers, poți să îți dai seama dacă păstrezi distanța de siguranță față de vehiculul din față folosind regula celor 2 secunde (regulă prezentată de Titi Aur – specialist în siguranță rutieră). Această regulă se aplică astfel:

1. alegi un reper fix pe drum (un stâlp, un copac etc.);
2. când mașina din față trece prin dreptul reperului, începi să numeri ca să treacă 2 secunde. Numără în acest ritm: „1001, 1002”;
3. dacă ajungi la reperul ales înainte de a termina cele 2 secunde, ești prea aproape și trebuie să mărești distanța.

Observație: În condiții dificile, distanța exprimată în timp dintre cele două vehicule trebuie mărită: pe ploaie la 3-4 s, pe zăpadă/gheață la 5-6 s.

Autovehiculele sunt construite cu *zone deformabile* care absorb energia cinetică la impact și cu un interior rigid care protejează pasagerii. Stabilirea acestor zone și formele lor pentru o mai bună eficiență se face după efectuarea de teste la ciocnire (fig. 5.7). În fig. 5.9 este prezentată caroseria unui autovehicul la care partea verde este construită să preia energia cinetică a impactului, iar zona albastră este rigidă și asigură siguranța persoanelor din interiorul autovehiculului.

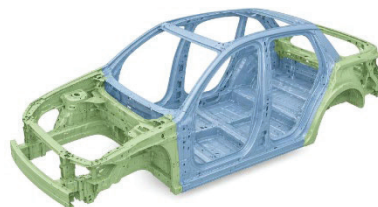


Fig. 5.9

Alte dispozitive care cresc siguranța pentru pasagerii din interiorul unei mașini:

- *airbagul* – protejează la impactul frontal împreună cu centura de siguranță;
- *tetiera* – care protejează capul și gâtul pasagerului în cazul unei ciocniri din spate;
- folosirea de *anvelope corespunzătoare* (iarna, vara) care asigură o mai bună aderență la drum;
- folosirea de *frâne eficiente*;
- folosirea de *faruri și lumini de semnalizare adecvate* – cresc vizibilitatea.

TEST DE EVALUARE

Pentru fiecare exercițiu, răspunsul corect se notează cu 1 punct. Se acordă 1 punct din oficiu.



1. Identifică afirmația greșită și notează litera corespunzătoare în caiet.

- a. Distanța de reacție depinde, în principal, de viteza mașinii și timpul de reacție;
- b. Dacă viteza se dublează, distanța de frânare se dublează;
- c. Centura de siguranță purtată de șofer reduce forța impactului fără să modifice variația impulsului șoferului;
- d. Coeficientul de frecare static dintre șosea și cauciucuri este mai mic pe șoseaua umedă decât pe șoseaua uscată.



2. Scrie în caiet literele afirmațiilor de mai jos și indică pentru fiecare dacă este adevărată (A) sau falsă (F).

- a. Pe un drum cu rază de curbură mică, viteza de siguranță a unui autovehicul este mai mare decât pe un drum cu raza de curbură mare.
- b. Vehiculele înalte sunt mai instabile decât cele joase.
- c. Distanța de reacție crește odată cu viteza.
- d. Energia cinetică este direct proporțională cu viteza vehiculului.

3. Prezintă pe scurt:

- a. factorii care influențează distanța de oprire;
- b. trei reguli trebuie respectate când traversezi strada.

4. Explică de ce un pieton trebuie să meargă pe partea stângă a unui drum fără trotuare.

5. Explică de ce este importantă regula celor 2 secunde pentru vehiculele care sunt în trafic.

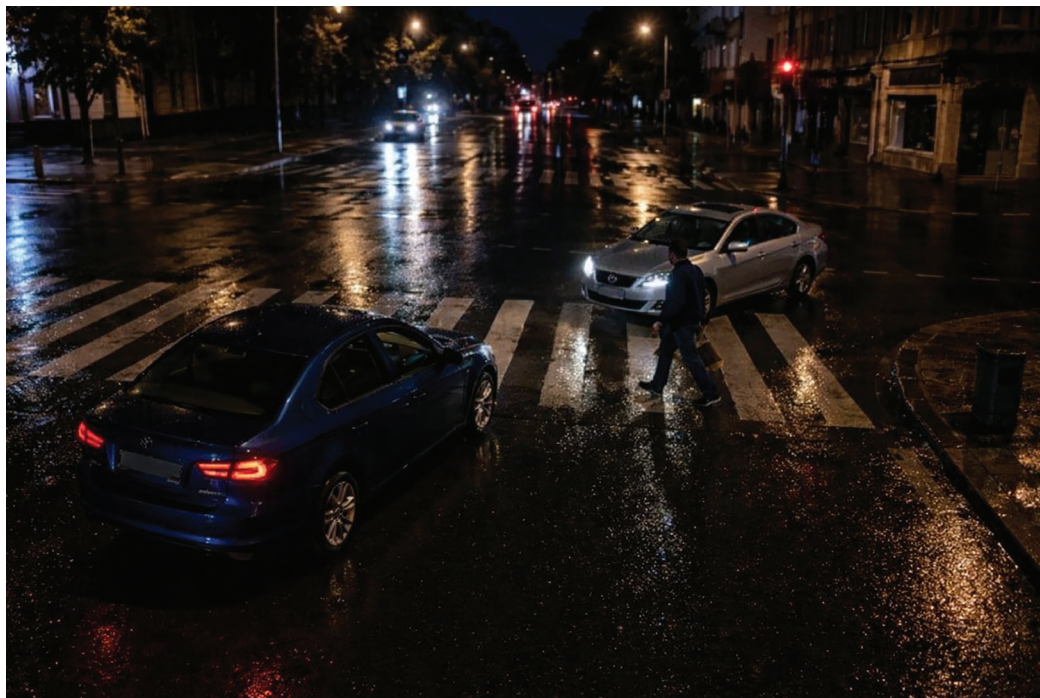
6. Enumeră trei dispozitive din construcția mașinii care contribuie la creșterea siguranței pasagerilor.

7. Un autoturism se deplasează cu viteza de 72 km/h și timpul de reacție al șoferului este de 1,5 s. Calculează distanța parcursă de autoturism în timpul necesar șoferului ca să reacționeze.

8. Distanța de frânare a unui autoturism este de 200 m. Cu cât scade distanța de frânare dacă viteza autoturismului scade la jumătate, dar accelerația în timpul frânării nu se modifică?

9. Un autoturism are distanța de frânare de 40 m și ea este dublă față de distanța de reacție. Știind că timpul de reacție al șoferului este de 1 s, calculează:

- a) viteza mobilului;
- b) accelerația de frânare;
- c) distanța de oprire.



Compania de asigurări Safety Drive Insurance investighează un accident rutier produs într-o intersecție urbană, într-o seară ploioasă. În accident au fost implicate două autoturisme. Pe baza legilor mecanicii, trebuie să stabiliți cauza accidentului și gradul de responsabilitate al fiecărui participant.

Datele inițiale ale accidentului	Date despre vehicule
Condiții de drum • carosabil umed; • vizibilitate redusă; • limita legală de viteză: 50 km/h; • coeficient de frecare: $\mu = 0,5$; • accelerația gravitațională $g = 9,8 \text{ m/s}^2$; • timpul mediu de reacție: $t_{\text{reacție}} = 1 \text{ s}$.	Autoturism A: – $m_A = 1300 \text{ kg}$; – urme de frânare: 24 m. Declarațiile participanților Șoferul A: „Circulam regulamentar cu aproximativ 50 km/h.” Șoferul B: „Mașina A circula cu viteză prea mare.”

Notă tehnică a experților

Autoturismele implicate sunt echipate cu sistem ABS (Anti-lock Braking System), care împiedică blocarea roților în timpul frânării. În practică, vehiculele moderne nu frânează cu roțile complet blocate, deoarece blocarea roților produce alunecare, reduce aderența și face imposibil controlul direcției vehiculului.

În cadrul proiectului se vor considera accelerații de frânare corespunzătoare unei frânări controlate, specifice vehiculelor echipate cu ABS.

Dacă roțile s-ar bloca complet, vehiculul ar intra în alunecare, iar șoferul nu ar mai putea controla direcția de deplasare. Sistemul ABS reduce acest risc și permite păstrarea stabilității vehiculului în timpul frânării.

Sarcina echipei de investigație

Echipa trebuie să analizeze datele și să redacteze raportul final al companiei de asigurări.

Etapele investigației fizice

1. Calculează viteza autoturismului A cunoscând lungimea urmelor de frânare (distanța de frânare). Verifică dacă a fost respectată limita legală de viteză.

2. Calculează accelerația în timpul procesului de frânare.

CAPITOLUL 2.

2.1. Descrierea mișcării corpurilor (pag. 19)

1. Da. Dacă, de exemplu, un elev face un tur complet al terenului de sport și revine în punctul de plecare.

2. Da. Dimensiunile Pământului sunt neglijabile față de distanța până la Soare.

3. Pământul nu poate fi considerat punct material în raport cu dimensiunile unei săli de clasă, deoarece în acest caz dimensiunile sale nu sunt neglijabile.

$$4. b) \left. \begin{array}{l} s = 2\pi R \\ R = 1,5 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow s = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 = 9,42 \text{ m};$$

$$c) |\Delta \vec{r}| = 0.$$

2.2. Viteza și accelerația (pag. 23)

1. Da. Când poziția inițială coincide cu poziția finală, vectorul deplasare este zero, deci vectorul viteză medie este zero. De exemplu, dacă pleci de acasă, te plimbi prin parc și te întorci în punctul de plecare.

$$2. v_{med} = \frac{d_1 + d_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

3. Din grafic se observă că în punctul R viteza săritorului este zero, deci în acel moment săritorul este în repaus. Exact în punctul Q , viteza săritorului nu variază (până în acel moment, valoarea vitezei a fost în creștere, iar din acel moment a fost în scădere, deci exact în acel moment nu este nici în creștere, nici în scădere). Deci, în acest punct, accelerația săritorului este zero. Răspuns C.

CAPITOLUL 3.

2.3.1. Mișcarea rectilinie uniformă (pag. 28)

1. Mișcare rectilinie uniformă.

$$2. \vec{v} = \text{const.}, x = x_0 + v_x(t - t_0).$$

3. A. a, B. c și d.

$$4. a. v_1 = v_s = v_r = 8 + 2 = 10 \frac{\text{km}}{\text{h}};$$

$$b. v_1 = v_s = v_r = 8 - 2 = 6 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

$$5. t = \frac{d}{v_2 - v_1} = 0,5 \text{ h}.$$

6. a. Coordonata inițială, respectiv, momentul de timp în care mobilul trece prin originea sistemului de coordonate xOy . b. $v = \frac{x - x_0}{t - t_0} = \frac{0 - 20}{40 - 0} = -0,5 \text{ m/s}$.

Mobilul de deplasează în sens opus sensului pozitiv ales pentru axa Ox . c. $x = 20 - 0,5 \cdot 8 = 16 \text{ m}$.

2.3.2. Mișcarea rectilinie uniform variată (pag. 32)

$$2. \left. \begin{array}{l} x = 2 + 3t - 2t^2 \\ x = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow t = \frac{-3 \pm \sqrt{9 + 16}}{4} = 0,5 \text{ s};$$

$$b. v = 3 - 4t; \left. \begin{array}{l} v = 3 - 4t \\ v = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow t = 0,75 \text{ s}.$$

$$3. a = -1,5 \text{ m/s}^2.$$

$$4. d = 60 \text{ m}.$$

$$5. a. t_1 = \frac{v}{a} = 30 \text{ s}; b. d_2 = v(\Delta t - 2t_1) = 1,8 \text{ km};$$

$$c. d = 2 \frac{v^2}{a} + d_2 = 2,7 \text{ km}.$$

$$6. a. a_1 = \frac{2L}{t_A^2} = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; b. v_A = \frac{2L}{t_A} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}};$$

$$c. \Delta t = t_A + \frac{2D}{v_A} = 40 \text{ s}.$$

Test de evaluare (pag. 36):

1. b, c, d.

2. A, F, F, A.

3. Afirmația este falsă, deoarece un corp poate fi considerat punct material atunci când dimensiunile sale sunt neglijabile în comparație cu distanțele parcurse sau cu dimensiunile sistemului studiat.

De exemplu, în studiul mișcării Pământului în jurul Soarelui, raza Pământului este foarte mică raportată la distanța dintre Pământ și Soare. Din acest motiv, Pământul poate fi considerat punct material în multe probleme de mecanică.

5. Taximetru „înregistrează” lungimea traseului parcurs. Dacă taxiul face ocoluri, merge pe străzi curbe sau schimbă direcția, lungimea traiectoriei crește. La fel și suma de plată.

6. c.

7. b.

8. Indicație: Pământul și avionul au aceeași perioadă de rotație. d. $a = -\frac{v_0}{t_{op}} = -0,33 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$

$$9. c. v_{c\grave{a}l\grave{a}tor} = \frac{v_0 \cdot t_{op}}{2(t_{op} + t_{st})} \cong 1,67 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

CAPITOLUL 3.

3.2. Interacțiuni prin contact (pag. 52)

1. 100 m;

2. 10 cm.

3.3. Interacțiuni prin câmpuri: Interacțiunea gravitațională (pag. 55)

$$1. F \sim \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}. \text{ Cum distanțele sunt egale, iar corpul}$$

al doilea are masa de două ori mai mare, și forța exercitată de el va fi de două ori mai mare.

$$2. x = \frac{d}{3} \text{ față de corpul de masă } M.$$

$$3. \frac{F_{S-Sat}}{F_{S=P}} = \frac{m_{Sat}}{m_p} \cdot \left(\frac{d_{S-P}}{d_{S-Sat}} \right)^2 = \frac{10}{9.5} \cong 0.95.$$

Este un rezultat foarte interesant: deși Saturn este mult mai departe de Soare decât este Pământul (ceea ce ar micșora forța de atracție exercitată de Soare asupra planetei Saturn), masa mare a acestei planete compensează aproape perfect acest efect.

Câmpul gravitațional (pag. 60)

1. Masa m_p trebuie să fie infinit de mică pentru ca intensitatea câmpului gravitațional propriu generat de aceasta să fie neglijabilă și să nu altereze în niciun fel configurația câmpului gravitațional din imediata vecinătate a punctului în care este introdusă.

2. a.

3. F, A, F.

$$4. g_0 = K \frac{M_p}{R^2} \Rightarrow M_p = \frac{g_0 \cdot R^2}{K} \cong 6 \cdot 10^{24} \text{ kg.}$$

$$5. g_h = K \frac{M_p}{(R+h)^2} = g_0 \frac{R^2}{(R+h)^2} \Rightarrow$$

$$g_h = \frac{g_0}{(1+n)^2} \cong 0,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

$$6. G_{pl} = m \cdot g_{pl} = 12m \cdot g_0.$$

Proiect (pag. 60) $F = 6,36 \cdot 10^{34} \text{ N.}$

Test de evaluare (pag. 62)

1. c.

2. b.

3. a. A, b. F, c. A, d. F.

4. c. Modulul lui Young este o constantă ce caracterizează materialul din care este confecționată bara (constantă de material); d. Forța de frecare statică apare atunci când corpul este în repaus și rezultanta forțelor ce acționează asupra lui, inclusiv forța de frecare statică, este nulă. Rezultă că forța de frecare statică depinde de forțele ce acționează asupra corpului.

5. Acțiunea și reacțiunea sunt forțe care acționează asupra unor corpuri diferite și din acest motiv ele nu se compun.

$$6. d. G = K \cdot \frac{M_p m}{r^2}, G_1 = K \cdot \frac{M_p m}{(r/3)^2} = 9G.$$

$$7. b. F_1 = m(a_1 + g) = ES \frac{\Delta \ell_1}{\ell_{01}};$$

$$\Delta \ell_1 = \frac{m(a_1 + g)\ell_{01}}{ES};$$

$$F_2 = m(a_2 + g) = ES \frac{\Delta \ell_2}{\ell_{02}} = ES \frac{2\Delta \ell_2}{\ell_{01}};$$

$$\Delta \ell_2 = \frac{m(a_2 + g)\ell_{01}}{2ES}; \frac{\Delta \ell_1}{\Delta \ell_2} = \frac{2(a_1 + g)}{(a_2 + g)};$$

$$\Delta \ell_2 = 4 \text{ cm.}$$

$$8. d. \text{ Accelerația sistemului este } a = \frac{F}{m_1 + m_2};$$

$$T = \frac{m_1 F}{m_1 + m_2} = k\Delta \ell; F = \frac{k\Delta \ell(m_1 + m_2)}{m_1} = 10 \text{ N.}$$

9. b. La coborâre cu viteză constantă

$$F_f = G_t = mg \sin \alpha. \text{ La urcare: } F = F_f + G_t = 2mg \sin \alpha = 24 \text{ N.}$$

CAPITOLUL 4. (pag. 77)

1. A; 2. A; 3. F; 4. A; 5. A; 6. F.

2. $m = 4 \text{ kg}$; 3. $E_p = 20 \text{ J}$; 4. $E_{el} = 0,5 \text{ J}$;

5. $L = 74,24 \text{ J}$; 6. $\Delta E = 126,75 \text{ J}$.

7. $P = 300 \text{ W}$; 8. $v_B = 18,4 \text{ m/s}$; 39. a) $v \approx 9,9 \text{ m/s}$;

b) o parte din energie s-a transformat în căldură (frecare cu aerul și solul), o altă parte în sunet, iar restul în deformări ale roților și solului. Energia mecanică nu s-a pierdut, ci s-a transformat în alte forme de energie.

Test de evaluare (pag. 78)

Subiectul I:

1. c; 2. c; 3. c, $L_G = -75 \text{ J}$; 4. c. $E_{pe} = 1 \text{ J}$.

Subiectul II: În prezența frecării, energia mecanică nu se conservă. Ea scade, deoarece o parte se transformă în energie internă/căldură.

Subiectul III: 1. $h \approx 902 \text{ m}$; 2. $v_0 = 1345 \text{ m/s}$, aproximativ $1,35 \text{ km/h}$.

CAPITOLUL 5.

Test de evaluare (pag. 84)

1. b.

2. a – F, b – A, c – A, d – F.

5. În condiții obișnuite de trafic, un autoturism parcurge în 2 s distanța de siguranță necesară pentru a nu se ciocni de vehiculul din față dacă acesta pune frână brusc.

7. 30 m.

8. 150 m.

9. a) 20 m/s; b) 60 m; c) 5 m/s².