



CRISTIAN PRESURĂ (coordonator)
DANIELA BERCHEZ · KÁROLY BOGDAN
GABRIELA DELIU · PETRONELA ANGELA IOJA
ANETA-AURELIA MIHALCSIK · DANIELA ȚEPEȘ

Fizică

Trunchi comun (TC),
filiera teoretică, profilul
umanist; filiera vocațională,
toate specializările;
filiera tehnologică, toate
calificările – clasa a IX-a

9

Fizică

Trunchi comun (TC),
filiera teoretică, profilul
umanist; filiera vocațională,
toate specializările;
filiera tehnologică, toate
calificările – clasa a IX-a

9

CRISTIAN PRESURĂ (coordonator)
DANIELA BERCHEZ • KÁROLY BOGDAN
GABRIELA DELIU • PETRONELA ANGELA IOJA
ANETA-AURELIA MIHALCSIK • DANIELA ȚEPEȘ

Date despre autori:

CRISTIAN PRESURĂ (coordonator) – doctor în fizică (doctorat obținut la Universitatea Groningen, Olanda). A lucrat la Institutul de Fizică Atomică, apoi a devenit cercetător la compania Philips, Olanda. În prezent este lector la Universitatea Tehnică Delft, Olanda. Autor al multor lucrări publicate în reviste de specialitate, al unor cărți și brevete de invenție, coordonator al manualelor de fizică pentru clasele a VI-a, a VII-a și a VIII-a și al culegerilor *Călătorie prin lumea fizicii. Probleme. Activități practice* pentru clasele a VI-a, a VII-a și a VIII-a. Are o activitate intensă de popularizare a științei în limba română, scriind articole pentru ziare, reviste și televiziune.

DANIELA BERCHEZ – prof. gr. I la Colegiul Național „Emanuil Gojdu” din Oradea, formator „Fizica Altfel”, coordonator județean al grupului de sprijin pentru profesori – în cadrul programului „Fizica Altfel”, membru al grupurilor de lucru pentru elaborarea *Programelor școlare* pentru disciplina Fizică – *clasa a IX-a* (2025); formator al Centrului de pregătire profesori Oradea – în cadrul programului *Samsung Ecosystem for Education Development* (SEED); coautor al unor lucrări dedicate profesorilor, al manualelor de fizică pentru clasele a VI-a, a VII-a și a VIII-a și al culegerilor *Călătorie prin lumea fizicii. Probleme. Activități practice* pentru clasele a VI-a, a VII-a și a VIII-a, coautor al *Reperelor metodologice pentru consolidarea achizițiilor din anul școlar 2019-2020*.

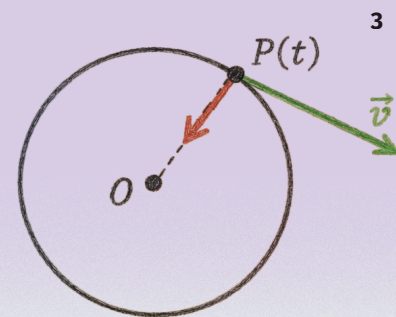
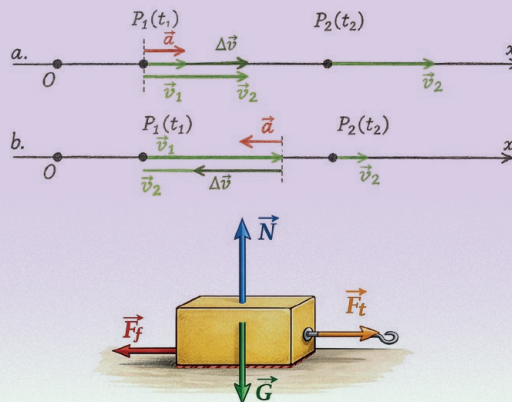
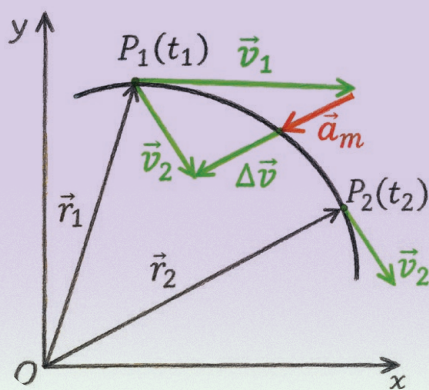
KÁROLY BOGDAN – prof. gr. I la Liceul Teoretic „Ady Endre” din Oradea, distins cu gradația de merit „Gheorghe Lazăr” –clasa I, coordonatorul Centrului de Excelență – Fizică din Oradea și fost membru al Comisiei Naționale de elaborare a subiectelor pentru Olimpiada Națională de Fizică. Este inițiatorul și organizatorul principal al Concursului Regional de Fizică și Inventică „Irenaeus”, coautor al cărților dedicate acestui concurs, al manualelor de fizică pentru clasele a VI-a, a VII-a și a VIII-a și al culegerilor *Călătorie prin lumea fizicii. Probleme. Activități practice* pentru clasele a VI-a, a VII-a și a VIII-a.

GABRIELA DELIU – doctor în *Fizica educațională*, prof. gr. I la Colegiul Național de Informatică „Gr. Moisil” din Brașov. Membru în grupul de lucru la *Programa școlară de gimnaziu – Fizică* (2017), membru al grupurilor de lucru pentru elaborarea *Programelor școlare* pentru disciplina Fizică – *clasa a IX-a* (2025); coautor *Ghid CRED pentru predarea Fizicii în gimnaziu* (2022), coautor *Repere metodologice pentru consolidarea achizițiilor din anul școlar 2019-2020*, coautor *Repere metodologice pentru aplicarea curriculumului la nivel liceal* (2021, 2022, 2023, 2024), coautor curs de formare (acreditat CNFPE) – *Învățarea centrată pe competențe de la proiectare la evaluare*, coautor al manualelor de fizică pentru clasele a VII-a și a VIII-a și al culegerii *Călătorie prin lumea fizicii. Probleme. Activități practice* pentru clasa a VIII-a; colaborare cu Centrul de Evaluare și Analize Educaționale în proiecte de cercetare și inovare educațională. Profesor „MERITO” (2024).

PETRONELA ANGELA IOJA – prof. gr. I la Colegiul Național „Vasile Goldiș” din Arad. Profesor mentor, membru al Consiliului Consultativ al profesorilor de fizică și al Consiliului Consultativ al Directorilor, formator național, creator de resurse educaționale deschise (RED) și de materiale didactice digitale interactive; coautor al manualelor de fizică pentru clasele a VI-a, a VII-a și a VIII-a și al culegerilor *Călătorie prin lumea fizicii. Probleme. Activități practice* pentru clasele a VI-a, a VII-a și a VIII-a, coautor al *Reperelor metodologice pentru consolidarea achizițiilor din anul școlar 2019-2020*. Activitatea sa este orientată spre dezvoltarea unor resurse educaționale moderne și inovatoare, care sprijină învățarea activă și utilizarea tehnologiilor digitale în predarea fizicii.

ANETA AURELIA MIHALCSIK – prof. gr. I la Liceul Teologic Baptist „Alexa Popovici” din Arad, coordonator județean al grupului de sprijin pentru profesori – în cadrul programului „Fizica Altfel”, membru fondator al Asociației „Comunitatea Fizica Altfel”, formator, metodist, membru în grupul de lucru la *Programa școlară de gimnaziu – Fizică* (2017), membru al grupurilor de lucru pentru elaborarea *Programelor școlare* pentru disciplina Fizică – *clasa a IX-a* (2025); coautor al manualului de științe ale naturii pentru clasa a IV-a, al manualelor de fizică pentru clasele a VI-a, a VII-a și a VIII-a și al culegerilor *Călătorie prin lumea fizicii. Probleme. Activități practice* pentru clasele a VI-a, a VII-a și a VIII-a, coautor al auxiliarului *Teste de antrenament pentru Evaluarea Națională MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE* pentru clasa a VI-a, coautor al *Reperelor metodologice pentru consolidarea achizițiilor din anul școlar 2019-2020*; responsabil de Cerc Pedagogic.

DANIELA ȚEPEȘ – prof. gr. I la Liceul Teoretic „Ioan Cotovu” din Hârșova, jud. Constanța. Membru în grupul de lucru la *Programa școlară de gimnaziu – Fizică* (2017), membru al grupurilor de lucru pentru elaborarea *Programelor școlare* pentru disciplina Fizică – *clasa a IX-a* (2025), formator național în proiectele CRED și „Fizica Altfel”; coautor *Ghid CRED pentru predarea Fizicii în gimnaziu* (2022), coautor *Repere metodologice pentru consolidarea achizițiilor din anul școlar 2019-2020*, coautor *Repere metodologice pentru aplicarea curriculumului la nivel liceal* (2021, 2022, 2023, 2024), coautor curs de formare (acreditat CNFPE) – *Învățarea centrată pe competențe de la proiectare la evaluare*; coautor al manualelor de fizică pentru clasele a VII-a și a VIII-a și al culegerii *Călătorie prin lumea fizicii. Probleme. Activități practice* pentru clasa a VIII-a; colaborare cu Centrul de Evaluare și Analize Educaționale în proiecte de cercetare și inovare educațională. Profesor „MERITO” (2023).



CUPRINS

Competențe generale și competențe specifice	4	Interacțiuni prin câmpuri: interacțiunea gravitațională ..	49
Ghid de utilizare a manualului	5	Investigații	52
Test inițial	6	Probleme propuse. Test de evaluare	57
1. NOȚIUNI INTRODUCTIVE ȘI METODE DE LUCRU ÎN FIZICĂ		4. ENERGIA MECANICĂ	
Măsurări în fizică. Mărimi fizice și unități de măsură ...	8	Lucrul mecanic	60
Tipuri de erori. Incertitudinea măsurării	11	Lucrul mecanic efectuat de diferite forțe	62
Metode de lucru în fizică. Investigația științifică.		• Lucrul mecanic efectuat de forța de greutate în câmp gravitațional uniform	62
Experimentul	15	• Lucrul mecanic efectuat de forța de frecare la alunecare	63
Probleme propuse. Test de evaluare	16	Puterea mecanică	64
2. ELEMENTE DE CINEMATICĂ		Randamentul	65
Descrierea mișcării corpurilor	18	Energia mecanică	66
Viteza și accelerația	22	Energia cinetică. Teorema de variație	
Tipuri de mișcări	28	a energiei cinetice	67
• Mișcarea rectilinie uniformă	29	Energia potențială gravitațională	68
• Mișcarea rectilinie uniform variată	31	Energia potențială elastică	70
Investigație	34	Legea conservării energiei mecanice	72
Probleme propuse. Test de evaluare	35	Investigații	74
3. PRINCIPIILE MECANICII NEWTONIENE ȘI APLICAREA ACESTORA		Probleme propuse. Test de evaluare	78
Principiile dinamicii newtoniene	38	5. TEMĂ INTEGRATOARE	
• Principiul inerției	38	Elemente de siguranță rutieră	80
• Principiul fundamental al mecanicii newtoniene ..	39	Raza de viraj, stabilitatea la viraj. Forța de frecare statică (aderența) și frecarea dinamică	83
• Principiul acțiunilor reciproce	41	Măsurile de siguranță la impact	85
Interacțiuni prin contact	43	Proiect	87
• Forțe de apăsare, forțe de frecare	43	Indicații și răspunsuri	88
• Forța deformatoare. Legea lui Hooke. Forța elastică.			
Tensiunea mecanică	46		

COMPETENȚE GENERALE ȘI 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. Prelucrează 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.

GHID DE UTILIZARE A MANUALULUI

Manualul cuprinde variantele tipărită și digitală



+



Simboluri folosite
în varianta digitală



Rezolvă



Privește



Vizionează

Cum să folosești manualul

Manualul este construit pentru a te ajuta să înveți pas cu pas, în ritmul tău. Structura lui clară te orientează în fiecare lecție și îți arată ce ai de observat, de înțeles, de aplicat și de verificat.

Investigațiile experimentale propuse în manual te ajută să descoperi fizica prin întrebări, măsurări și concluzii construite de tine. Chiar dacă în primele investigații gradul tău de autonomie este mai redus, deoarece urmezi pași bine stabiliți, pe măsură ce exersezi vei ajunge să iei decizii proprii despre ce modifizi, ce măsoari, ce menții constant, cum organizezi datele și cum formulezi concluzia. Pentru a-ți construi propriul parcurs de învățare, nu folosi manualul doar la clasă: utilizează-l și acasă, atunci când vrei să recapitulezi, să clarifici o idee sau să verifici ce ai înțeles.

Ce vei descoperi în acest manual

1. Noțiuni introductive și metode de lucru în fizică

Vei învăța cum se măsoară corect, cum se apreciază erorile și incertitudinea unei măsurări, ce este un experiment și care sunt etapele unei investigații științifice.

2. Elemente de cinematică

Vei învăța să folosești repere, poziții, intervale de timp, viteze și accelerații pentru a descrie și clasifica mișcarea corpurilor.

3. Principiile mecanicii newtoniene și aplicarea acestora

Vei învăța să identifici interacțiunile dintre corpuri, forțele care le descriu și efectele acestora asupra stării mecanice a corpurilor.

4. Energia mecanică

Vei învăța să explici transferul, transformarea și conservarea energiei folosind noțiunile de lucru mecanic, putere, randament, energie cinetică și energie potențială.

5. Elemente de siguranță rutieră

Vei învăța să aplici noțiunile despre mișcare, interacțiuni, forțe și energie pentru a explica situații reale din traficul rutier și pentru a adopta comportamente responsabile.

Harta parcursului tău de învățare

1. Observi și te întrebi

Pornești de la fenomene, situații reale și întrebări care pot fi explicate prin fizică.

2. Activezi ce știi

Îți amintești cunoștințele anterioare și le folosești pentru a înțelege mai ușor ideile noi.

3. Înțelegi conceptele

Construiești explicații folosind definiții, legi, principii, modele și relații fizice.

4. Investighezi

Observi, măsoari, identifici variabile, organizezi date și formulezi concluzii bazate pe dovezi.

5. Aplici prin probleme

Folosești scheme, tabele, grafice, relații fizice și raționamente pentru a rezolva situații concrete.

6. Îți verifici progresul

Rezolvi teste, te autoevaluezi și reflectezi asupra progresului tău în învățare, pentru a ști ce ai înțeles bine și ce mai trebuie exersat.

Rubricile pe scurt

... provocare o întrebare sau o situație reală care merită explicată;	... de amintit cunoștințele de care ai nevoie pentru lecția nouă;	... de reținut ideile, definițiile, legile și concluziile importante;
... studiu de caz o situație concretă analizată cu ajutorul fizicii;	... experiment observare, măsurări, date înregistrate și concluzii;	Investigație întrebare, ipoteză, proiectare, experiment sau documentare, comunicarea rezultatelor;
... problemă rezolvată un model de raționament și de calcul;	Probleme propuse aplicarea cunoștințelor dobândite în situații variate;	... verifică înțelegerea verificarea rapidă a progresului după lecție;
Test / autoevaluare ce ai înțeles și ce mai trebuie consolidat;	Portofoliu / proiect aplicarea, documentarea și comunicarea celor învățate;	Curiozități legături între fizică, tehnologie și viața reală.

Vei învăța să...

investighezi fenomene fizice și să formulezi concluzii bazate pe dovezi;	explici fenomene fizice și aplicații ale acestora în contexte reale;	rezolvi probleme și situații-problemă folosind noțiuni, legi și raționamente fizice;	comunici date, raționamente și concluzii științifice, folosind limbajul fizicii;	evaluezi rolul științei și tehnologiei în viața cotidiană.
--	--	--	--	--

Fizica nu înseamnă doar formule. În acest manual vei învăța să privești lumea cu atenție, să pui întrebări bune și să cauți explicații bazate pe dovezi.

TEST ÎNȚIAL

I. (1,5p) Citește următoarele enunțuri. Dacă apreciezi că enunțul este **adevărat**, scrie pe foaia de test litera **A** în dreptul numărului de ordine al enunțului. Dacă apreciezi că enunțul este **fals**, scrie pe foaia de test litera **F**.

1. Masa este o mărime fizică fundamentală.	
2. Accelerația este constantă și mai mare ca zero în mișcarea rectilinie uniformă.	
3. Coeficientul de frecare este o mărime fizică adimensională.	
4. Randamentul unui sistem este întotdeauna mai mare ca 1.	
5. Distanța parcursă reprezintă lungimea drumului parcurs de corp.	

II. (2p) Pentru fiecare item de mai jos, încercuiește, pe foaia de test, litera corespunzătoare răspunsului corect. Fiecare item are un singur răspuns corect.

- A.** Instrumentul de măsură pentru greutate este:
- a. balanța;
 - b. mensura;
 - c. cronometrul;
 - d. dinamometrul.
- B.** Considerând simbolurile folosite în manualele de fizică, modulul forței de frecare se exprimă prin relația:
- a. $\vec{F}_f = \vec{\mu} \cdot \vec{N}$;
 - b. $F_f = \mu \cdot N$;
 - c. $\vec{F}_f = \mu \cdot \vec{N}$;
 - d. $\vec{F}_f = \frac{\vec{N}}{\mu}$.
- C.** Lucrul mecanic este o mărime fizică:
- a. vectorială și fundamentală;
 - b. vectorială și derivată;
 - c. scalară și fundamentală;
 - d. scalară și derivată.

D. Unitatea de măsură pentru puterea mecanică în SI este:

- a. joule;
- b. volt;
- c. watt;
- d. newton.

E. Energia cinetică scade când:

- a. crește viteza;
- b. crește masa;
- c. scade masa;
- d. scade înălțimea.

III. Rezolvă următoarele probleme:

A. (2p) În timpul unei excursii școlare la o stupină, un apicultor le oferă elevilor miere de salcâm obținută ecologic și ambalată în borcane de 400 mL. Calculează greutatea borcanului cu miere, știind că densitatea mierii este de $1,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, iar borcanul gol cântărește 100 g.



B. (2p) În timpul unei etape de ciclism din Turul Franței, Vincenzo Nibali se deplasează cu viteza de $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ timp de 6 minute, dezvoltând o forță de tracțiune de 110 N. Calculează lucrul mecanic efectuat.

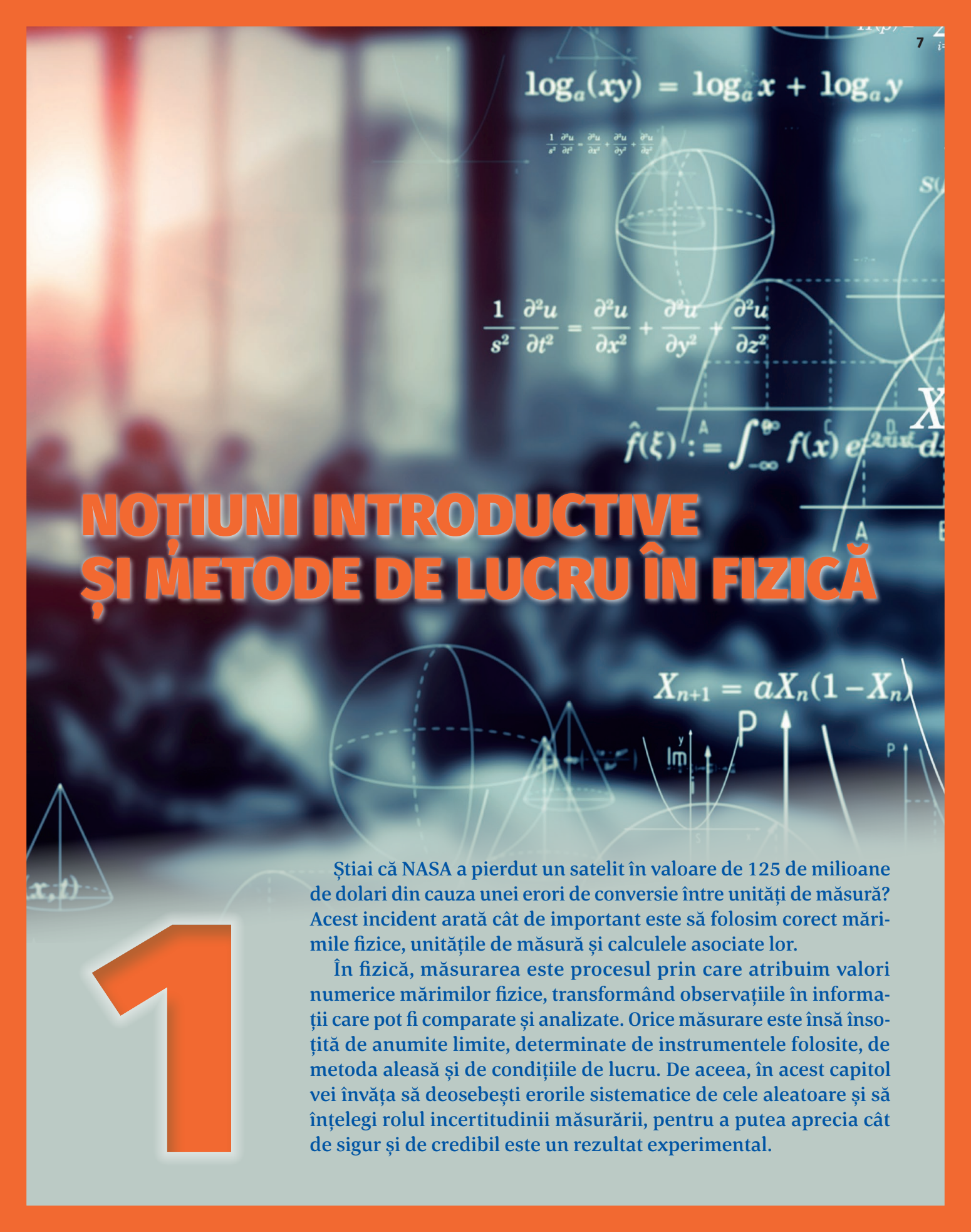


C. (1,5p) ThrustSSC este singura mașină supersonică care a doborât recordul mondial de viteză pe uscat, în anul 1997 deplasându-se cu o viteză de peste 341 m/s și dezvoltând o putere de 68,2 MW. Calculează forța de propulsie a motorului în acest caz.

Se acordă 1 punct din oficiu.

Notă:

Terminologia referitoare la erorile și incertitudinile de măsurare în acest manual este conform VIM (JCGM 200:2012) – International Vocabulary of Metrology – Basic and general concepts and associated terms (ediția a 3-a), disponibil la <https://doi.org/10.59161/JCGM200-2012>, în conformitate cu programa școlară pentru disciplina Fizică



NOȚIUNI INTRODUCTIVE ȘI METODE DE LUCRU ÎN FIZICĂ

Știi că NASA a pierdut un satelit în valoare de 125 de milioane de dolari din cauza unei erori de conversie între unități de măsură? Acest incident arată cât de important este să folosim corect mărimile fizice, unitățile de măsură și calculele asociate lor.

În fizică, măsurarea este procesul prin care atribuim valori numerice mărimilor fizice, transformând observațiile în informații care pot fi comparate și analizate. Orice măsurare este însă însoțită de anumite limite, determinate de instrumentele folosite, de metoda aleasă și de condițiile de lucru. De aceea, în acest capitol vei învăța să deosebești erorile sistematice de cele aleatoare și să înțelegi rolul incertitudinii măsurării, pentru a putea aprecia cât de sigur și de credibil este un rezultat experimental.

$$m_p = 5\,972\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ kg}$$

Este ușor să lucrăm cu un număr atât de mare? Cum am putea scrie această valoare într-o formă mai simplă? În fizică se folosește **notația științifică**, o metodă de a scrie numerele foarte mari sau foarte mici într-un mod mai simplu și mai ușor de utilizat, exprimându-le ca produs între un număr (coeficient) și o putere a lui 10, de forma $a \cdot 10^n$. Astfel, masa Pământului se poate scrie:

$$m_p = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

Exemple: $0,00042 = 4,2 \cdot 10^{-4}$; virgula s-a mutat spre dreapta 4 pași

$4\,900\,000 = 4,9 \cdot 10^6$; virgula s-a mutat spre stânga 6 pași

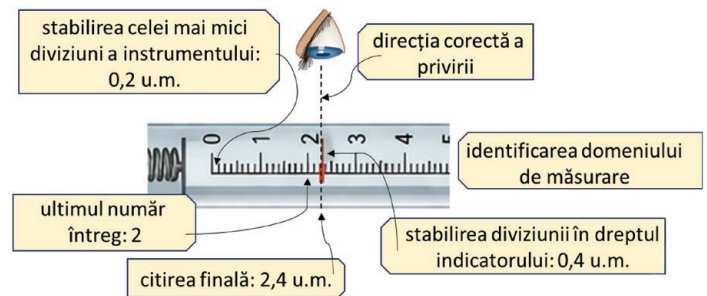
Pentru numere foarte mari sau foarte mici, valoarea exactă este uneori greu de reținut și de comparat. În astfel de situații, este util să știm doar puterea lui 10 cea mai apropiată de valoarea măsurată. Aceasta se numește **ordin de mărime**.

Regulă de stabilire a ordinului de mărime: Dacă numărul din fața coeficientului puterii este mai mare sau egal cu $\sqrt{10} = 3,16$, rotunjim în sus și creștem puterea lui 10 cu o unitate; dacă este mai mic, păstrăm puterea existentă.

Exemple: masa electronului $m \approx 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ($9 > 3,16$) are ordinul 10^{-30} kg , masa Pământului $m_p \approx 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ ($6 > 3,16$) are ordinul de mărime 10^{25} kg , iar masa telefonului mobil $m \approx 2 \cdot 10^{-1} \text{ kg}$ ($2 < 3,16$) este 10^{-1} kg . Prin urmare, Pământul are o masă mai mare decât a telefonului de 10^{26} de ori.

Majoritatea experimentelor presupun măsurarea unor mărimi fizice. **A măsura o mărime fizică** înseamnă a o compara cu unitatea ei de măsură pentru a afla de câte ori se cuprinde unitatea în mărimea respectivă.

Instrumentele analogice de măsură au scale cu diviziuni mari și mici, care indică valoarea și unitatea mărimii. **Citirea scalei** se face identificând ultimul număr întreg și diviziunea corespunzătoare (vezi figura alăturată, unde u.m. reprezintă unitatea de măsură). Valoarea finală include o cifră estimată, de regulă până la jumătate din cea mai mică diviziune.



...de reținut

Practica ne arată că nicio măsurătoare, oricât de atent a fost efectuată, nu va oferi valoarea exactă a mărimii fizice măsurate. Pe baza datelor obținute, putem stabili o valoare probabilă a mărimii măsurate și putem estima incertitudinea măsurării.

Pentru a evalua cât de apropiat este rezultatul unei măsurări de **valoarea de referință** (valoarea oferită de un etalon sau cea indicată de producător, deoarece aceasta este cea mai bună aproximare pentru *valoarea adevărată*), se folosesc mai multe tipuri de **eroi de măsură**:

Eroarea absolută reprezintă abaterea rezultatului unei măsurări față de valoarea de referință a mărimii măsurate. Ea reprezintă diferența dintre valoarea măsurată și valoarea de referință a mărimii.

$$\Delta x = |x_m - x_r|$$

eroarea absolută valoarea măsurată valoarea de referință

Unitatea de măsură a erorii absolute este aceeași cu unitatea mărimii măsurate și a valorii de referință.

Eroarea relativă arată cât de mare este eroarea absolută în raport cu valoarea de referință.

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_r}$$

eroarea relativă eroarea absolută valoarea de referință

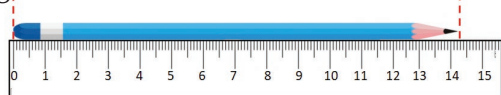
Eroarea relativă este adimensională (fără unitate de măsură).

Eroarea relativă procentuală este eroarea relativă exprimată în procente.

$$\varepsilon \% = \frac{\Delta x}{x_r} \cdot 100 \%$$

eroarea absolută
eroarea relativă procentuală
valoarea de referință

Exemplu: Pentru măsurarea lungimii creionului s-a ales metoda de comparare a lungimii lui cu o unitate de lungime de 1 cm.



Lungimea de referință a creionului:	$\ell_r = 14,30 \text{ cm}$
Lungimea măsurată:	$\ell_m = 14,20 \text{ cm}$
Eroarea absolută:	$\Delta \ell = 14,20 - 14,30 = 0,10 \text{ cm}$
Eroarea relativă:	$\varepsilon = \frac{0,10}{14,30} = 0,007$
Eroarea relativă procentuală:	$\varepsilon \% = 0,007 \cdot 100\% = 0,7\%$

Cum se interpretează calculul erorilor? Această valoare îți poate spune, de exemplu, că dacă ai măsurat o lungime de 1 metru, eroarea ta este de 7 milimetri. Pentru că $0,7\% < 1\%$, rezultă că eroarea este mică, iar măsurarea are o exactitate ridicată (adică valoarea măsurată este apropiată de valoarea de referință). Pentru a calcula eroarea, am folosit o valoare de referință, însă în situațiile cotidiene aceasta nu este mereu disponibilă.

Transformări de unități de măsură

Aceeași mărime fizică poate fi exprimată în unități diferite.

Dacă un elev măsoară lungimea creionului cu o riglă gradată în mm, atunci rezultatul măsurătorii lui este: $\ell = 143 \text{ mm}$. În SI, unitatea de măsură pentru lungime este metrul (m), deci transformăm: $143 \text{ mm} = 0,143 \text{ m}$. Pentru a lucra mai ușor, în calcule fizice rezultatul poate fi scris în **notație științifică**: $0,143 \text{ m} = 1,43 \cdot 10^{-1} \text{ m}$.

Vezi alături multiplii și submultiplii utilizați în notația științifică:

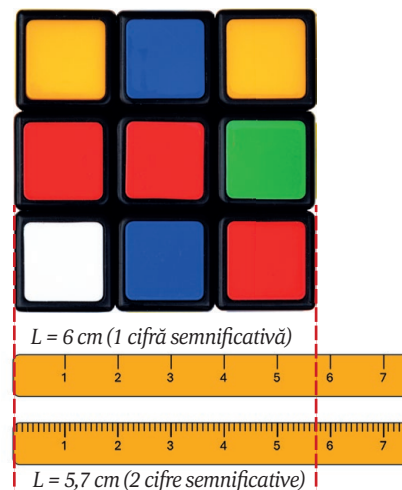
Este important ca scrierea rezultatului unei măsurări să păstreze informația despre precizia cu care a fost făcută măsurarea.

Simbol	Multiplu	Factor	Simbol	Submultiplu	Factor
Y	yotta	10^{24}	y	yokto	10^{-24}
Z	zetta	10^{21}	z	zepto	10^{-21}
E	exa	10^{18}	a	atto	10^{-18}
P	peta	10^{15}	f	femto	10^{-15}
T	tera	10^{12}	p	pico	10^{-12}
G	giga	10^9	n	nano	10^{-9}
M	mega	10^6	μ	micro	10^{-6}
k	kilo	10^3	m	milli	10^{-3}
h	hecto	10^2	c	centi	10^{-2}
da	deka	10^1	d	deci	10^{-1}

Cifrele semnificative reprezintă toate cifrele unui număr, începând cu prima cifră diferită de zero, care au rol real în indicarea preciziei.

Cifrele diferite de zero sunt întotdeauna cifre semnificative					Zerourile de la începutul numărului NU sunt semnificative				
247	3		5,83	3	0,0045	2		0,0302	3
Zerourile dintre cifre nenule sunt semnificative					Zerourile de la sfârșitul unui număr zecimal sunt semnificative				
205	3		3,04	3	2,50	3		0,120	3

Numărul de cifre semnificative depinde de instrumentele de măsură folosite. O riglă gradată în cm oferă mai puține cifre semnificative decât o riglă gradată în mm (vezi figura alăturată). În cazul exemplului cu creionul, $\ell = 14,3 \text{ cm}$, rezultatul are 3 cifre semnificative; ultima cifră (3) este estimarea dintre două diviziuni ale scalei. Mai multe cifre semnificative indică o măsurare realizată cu un instrument mai precis.



...verifică înțelegerea

- Un elev măsoară lungimea mesei ca fiind de 120 cm, iar valoarea de referință (din fabricație) este de 121 cm. Crezi că eroarea relativă este mare sau mică?
- Distanța Pământ – Lună este de $3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$. Ce ordin de mărime are aceasta?
- Care dintre următoarele numere au 3 cifre semnificative?
a. 0,00456; b. 4 500; c. 45,6; d. 0,00034.
- Cum se scrie, folosind notația științifică:
a. 4 500 000; b. 0,00032?

Tipuri de erori. Incertitudinea măsurării

Eroarea de măsură poate fi determinată atunci când avem o valoare de referință sau o valoare reală cunoscută, în timp ce incertitudinea caracterizează măsurările obișnuite, în care valoarea de referință sau valoarea reală nu este cunoscută exact.

...provocare

Poți avea măsurători foarte precise, dar complet greșite?

Situația A (o singură măsurare):

Măsurăm un creion o singură dată cu o riglă gradată în mm. Obținem $\ell = 17,3$ cm. Putem fi siguri 100% de această valoare?

Situația B (măsurători repetate):

Cinci elevi măsoară același creion și obțin valori ușor diferite: 14,2; 14,3; 14,4; 14,3; 14,2 cm. Cine are dreptate?

...studiu de caz

Un elev cântărește aceeași sticlă de apă de **cinci ori**, cu același cântar digital, și obține:

nr. det.	1	2	3	4	5
m (g)	520	520	520	520	520

Colega lui de echipă cântărește aceeași sticlă, pe un alt cântar, și obține:

nr. det.	1	2	3	4	5
m (g)	498	503	501	500	499

Se știe că masa reală a acestei sticle este de aproximativ 500 g.

Ne propunem să răspundem la următoarele întrebări: Care dintre cele două seturi de măsurători este mai precis? Care dintre ele este mai aproape de valoarea reală? Măsurătorile foarte apropiate între ele garantează un rezultat corect?

Constatăm că:

- primul cântar dă exact aceeași valoare de fiecare dată, adică măsurătorile sunt foarte **precise**, dar valoarea este departe de cea reală, adică rezultatul este **inexact**;
- la al doilea cântar valorile sunt ușor diferite între ele, dar nicio valoare nu este foarte mult diferită de celelalte.

Așadar, primul cântar este probabil necalibrat. Deși oferă rezultate foarte apropiate între ele (precise), toate valorile sunt deplasate cu aproximativ 20 g față de valoarea reală.

Exemplul prezentat mai sus evidențiază două concepte distincte (fundamentale în știință, metrologie, inginerie și statistică), deși în limbajul comun sunt uneori folosite ca sinonime.

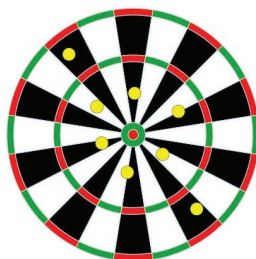
- **Precizia** (fidelitatea) arată cât de apropiate sunt măsurătorile între ele.
- **Exactitatea** (acuratețea) arată cât de aproape este rezultatul de valoarea reală.

Un rezultat experimental bun presupune atât *precizie*, cât și *exactitate*.

Folosind exemplul unei ținte, *exactitatea* arată cât de aproape sunt loviturile de centrul ținte, iar *precizia* arată cât de apropiate sunt între ele; *erorile sistematice* deplasează toate rezultatele în aceeași direcție, iar *erorile aleatorii* le împrăștie în jurul valorii. Cele patru situații ale ținte arată că rezultatele pot fi precise și exacte (lovituri grupate în centru), precise dar inexacte (grupate, dar departe de centru), exacte dar neprecise (împrăștiate în jurul centrului) sau nici precise, nici exacte.



CU EXACTITATE ȘI
CU PRECIZIE



CU EXACTITATE ȘI
FĂRĂ PRECIZIE



CU PRECIZIE ȘI
FĂRĂ EXACTITATE



FĂRĂ EXACTITATE ȘI
FĂRĂ PRECIZIE

...de reținut

Situațiile din studiul de caz anterior apar frecvent în experimente și sunt influențate de diferite tipuri de erori:

Eroarea sistematică apare atunci când toate măsurătorile sunt deplasate în aceeași direcție față de valoarea de referință (toate sunt mai mari sau mai mici decât ar trebui).

Exemple: Un cântar care indică mereu aproximativ 520 g, deși masa reală este de 500 g; un termometru care indică mereu cu 2° mai mult decât temperatura reală; o riglă care are începutul scalei ușor deplasat; un ceas care o ia înainte cu 5 min: nu greșește la întâmplare, ci are un „obicei” constant. Toate măsurătorile sunt precise, dar inexacte.



Eroarea aleatoare (accidentală) este abaterea întâmplătoare a rezultatului unei măsurători față de valoarea reală a mărimii măsurate.

Exemple: Micile diferențe între valorile maselor măsurate de eleva din exemplul anterior apar din cauza limitărilor instrumentului sau condițiilor experimentale. În cazul măsurării lungimii creionului, erorile aleatoare apar datorită poziționării diferite a creionului față de riglă, mișcări mici sau instabilitate.

Eroarea grosolană apare printr-o greșeală evidentă de citire, notare sau manipulare și produce o valoare mult diferită de celelalte rezultate.

Exemple: La măsurarea lungimii unui creion, valoarea 22,5 cm din tabel este atipică în raport cu celelalte.

nr. det.	1	2	3	4	5
$\ell(\text{cm})$	20,1	20,2	20,0	20,1	22,5

Tip de eroare	Caracteristică	Cauze posibile	Cum poate fi corectată sau redusă
Eroarea sistematică	toate măsurătorile sunt deplasate constant în aceeași direcție față de valoarea de referință	– instrumentul defect sau necalibrat; – citirea scalei dintr-un unghi nepotrivit; – metode de măsurare incorecte; – instrumentul de măsură indică o valoare diferită de zero, deși valoarea reală este zero – numită <i>eroare de zero</i>.	<i>Poate fi corectată:</i> – calibrarea instrumentelor; – corectarea metodei de măsurare; – verificarea cu un etalon.
Eroare aleatoare	valorile măsurate diferă ușor între ele și variază ușor în jurul valorii de referință	– limitările instrumentului; – fluctuații ale mediului: temperatură, lumină, vibrații; – reacția observatorului.	<i>Nu poate fi eliminată complet:</i> – repetarea măsurătorilor; – calculul valorii medii; – folosirea unor instrumente mai precise.
Eroare grosolană	o valoare este mult diferită de celelalte rezultate ale măsurării	– citirea greșită a scalei; notarea greșită a valorii; poziționarea incorectă a obiectului; – manipularea greșită a instrumentului.	<i>Eliminarea valorilor atipice din tabel.</i> – verificarea măsurătorilor; – repetarea experimentului.

Erorile sistematice influențează **exactitatea** (decalajul față de centru), în timp ce **erorile aleatorii** influențează **precizia** (împrăștierea loviturilor).

În orice măsurare există întotdeauna o oarecare eroare sau incertitudine. **Gradul de incertitudine** depinde atât de priceperea celui care măsoară, cât și de calitatea instrumentului de măsurare. În timp ce unele balanțe sunt capabile să măsoare mase doar cu o precizie de 0,1 g, alte balanțe foarte sensibile sunt capabile să măsoare cu o precizie de 0,001 g sau chiar mai mare.

Cum se interpretează calculul incertitudinii de măsurare?

Exemple:

► **Situația A (o singură măsurare x):**

Un elev măsoară lungimea unui creion folosind o riglă cu diviziuni din milimetru în milimetru, adică cu precizia de 1 mm.

Incetitudinea de măsurare (de citire, notată în general cu Δx sau u) este jumătate din cea mai mică diviziune. În acest caz, $\Delta \ell = 0,05$ cm (pentru instrumente analogice). Elevul a citit valoarea: $\ell = 17,3$ cm. Rezultatul măsurării se scrie întotdeauna cu același număr de zecimale ca și incertitudinea: $\ell = (17,30 \pm 0,05)$ cm.

Pentru instrumente digitale, incertitudinea de măsurare este considerată cea mai mică unitate pe care o are instrumentul (de exemplu, un cronometru care afișează sutimi de secundă (0,01 s) are o incertitudine de $\pm 0,01$ s).

Incetitudinea relativă, ε , arată cât de mare este incertitudinea de măsurare raportată la valoarea măsurată:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell} = \frac{0,05 \text{ cm}}{17,3 \text{ cm}} \approx 0,0029$$

Exprimată în procente, aceasta devine: $\varepsilon \% = 0,0029 \cdot 100 \% = 0,29 \%$.

Cu cât incertitudinea relativă este mai mică, cu atât măsurarea este mai precisă.

► **Situația B (măsurători repetate $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$):**

O echipă de elevi măsoară lungimea aceluiași creion. Ei înregistrează mai multe măsurători (repetă de cel puțin 5 ori măsurătoarea), iar datele sunt trecute într-un tabel ca cel alăturat:

Nr. det.	ℓ (cm)	$\bar{\ell}$ (cm)	$ \Delta \ell $ (cm)	$\overline{\Delta \ell}$ (cm)	$\varepsilon \%$
1	14,2	14,28	0,08	0,064	0,45
2	14,3		0,02		
3	14,4		0,12		
4	14,3		0,02		
5	14,2		0,08		

Prelucrarea datelor se face ținând cont de:

Valoarea medie a mărimii fizice, notată cu $\bar{x}$, este media aritmetică a tuturor măsurătorilor efectuate. Este considerată cea mai probabilă valoare a mărimii măsurate (cea mai bună aproximare a realității pe care o putem obține din date).

Exemplu: $\bar{\ell} = \frac{\ell_1 + \ell_2 + \ell_3 + \ell_4 + \ell_5}{5} = 14,28$ cm

Abaterrea individuală, notată cu $|\Delta x_i|$, reprezintă diferența, în modul, dintre o măsurătoare specifică și media tuturor măsurătorilor.

Exemplu: $|\Delta \ell_i| = |\ell_i - \bar{\ell}|$

Incetitudinea absolută a valorii medii, notată cu $\overline{\Delta x}$ sau u , este media abaterilor individuale (luate în modul) față de rezultatul mediu. Ea ne indică un interval de încredere în care, cu o probabilitate mare, se regăsește rezultatul corect al măsurării.

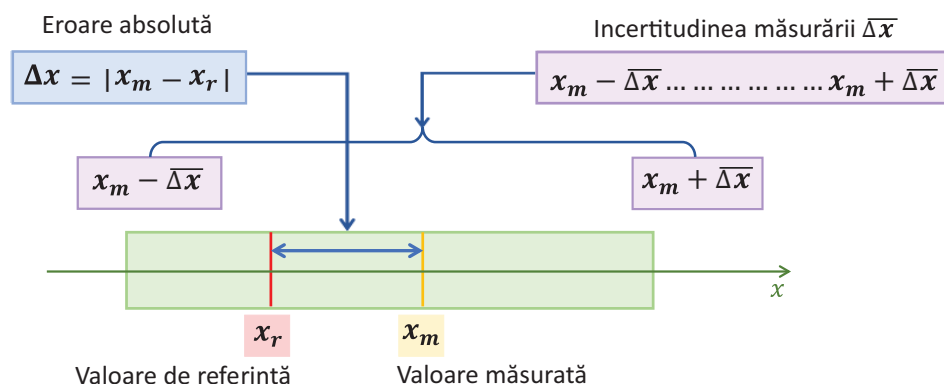
Exemplu: $\overline{\Delta \ell} = \frac{|\Delta \ell_1| + |\Delta \ell_2| + |\Delta \ell_3| + |\Delta \ell_4| + |\Delta \ell_5|}{5} = 0,064$ cm, care se rotunjește la o singură cifră semnificativă, 0,06 cm.

Rezultatul măsurătorii se exprimă astfel: $x = (\bar{x} \pm \Delta\bar{x})$.

Exemplu: $\ell = (14,28 \pm 0,06)$ cm. Deoarece incertitudinea are două zecimale (0,06 cm) și valoarea medie (14,28 cm) va avea tot două zecimale. Așadar, lungimea reală se află, probabil, între: $14,22 \text{ cm} \leq \ell_r \leq 14,34 \text{ cm}$.

Incertitudinea de măsurare, notată cu $\Delta\bar{x}$ sau u , definește un interval în jurul valorii măsurate (de la $x_m - \Delta\bar{x}$ la $x_m + \Delta\bar{x}$) în care se așteaptă să se afle valoarea reală. Atunci când repetăm o măsurătoare de n ori în aceleași condiții, cu cât intervalul de incertitudine este mai mic, cu atât valorile obținute sunt mai grupate, ceea ce indică un experiment cu o precizie ridicată.

Diagrama următoare ilustrează conceptele de bază ale incertitudinii de măsurare și erorii, arătând relația dintre valoarea de referință, valoarea măsurată și intervalul de incertitudine.



Incertitudinea relativă, notată cu ϵ , reprezintă raportul dintre incertitudinea absolută și valoarea medie a măsurării.

Exemplu: $\epsilon = \frac{\Delta\bar{x}}{\bar{x}} = \frac{0,064 \text{ cm}}{14,28 \text{ cm}} \approx 0,00448$. Exprimată în procente, aceasta este $\epsilon \% = 0,00448 \cdot 100\% \approx 0,45\%$

O incertitudine relativă de 0,45% indică o măsurare precisă, eroarea reprezentând aproximativ 0,45% din lungimea creionului.

...verifică înțelegerea

- Un elev măsoară masa aceluiași obiect de mai multe ori și obține valorile: 202 g, 203 g, 201 g, 202 g, 202 g.
 - Ce tip de erori explică micile diferențe dintre măsurători?
 - De ce este util să repetăm măsurătorile?
- Un cântar indică 120 g atunci când pe el este pusă o masă etalon de 100 g.
 - Ce tip de eroare apare în acest caz?
 - Cum poate fi corectată această problemă?
- În cadrul unui experiment la ora de fizică, un grup de elevi măsoară lungimea unei mese. Rezultatul măsurătorii, care include și incertitudinea instrumentului de măsură, este exprimat sub forma: $L = (120,2 \pm 0,3)$ cm.
 - Ce reprezintă valoarea 0,3 cm?
 - Între ce valori limită este de așteptat să se afle lungimea măsurată a mesei?

Observarea sistematică a activității și comportamentului elevilor pe parcursul unității de învățare

Completează următorul chestionar:

1. Cel mai mult mi-a plăcut	Pe parcursul orelor m-am simțit:
2. Cel mai puțin m-a interesat	
3. Am întâmpinat dificultăți în a înțelege	
4. Am nevoie de clarificări în legătură cu	



METODE DE LUCRU ÎN FIZICĂ – INVESTIGAȚIA ȘTIINȚIFICĂ. EXPERIMENTUL

Înțelegem lumea prin observare, experimente și raționament

Ce este investigația științifică?

O **investigație științifică** începe, de obicei, cu observarea unui fenomen și cu o întrebare simplă: *De ce se întâmplă asta? În ce condiții apare acest fenomen?* Când găsim un răspuns și îl putem argumenta folosind **dovezi științifice**, nu simple **impresii**, investigația se încheie. Între întrebare și răspuns este însă un proces complex, în care căutăm dovezi, testăm idei și încercăm să înțelegem mecanismele din spatele fenomenelor.

Pașii unei investigații:

- ✓ **Observarea** unui fenomen
- ✓ **Formularea întrebării de investigat** (în legătură directă cu fenomenul observat)
- ✓ **Formularea unei ipoteze de lucru** (un posibil răspuns la întrebarea de investigat)
- ✓ **Proiectarea experimentului** (descrierea materialelor necesare, a variabilelor și a modului de lucru)
- ✓ **Experimentul** (înregistrarea și organizarea datelor)
- ✓ **Prelucrarea datelor experimentale și formularea concluziilor**



Ce este experimentul?

Un **experiment** este o activitate practică prin care studiem un fenomen în mod organizat și controlat, pentru a înțelege cum și de ce se produce acesta. În context investigativ, experimentul reprezintă etapa centrală a investigației, în care sunt colectate datele necesare verificării ipotezei. În cadrul experimentului, facem observații și măsurători ale unor mărimi fizice, pentru a aduce dovezi în sprijinul ipotezelor formulate.

Variabilele într-un experiment

Pentru ca rezultatele unui experiment să fie corecte și interpretabile, trebuie să stabilim clar ce modificăm, ce măsurăm și ce menținem constant. Aceste elemente se numesc **variabile**.

În orice experiment lucrăm cu trei tipuri de variabile:

VARIABILA INDEPENDENTĂ (CAUZA)	VARIABILA DEPENDENTĂ (EFECTUL)	VARIABLELE CONTROLATE (REGULILE JOCULUI)
Mărimea fizică pe care o modificăm intenționat pentru a observa ce efect produce. Exemple: lungimea traseului parcurs de mobil, forța aplicată unui resort, masa corpului	Mărimea fizică pe care o măsurăm și care se modifică atunci când variabila independentă se schimbă. Exemple: timpul de mișcare, alungirea resortului, viteza corpului	Mărimile fizice pe care le menținem constante, pentru ca rezultatele să fie comparabile. Exemple: tipul suprafeței pe care are loc mișcarea, corpul utilizat, direcția de mișcare

Atenție! Dacă nu identificăm corect tipurile de variabile, nu vom ști care este cauza modificării observate.

Tipuri de date

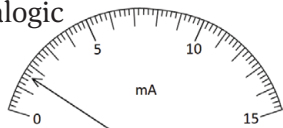
Informațiile culese pe durata desfășurării experimentului pot fi: **date calitative** – descrieri ale observațiilor (*exemplu:* „obiectul se mișcă mai repede”) și **date cantitative** – valori numerice obținute prin măsurare (*exemplu:* 2,4 s; 0,8 m; 5 N).

Ce facem cu datele?

Datele obținute într-un experiment trebuie organizate și analizate. De obicei, ele sunt organizate în tabele sau reprezentate grafic, pentru a putea fi ușor comparate între ele. Analiza datelor ne ajută să identificăm relații între mărimi fizice și să verificăm dacă ipoteza formulată inițial este corectă. Pe baza acestei analize formulăm **concluzia investigației**.

PROBLEME PROPUSE

- Câte cifre semnificative au următoarele numere:
a. 0,00450; b. 5 700; c. 0,0300?
- Pentru miliampermetrul analogic din figura alăturată, scrie:
a. rezultatul citirii scalei;
b. rezultatul măsurătorii.
- Fizica ne ajută să comparăm obiecte de dimensiuni extrem de diferite. Determină ordinul de mărime pentru următoarele lungimi exprimate în metri: diametrul unei bacterii $d = 2,5 \cdot 10^{-6}$ m; înălțimea vârfului Everest: $h = 8,84 \cdot 10^3$ m; distanța de la Pământ la Lună: $D = 3,84 \cdot 10^8$ m.
a. Stabilește ordinul de mărime pentru fiecare dintre cele trei lungimi, justificând alegerea prin comparație cu numărul 3,16.



- De câte ori este mai mare, ca ordin de mărime, distanța până la Lună față de înălțimea vârfului Everest?
- Scrie diametrul bacteriei sub formă de număr zecimal (fără putere a lui 10).
- O grupă de elevi măsoară timpul necesar pentru ca o bilă să cadă liber de la o înălțime de 2 metri. Ei folosesc un cronometru digital și repetă măsurătoarea de 5 ori, înregistrând datele într-un tabel.
a. Completează tabelul cu datele care lipsesc.
b. Calculează incertitudinea valorii medii și scrie rezultatul măsurătorii sub forma $t = \bar{t} \pm \Delta \bar{t}$.

Nr. det.	t (s)	$\bar{t}$ (s)	$ \Delta t $ (s)	$\Delta \bar{t}$ (s)
1	0,62			
2	0,65			
3	1,20			
4	0,63			
5	0,66			

TEST DE EVALUARE

I. (1p) Dacă apreciezi că enunțul este adevărat, scrie litera A, iar dacă este fals, scrie litera F.

1. Unitatea de măsură în SI pentru masă este gramul.	
2. Notăția științifică folosește puteri ale lui 10.	
3. Precizia arată cât de aproape este rezultatul măsurătorii de valoarea de referință.	
4. Ordinul de mărime oferă o aproximare a valorii unei mărimi fizice.	

II. (2p) Află răspunsurile corecte ale itemilor, știind că fiecare are un singur răspuns corect.

- Un elev cronometrează timpul în care aleargă o tură de teren și obține valoarea 2 minute. În SI, această durată se exprimă în:
a. minute; b. ore; c. secunde; d. milisecunde.
- O sticlă mică de apă are volumul de 0,33 L. Care este valoarea acestui volum în mililitri?
a. 33 mL; b. 330 mL; c. 3 300 mL; d. 0,33 mL.
- O capsulă spațială are masa de aproximativ 10 tone. Care este ordinul de mărime în kg?
a. 102 kg; b. 103 kg; c. 104 kg; d. 105 kg.
- Care dintre următoarele valori are 4 cifre semnificative?
a. 0,0034; b. 3,400; c. 3 400; d. 3,4.

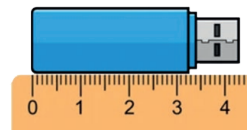
III. (2p) Completează spațiile libere:

O balanță digitală afișează masa unei monede de 5 bani, $m = 2,30$ g.

- Valoarea de mai sus are cifre semnificative.
- Balanța măsoară cu o precizie de g.
- 2,50 g indică o precizie mai decât 2,5 g.
- 2,50 g exprimă o incertitudine decât 2,5 g.

IV. (4p) Rezolvă următoarele probleme:

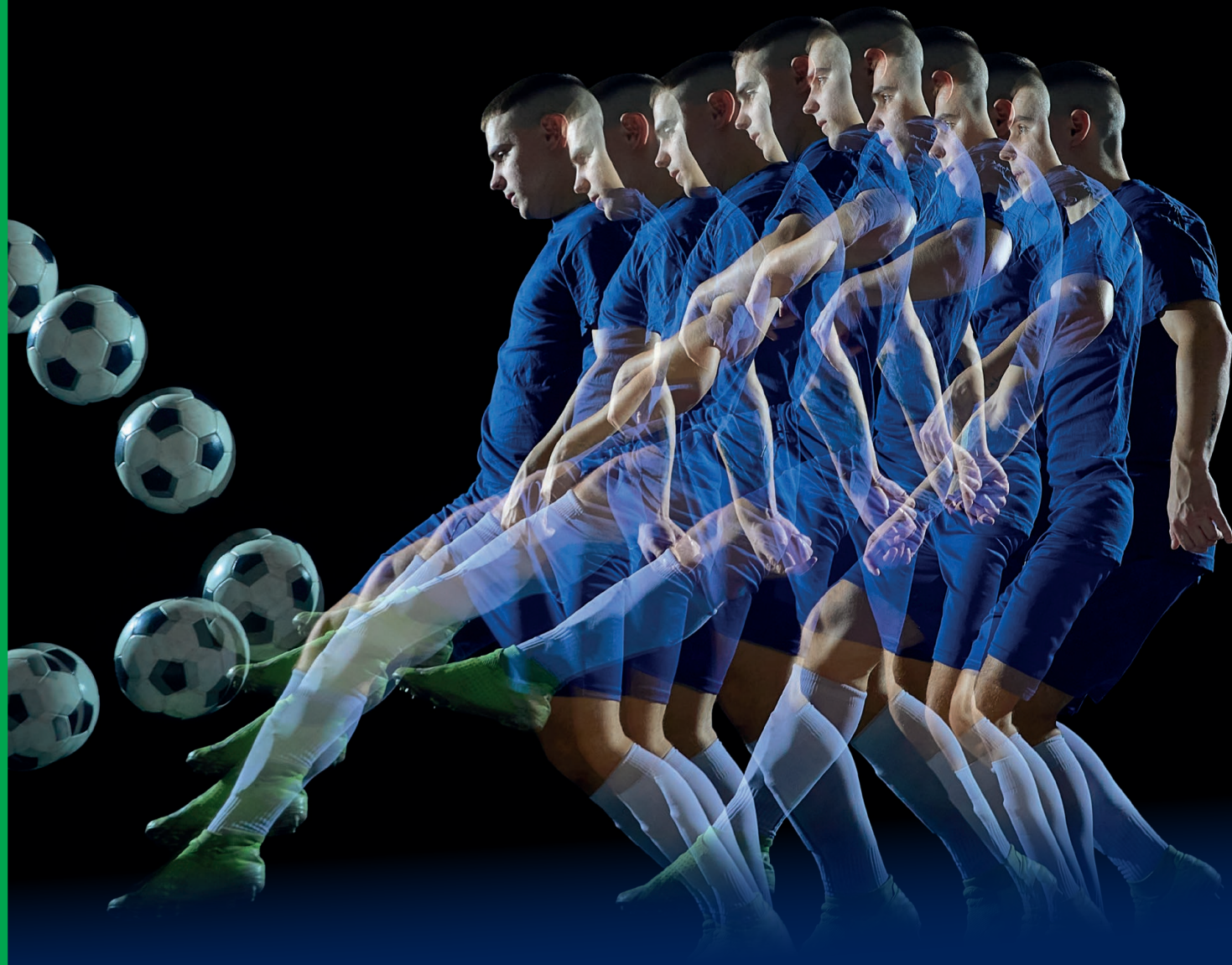
Un tânăr dorește să determine lungimea unui stick de memorie pentru a vedea dacă încapă într-o carcasă de protecție. Folosind o riglă gradată în milimetri, el efectuează o singură măsurătoare (conform figurii) și citește valoarea 4,3 cm. Știind că producătorul specifică pe site-ul oficial lungimea standard (valoarea de referință) ca fiind 4,35 cm, se cer următoarele:



- Calculează eroarea absolută de măsură față de valoarea de referință.
- Calculează eroarea relativă a măsurătorii, exprimată în procente.
- Sub ce formă va scrie rezultatul măsurătorii lui folosind incertitudinea de măsurare?
- Dacă o prietenă îi spune că a măsurat lungimea aceluiași stick cu un șubler și a obținut 43,2 mm, poate fi considerată această valoare în acord cu măsurătoarea tânărului?

Se acordă 1 punct din oficiu.

ELEMENTE DE CINEMATICĂ



2

Universul în care trăim este într-o continuă mișcare, de la mișcarea Pământului în jurul Soarelui până la zborul unei păsări sau mișcarea unei mingi de fotbal în timpul unui meci. Cinematica este acea parte a mecanicii care studiază mișcarea corpurilor, fără a ține seama de cauzele care o produc. Ea ne oferă limbajul matematic necesar pentru a răspunde la întrebări esențiale: *Unde se află un corp? Când se află acolo? Cât de repede se mișcă?* Acest capitol ne ajută să descriem mișcarea cu ajutorul unor mărimi fizice și relații simple.

Descrierea mișcării corpurilor



...provocare

Ești în gară, în tren. Trenul pornește încet. Te uiți pe geam la o persoană de pe peron. Tu te miști sau ea se mișcă?

...de amintit

Pentru a răspunde la această întrebare, trebuie să precizăm în raport cu ce descriem mișcarea.

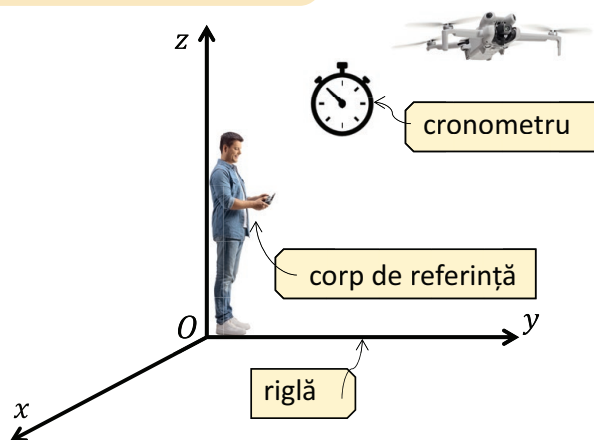
În fizică, termenul *relativ* se referă la faptul că mărimile fizice sunt definite în raport cu alte corpuri. În multe situații, acest lucru poate fi exprimat simplificat prin „față de”, dar sensul complet este mai larg.

Mișcarea mecanică reprezintă schimbarea poziției unui corp față de alte corpuri.

Același corp poate fi în mișcare față de unele corpuri și în repaus față de altele. De aceea spunem că *mișcarea și repausul* sunt *relative*.

Exemplu: Să analizăm starea mecanică a unei drone înainte de a fi pusă în funcțiune. Față de mâna care o ține și față de Pământ, drona se află în repaus. Față de Soare, însă, drona se află în mișcare.

Pentru a descrie mișcarea unui corp, trebuie să alegem mai întâi un **reper**, adică un **corp de referință** față de care îi urmărim poziția. Pentru a stabili poziția corpului în spațiu și evoluția ei în timp, folosim un sistem de coordonate și un ceas/cronometru.



Sistemul de referință, notat prescurtat cu SR, este ansamblul format din corpul de referință (reper), riglă (reprezentată de o axă sau sistem de coordonate) și cronometru (sau ceasornic).



Pentru simplificare, *corpul de referință* se ilustrează grafic prin punctul care reprezintă *originea O* a sistemului de coordonate $Oxyz$ (vezi figura de mai sus).

Exemplu: Privește avioanele din imaginea alăturată: cel care a decolat și cele din aeroport. În ce situație unul dintre avioane poate fi tratat ca punct material?

Uneori, analiza mișcării unui corp mare poate fi o provocare. Pentru a simplifica lucrurile, corpul studiat poate fi modelat ca **punct material**, iar când se mișcă îl numim **mobil**. Acest lucru este valabil atunci când dimensiunile lui sunt neglijabile în comparație cu

distanțele până la corpurile mediului înconjurător.

Exemple: Un tren care parcurge 150 km poate fi aproximat ca punct material, deoarece dimensiunile lui sunt foarte mici în comparație cu distanța parcursă; pentru o dronă care survolează o zonă din oraș, dimensiunea ei devine irelevantă pentru analiza mișcării ei.

De acum înainte vom descrie mișcarea mobilului.

Numim **punct material** un corp ale cărui dimensiuni pot fi neglijate în descrierea mișcării.

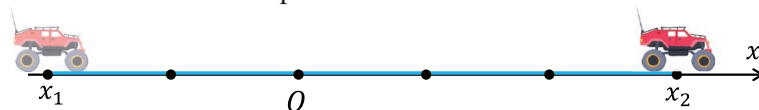
Un punct material în mișcare se numește **mobil**.

...de reținut

► Coordonate. Vector de poziție

Pentru a determina poziția mobilului față de SR se alege un sistem de coordonate. Dacă urmărim pozițiile succesive ale mobilului în SR, obținem traiectoria.

Exemplu: În figura următoare, poziția mobilului pe traiectorie este determinată de coordonatele sale x_1 și x_2 , corespunzătoare unor momente de timp diferite.



Traectoria reprezintă linia care unește punctele ce corespund pozițiilor succesive ale mobilului în mișcarea sa.

Traectoria poate fi **rectilinie**, dacă mobilul se deplasează pe o linie dreaptă, sau **curbilinie**, dacă se deplasează pe o linie curbă.



Exemple: În imaginile alăturate, dintr-un parc de distracții, gondola turnului de cădere liberă are o mișcare rectilinie, trenulețul din roller-coaster are o mișcare curbilinie, iar gondola roții Ferris are o mișcare circulară. Forma traiectoriei depinde de sistemul de referință ales.

Poziția mobilului față de sistemul de referință poate fi precizată în două moduri: prin **coordoanate** sau prin **vectorul de poziție**. În ambele cazuri descriem aceeași poziție, dar folosim reprezentări diferite.

✓ În **mișcarea rectilinie**, poziția mobilului din figura alăturată poate fi indicată:

- prin **coordoanata** x , care arată locul ocupat de mobil pe axa Ox la un moment dat (poate avea valori pozitive sau negative);

sau

- prin **vectorul de poziție**, notat cu $\vec{r}$, orientat de la origine spre poziția mobilului.

Pentru **vectorul de poziție**, $\vec{r}$:

- **punctul de aplicație** este O , originea axei Ox ;
- **direcția** este aceeași cu direcția axei Ox ;
- **sensul** este spre punctul în care se află mobilul;
- **modulul** $|\vec{r}| = OP$, se măsoară în metri.

✓ În **mișcarea plană**, poziția dronului din figura alăturată este dată de:

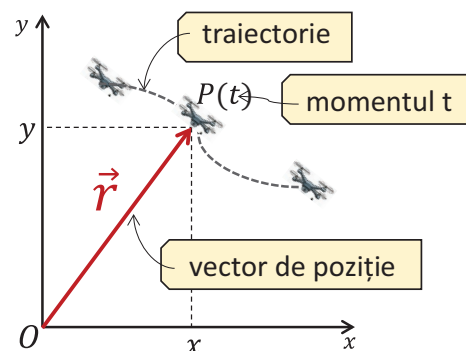
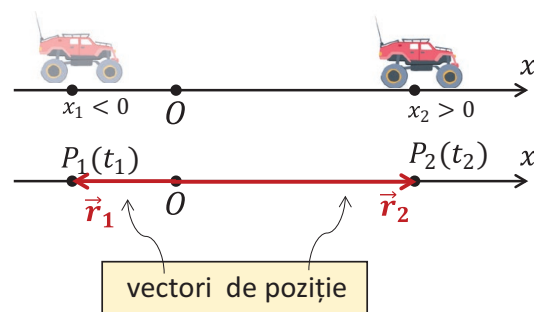
- **coordoanatele x și y** (pot avea valori pozitive sau negative)

sau prin

- **vectorul de poziție**, notat cu $\vec{r}$.

Proiecțiile vectorului de poziție pe axe reprezintă coordonatele x și y (vezi figura). Se poate scrie, pentru poziția dronului la momentul t :

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1)$$



► Deplasare. Vector deplasare

Între două momente, un mobil își poate schimba poziția. Această schimbare de poziție se numește **deplasare**.

Distanța parcursă arată cât drum a străbătut mobilul, adică lungimea traseului urmat.

Deplasarea compară poziția finală cu poziția inițială și arată cu cât s-a schimbat poziția mobilului.

Exemplu: Dacă un elev pornește dintr-un punct, merge până la capătul culoarului și apoi se întoarce la locul de plecare, distanța parcursă este lungimea întregului drum făcut, dar deplasarea este zero, deoarece poziția finală coincide cu poziția inițială.

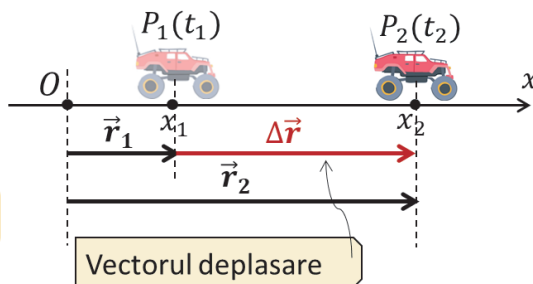
Atenție! Distanța parcursă și deplasarea nu exprimă același lucru: prima se referă la drumul efectiv parcurs, iar a doua la schimbarea poziției.

Deplasarea, notată cu Δx , reprezintă variația coordonatei mobilului între două momente succesive, t_1 și t_2 .

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad (2)$$

deplasarea mobilului (m)
coordonata mobilului la momentul t_2 (m)
coordonata mobilului la momentul t_1 (m)

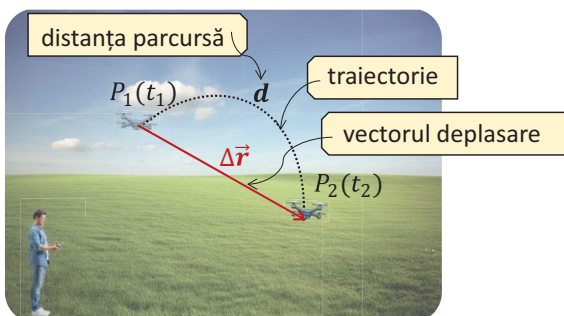
În figura alăturată, mașina jucărie se mișcă rectiliniu, schimbându-și poziția din x_1 în x_2 , în intervalul de timp Δt (deplasare pozitivă, $\Delta x > 0$). Cele două poziții sunt reprezentate de vectorii de poziție $\vec{r}_1$ și $\vec{r}_2$.



Vectorul deplasare, notat cu $\Delta \vec{r}$, este diferența dintre vectorul de poziție final și vectorul de poziție inițial.

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 \quad (3)$$

vector deplasare (m)
vector de poziție a mobilului la momentul t_2 (m)
vector de poziție a mobilului la momentul t_1 (m)

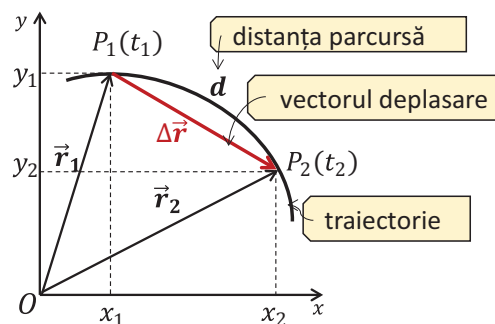


Fie P_1 și P_2 pozițiile dronei la momentele t_1 și t_2 (vezi figura alăturată). Se poate observa că:

- traiectoria dronei între aceste două poziții arată forma drumului;
- distanța parcursă, d , măsoară lungimea acelui drum (arcul de cerc $P_1 P_2$);
- deplasarea compară doar poziția finală cu poziția inițială.

Elementele **vectorului deplasare** (vezi figura alăturată) sunt:

- **punctul de aplicație** (în vârful vectorului $\vec{r}_1$);
- **direcția** (pe dreapta care unește vârfurile vectorilor $\vec{r}_2$ și $\vec{r}_1$);
- **sensul** (de la vârful vectorului $\vec{r}_1$ – la momentul inițial, la vârful vectorului $\vec{r}_2$ – la momentul final);
- **modulul** $|\Delta \vec{r}| = P_1 P_2$.

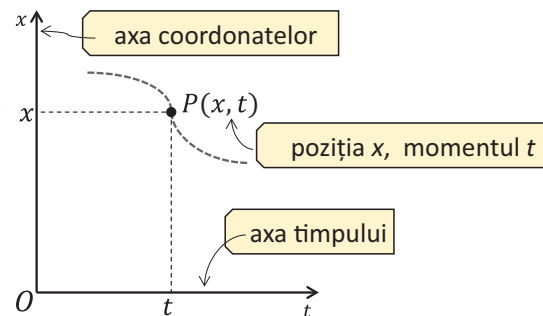


Legea mișcării

Descrierea completă a mișcării cere să știm poziția mobilului la orice moment; de aceea scriem coordonata ca funcție de timp:

$$x = f(t) \quad (4)$$

Expresia (4) se numește **legea mișcării** mobilului. Ea se reprezintă grafic într-o diagramă coordonată-timp, ca în figura alăturată.



...problemă rezolvată

1. La un meci de hochei din cadrul Jocurilor Olimpice, un jucător pasează pucul 15 m înainte, spre poarta adversă, iar apoi un alt jucător la 20 m, la un unghi de 90° spre dreapta față de direcția inițială. Se cere:

- reprezentarea vectorilor deplasare;
- modulul vectorului deplasare rezultant;
- distanța totală parcursă;
- forma traiectoriei.

Rezolvare: $y_1 = 15 \text{ m}$
 $x_2 = 20 \text{ m}$

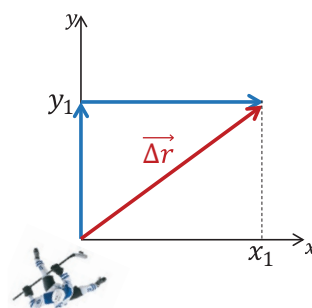
$$r = ?$$

$$d = ?$$

- Modulul vectorului deplasare este: $|\Delta \vec{r}| = \Delta r$

$$\Delta r = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} = \sqrt{20^2 \text{ m}^2 + 15^2 \text{ m}^2} = 25 \text{ m}$$

- Distanța totală parcursă este diferită de modulul vectorului deplasare: $d = x_1 + y_1 = 35 \text{ m}$
- Forma traiectoriei este o linie frântă după direcțiile vectorilor reprezentați cu albastru (vezi figura alăturată)



...verifică înțelegerea

1. *Grand jeté* este un salt mare și spectaculos în balet, unde dansatorul sare de pe un picior pe altul, menținând ambele picioare întinse în aer în punctul maxim al săriturii. Care este forma traiectoriei descrise de punctul C (fig.1) față de un spectator?



Fig.1. Săritura *Grand jeté*

O piruetă este o rotire rapidă, efectuată pe loc, de obicei pe vârful unui singur picior sau în poante. Care este forma traiectoriei descrise de punctul B (fig.2) față de spectatori? Dar față de scena de sub picioarele balerinei?



Fig.2. Piruetă

- La un antrenament, doi atleți aleargă pe un stadion. Atletul A aleargă un tur complet și se oprește în punctul de plecare, iar atletul B aleargă în linie dreaptă de la punctul de start până în partea opusă a stadionului.
 - Compară distanța parcursă de cei doi atleți.
 - Compară deplasarea celor doi atleți.
 - Care atlet are deplasarea mai mare?
 - Poate un atlet să aibă distanță mai mare și deplasare zero? Justifică răspunsul tău.
- Răspunde prin *adevărat* sau *fals*:
 - Un avion care zboară de la Budapesta la Roma poate fi considerat un punct material a cărui poziție la un moment dat este dată de coordonatele sale geografice.
 - Un automobil care face manevre într-o parcare este asimilabil cu un punct material.
 - Un vapor care străbate Marea Egee poate fi considerat un punct material a cărui poziție la un moment dat este dată de coordonatele geografice.
- Pentru transmiterea programelor TV în Europa se folosesc sateliți geostaționari, precum Eutelsat Hot Bird 13F. Acest satelit este plasat pe orbită geostaționară, la aproximativ 36 000 km deasupra Ecuatorului, astfel încât să rămână permanent deasupra aceleiași regiuni de pe Pământ. Acest satelit este în mișcare față de Pământ? Dar față de Lună?

Viteza și accelerația



...provocare

Mergi spre școală și ești în întârziere. Aplicația Google Maps îți arată că vei ajunge în 10 minute. La început ai mers încet, dar acum alergi. *Timpul estimat rămâne același sau se modifică? Dacă viteza ta se modifică, cum ai putea descrie această schimbare?*

Viteza. Vectorul viteză

...situație problemă

Un curier care livrează mâncare la domiciliu pleacă dintr-un punct A pentru a duce o comandă. El se deplasează astfel: merge pe o distanță de 100 m spre Est în 20 s, apoi schimbă direcția și merge 100 m spre Nord în 10 s.

Ce viteză are curierul pe fiecare porțiune de drum? Care este viteza medie de-a lungul întregului traseu? Dacă vrei să descrii mișcarea curierului până la final, este suficient să precizezi doar cât drum a parcurs, sau trebuie să ții cont și de direcția deplasării?

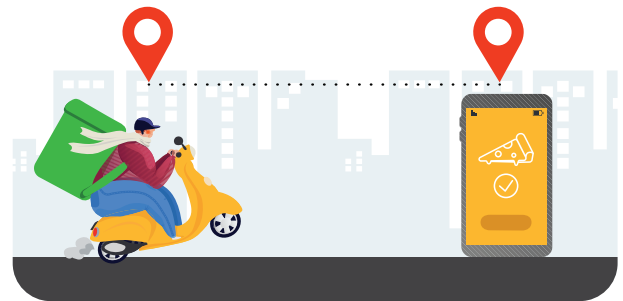
- Pe fiecare porțiune în parte, viteza curierului a fost:

$$\triangleright v_1 = \frac{d_1}{t_1} = \frac{100 \text{ m}}{20 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}$$

$$\triangleright v_2 = \frac{d_2}{t_2} = \frac{100 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 10 \text{ m/s}$$

- Viteza pe întreg traseul este:

$$\triangleright v_m = \frac{d_1 + d_2}{t_1 + t_2} = \frac{200 \text{ m}}{30 \text{ s}} = 6,67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



În cazul schimbării direcției de mișcare, nu este suficientă valoarea vitezei. Este necesar să se precizeze și direcția, ceea ce conduce la definirea vitezei ca mărime vectorială.

...de reținut

Viteza medie scalară (v_m) arată cât drum parcurge un mobil într-un anumit interval de timp. Ea se calculează împărțind distanța totală parcursă la intervalul de timp corespunzător.

$$v_m = \frac{d}{\Delta t}$$

distanța totală parcursă (m)

viteza medie scalară (m/s)

interval de timp (s)

Viteza medie vectorială ($\vec{v}_m$) arată cum se schimbă poziția mobilului într-un anumit interval de timp. Ea se calculează împărțind deplasarea la durata mișcării.

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

vector deplasare (m)

viteza medie vectorială (m/s)

durata mișcării (s)

Așadar, viteza medie scalară este legată de drumul parcurs, iar viteza medie vectorială este legată de schimbarea poziției.

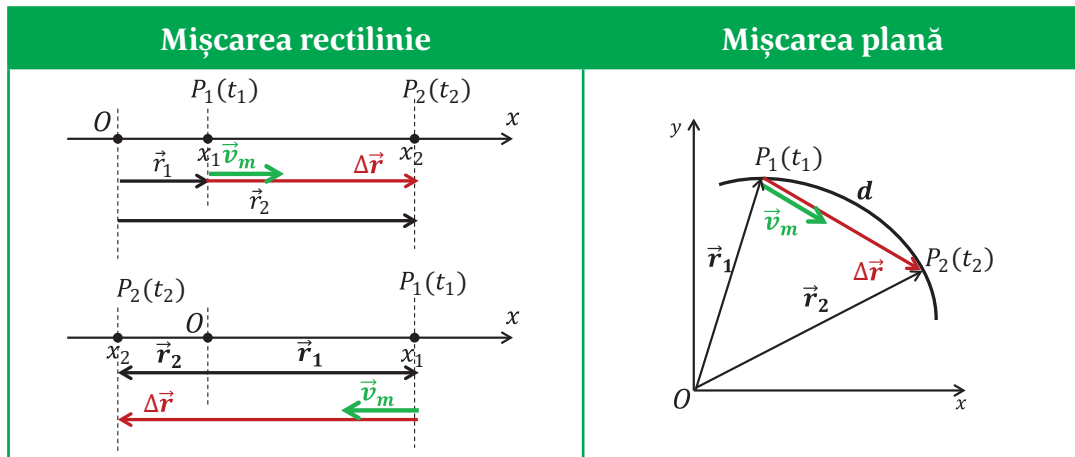
Unitatea de măsură a vitezei în SI este: $\langle v \rangle_{SI} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$



Elementele **vectorului viteză medie** sunt:

- *punctul de aplicație* – este chiar mobilul;
- *direcția* – aceeași cu a deplasării $\Delta \vec{r}$;
- *sensul* – același cu al deplasării $\Delta \vec{r}$;
- *modulul* – $|\vec{v}_m| = \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t}$.

În mișcarea rectilinie, după alegerea unui sens pozitiv al axei, **viteza** poate avea semn pozitiv sau negativ, în funcție de sensul mișcării:



Viteza instantanee (momentană)

Trenul de mare viteză din imaginea alăturată atinge o viteză de 250 km/h pe rutele de mare viteză. Totuși, în anumite momente vitezometrul arată 150 km/h, iar în altele, 350 km/h.

Viteza înregistrată de vitezometru reprezintă *viteza instantanee*, denumită și *viteză momentană*.



Viteza instantanee (momentană) ($\vec{v}$) este viteza pe care o are mobilul la un moment dat.

Viteza unui mobil la momentul t_1 este egală cu raportul dintre deplasare și durata deplasării atunci când *durata devine foarte mică* ($\Delta t \rightarrow 0$), adică momentul t_2 este foarte aproape de momentul t_1 .

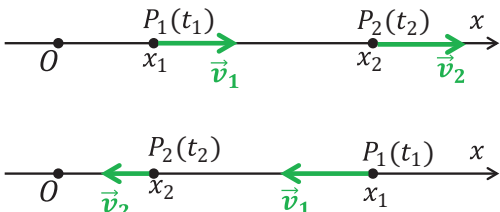
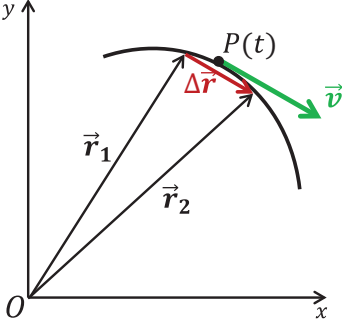
Vectorul viteză instantanee ($\vec{v}$) arată viteza mobilului la un anumit moment. El se obține împărțind vectorul deplasare corespunzător unui interval de timp foarte mic, din jurul aceluși moment, la acel interval de timp.

$$\vec{v} = \left[\frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \right]_{\Delta t \rightarrow 0}$$

vectorul viteză instantanee (m/s) ———— $\vec{v}$ ———— **vector deplasare** (m) ———— $\Delta \vec{r}$ ———— **interval de timp care tinde spre zero** (s) ———— Δt

- ✓ În **mișcarea rectilinie**, vectorul viteză are întotdeauna aceeași direcție cu mișcarea. Sensul lui este același cu sensul în care se deplasează mobilul. Dacă mobilul se mișcă în sensul pozitiv al axei alese, viteza este pozitivă. Dacă se mișcă în sensul opus, viteza este negativă.
- ✓ În **mișcarea plană**, direcția mișcării se poate schimba de la un moment la altul. Dacă analizăm mișcarea pe un interval de timp foarte mic, deplasarea mobilului are direcția tangentei la traiectorie în punctul considerat. De aceea, vectorul viteză instantanee este tangent la traiectorie și are sensul mișcării.

Ca urmare, **vectorii viteză instantanee** se prezintă astfel:

Mișcarea rectilinie	Mișcarea plană
 <i>punctul de aplicație</i> – este chiar mobilul <i>direcția</i> – aceeași cu a deplasării $\Delta \vec{r}$ <i>sensul</i> – același cu al deplasării $\Delta \vec{r}$	 <i>punctul de aplicație</i> – este chiar mobilul <i>direcția</i> – este tangentă la traiectorie <i>sensul</i> – același cu al deplasării $\Delta \vec{r}$

...problemă rezolvată

Un elev se deplasează cu o trotinetă electrică pe o stradă dreaptă (considerăm sensul spre școală ca fiind pozitiv). El parcurge 300 m spre școală în timp de 150 s. Apoi își dă seama că a uitat telefonul mobil acasă și se întoarce 400 m, într-un timp de 200 s. Află viteza medie vectorială a elevului pe întreg intervalul de timp.

Rezolvare:

$$\begin{aligned}\Delta x_1 &= 300 \text{ m} \\ \Delta x_2 &= -400 \text{ m} \\ \Delta t_1 &= 150 \text{ s} \\ \Delta t_2 &= 200 \text{ s} \\ \hline v_m &= ?\end{aligned}$$

Având în vedere sensul pozitiv către școală, deplasarea are loc în două etape: spre școală și înapoi spre casă. Modulul vitezei medii vectoriale se calculează cu raportul dintre deplasarea totală și durata mișcării:

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{300 \text{ m} - 400 \text{ m}}{150 \text{ s} + 200 \text{ s}} \approx -0,29 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Interpretarea rezultatului. Semnul (-) arată că, în ansamblu, elevul s-a deplasat în sens opus celui ales (pozitiv – spre școală). Chiar dacă inițial a mers spre școală, a mers mai mult înapoi.

Accelerația. Vectorul accelerație

...de amintit

Accelerația arată cât de repede se schimbă viteza unui corp. În imaginile următoare sunt trei situații în care viteza se modifică, atât ca modul (dacă viteza mobilului crește sau scade), cât și ca direcție (dacă traiectoria sa este curbilinie).

Racheta accelerează la decolare	Avionul încetinește la aterizare	Bicicleta își modifică direcția de mers în curbă
		

Aceeași schimbare a vitezei se poate produce într-un timp mai lung sau într-un timp mai scurt. De aceea, pentru a compara două mișcări, nu este suficient să spunem cât s-a schimbat viteza, ci și în cât timp s-a produs această schimbare.

...de reținut

Accelerația medie (a_m) arată cum se schimbă viteza într-un anumit interval de timp. Ea se calculează împărțind variația vitezei la durata acestei variații.

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

accelerația medie (m/s²) variația vitezei (m/s) interval de timp (s)

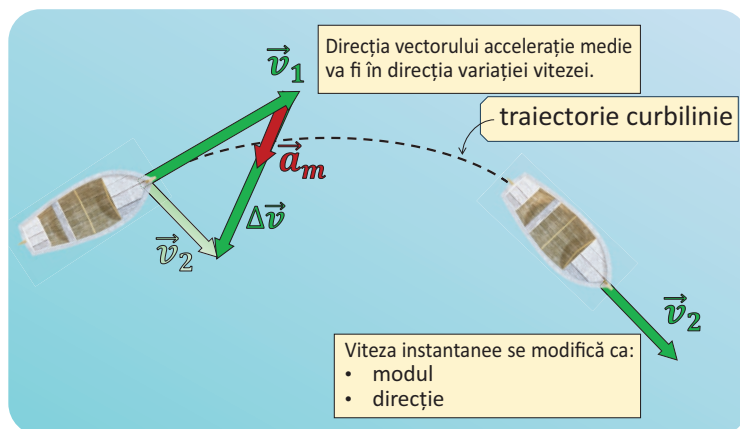
Observație: În mișcarea rectilinie, după alegerea unui sens pozitiv al axei, accelerația medie poate avea semn pozitiv sau negativ.

Unitatea de măsură a accelerației în SI este: $\langle a \rangle_{SI} = \frac{m}{s^2}$

Accelerația instantanee (momentană) (a) arată cum se schimbă viteza la un anumit moment (într-un interval de timp foarte mic). Ea poate fi privită ca accelerația calculată pe un interval de timp foarte mic.

Exemplu: Să ne imaginăm o barcă mișcându-se cu viteză constantă. În timpul unei întoarceri, ea își va schimba (fără a încetini) direcția. Viteza sa instantanee se modifică atât ca mărime, cât și ca direcție.

Vectorul accelerație medie are direcția schimbării vitezei și se calculează ca raportul dintre variația vitezei și intervalul de timp. Dacă luăm intervale de timp foarte mici, accelerația medie se apropie de accelerația instantanee. Prin urmare accelerația trebuie definită ca vector.



Vectorul accelerație medie ($\vec{a}_m$) este egal cu raportul dintre variația vectorului viteză și durata acestei variații.

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

vectorul accelerația medie (m/s²) variația vectorului viteză (m/s) interval de timp (s)

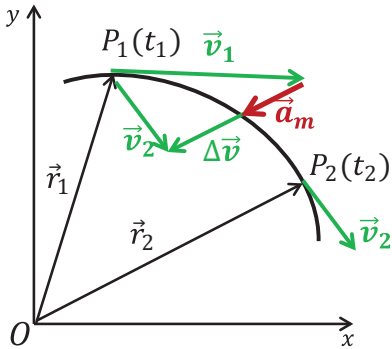
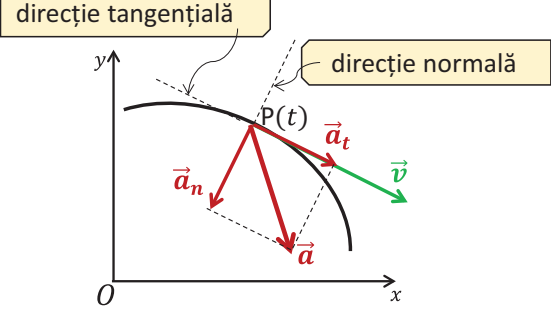
Așa cum se vede în figura de mai sus, variația vectorului viteză este tot un vector care are originea în vârful vectorului viteză inițială (v_1) și vârful în vârful vectorului viteză finală (v_2).

Vectorul accelerație instantanee ($\vec{a}$) este variația vectorului viteză calculată pentru un interval de timp foarte mic, în jurul unui moment t și împărțită la acest interval.

$$\vec{a} = \left[\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \right]_{\Delta t \rightarrow 0}$$

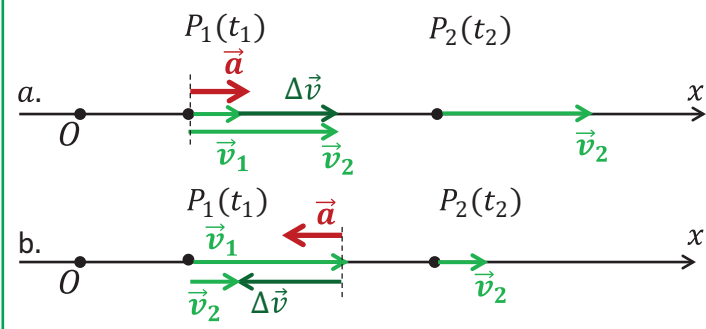
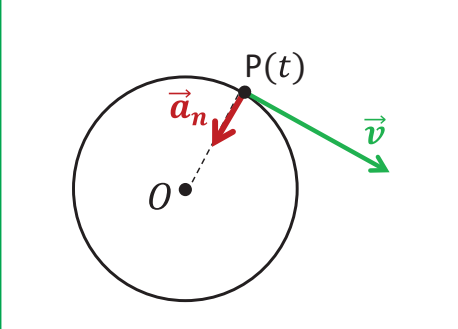
vectorul accelerația instantanee (m/s²) variația vectorului viteză (m/s) interval de timp care tinde spre zero (s)

Vectorii accelerație medie și instantanee, **în mișcarea curbilinie**, sunt prezentați în tabelul de mai jos:

Vectorul accelerație medie	Vectorul accelerație instantanee
 <i>punctul de aplicație</i> – este chiar mobilul <i>direcția</i> – aceeași cu a vectorului variația vitezei $\Delta \vec{v}$ <i>sensul</i> – același cu al vectorului variația vitezei $\Delta \vec{v}$ (spre interiorul curbei spre partea concavă a traiectoriei)	 Vectorul accelerație instantanee se descompune după două direcții, obținându-se două componente ale vectorului $\vec{a}$: • direcția tangențială (direcția vitezei) – accelerația tangențială ($\vec{a}_t$) • direcția normală (direcția radială) – accelerația normală ($\vec{a}_n$) $\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$

Accelerația tangențială este datorată variației modului vitezei, iar accelerația normală este datorată modificării direcției vitezei.

- ✓ În **mișcarea rectilinie**, accelerația are aceeași direcție cu viteza. Dacă viteza crește, accelerația are același sens cu viteza. Dacă viteza scade, accelerația are sens opus vitezei.
- ✓ În mișcarea pe o **traiectorie curbată**, accelerația poate apărea și atunci când nu se schimbă valoarea vitezei, ci numai direcția ei. De aceea, în mișcarea circulară uniformă există accelerație chiar dacă viteza are modul constant.

Mișcarea rectilinie variată	Mișcarea circulară uniformă
	

...problemă rezolvată

O elevă merge spre școală pe o trotinetă electrică cu viteza de 18 km/h. Pentru a opri în siguranță la trecerea de pietoni, frânează și se oprește complet în 5,0 s. Află accelerația medie în această mișcare.

Rezolvare:

$$\begin{array}{l} v_0 = 18 \frac{\text{km}}{\text{h}} \\ v = 0 \\ \Delta t = 5 \text{ s} \\ \hline a_m = ? \end{array}$$

- Transformăm viteza inițială de 18 km/h în m/s:

$$v_0 = 18 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{18 \cdot 10^3 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

- Accelerația medie se calculează cu formula:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{\Delta t} = \frac{(0 - 5) \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = -1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

- Semnul „-” indică faptul că trotineta încetinește (frânează).



...verifică înțelegerea

- Un patinator de viteză pleacă de la linia de start, parcurge 50 m înainte și se întoarce la linia de start în 20 s. Calculează: viteza medie vectorială și viteza medie scalară.
- Explică de ce viteza instantanee poate fi diferită în fiecare moment, chiar dacă viteza medie este constantă.
- În ce cazuri viteza medie scalară și cea vectorială coincid?
- Viteza medie a Dorei atunci când face jogging este de 1,8 m/s, timp de 1500 s. Ce distanță a parcurs ea? Rotunjește rezultatul la 2 cifre semnificative.
- Este corectă următoarea afirmație a unui corespondent TV?
„Să presupunem că o cameră este montată la intrarea pe A3 dinspre Cristian spre Râșnov, iar alta la ieșirea de pe autostradă, adică la 6 km distanță. Pe acest tronson limita de viteză este de 130 km/h. Dacă șoferul ajunge la o a doua cameră într-un timp mai scurt, înseamnă că a circulat cu o viteză mai mare decât limita admisă și va fi amendat.”
- Accesează link-ul: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/ladybug-motion-2d>.
 - Trasează o traiectorie oarecare pentru buburuză cu mouse-ul și observă vectorii care apar.
 - Cum se schimbă direcția vectorilor viteză?
 - Cum se schimbă vectorii accelerație?
 - Observă punctele unde buburuza încetinește și accelerează.
 - Care sunt vectorii accelerație în aceste puncte?
 - Vectorul accelerație este orientat întotdeauna în sensul vitezei?
 - Setează buburuza să se miște pe un cerc cu viteză constantă.
 - Describe vectorii viteză și accelerație care apar.
 - În ce direcție este orientat vectorul accelerație?
 - Explică de ce accelerația există chiar dacă modulul vitezei rămâne constant.
 - Dacă mărim viteza buburuzei pe cerc:
 - Cum se modifică lungimea vectorului accelerație?
 - Ce se întâmplă cu vectorul viteză instantanee?
 - Cum arată vectorii accelerație și viteză într-o schimbare rapidă de direcție generată manual, de la mouse?



Curiozități...

Accelerația nu descrie mărimea sau masa corpului, ci felul în care i se schimbă viteza. Un dragster poate „zbura” de la viteza zero la viteza maximă într-o clipă, dar accelerația lui scade după ce ajunge la viteză constantă. Așa că viteza medie și cea instantanee pot fi complet diferite!



Tipuri de mișcări

Mișcarea corpurilor se poate clasifica după **forma traiectoriei** și după **variația vectorului viteză**. Aceeași mișcare poate aparține simultan ambelor clasificări.

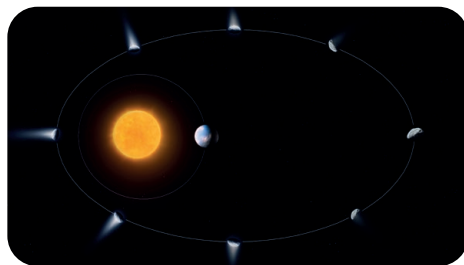
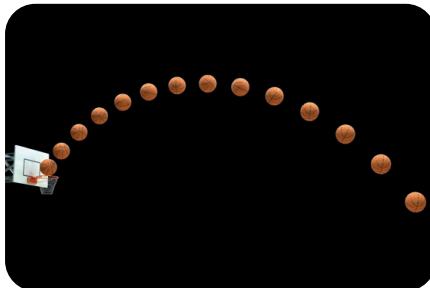
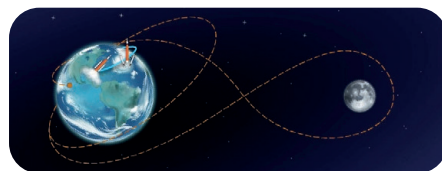
A. Clasificarea mișcării după forma traiectoriei

- **Mișcarea rectilinie:** traiectoria este o linie dreaptă (de exemplu: căderea liberă, un lift care coboară, un tren Maglev care se deplasează de-a lungul unor șine drepte magnetice).

Scanează codul QR pentru a vizualiza căderea liberă.

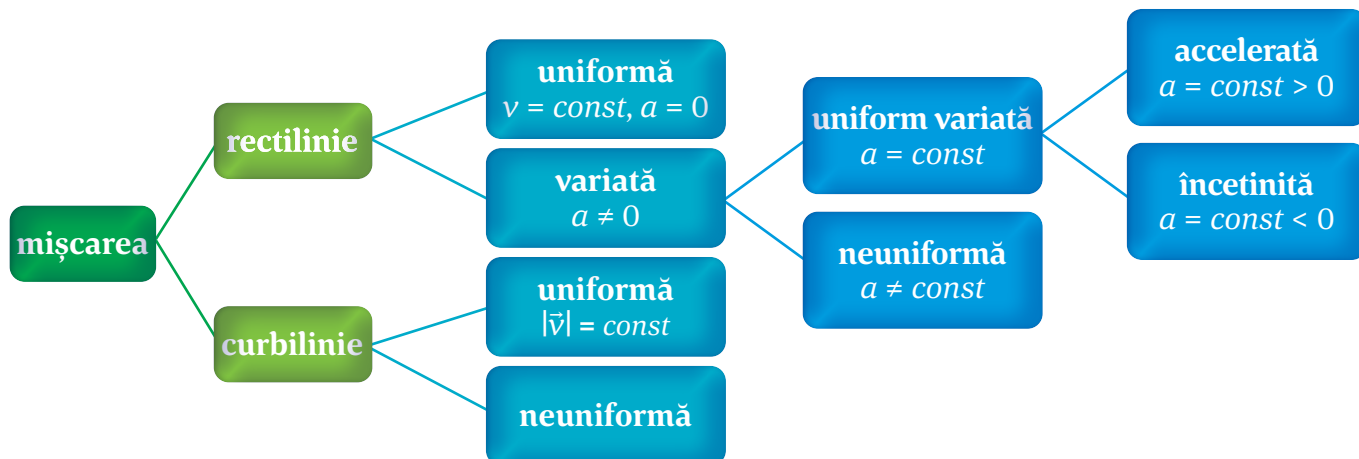
- **Mișcarea curbilinie:** traiectoria este o linie curbă.

- Mișcarea circulară: traiectoria este un cerc (de exemplu: mișcarea unui fir de praf pe un disc de vinil, mișcarea scaunelor caruselului)
- Mișcarea parabolică: traiectoria este o parabolă (de exemplu: lansarea unui proiectil cu un tun, aruncarea unei mingi de baschet spre coș)
- Mișcarea eliptică: traiectoria este o elipsă (de exemplu: orbitele unei comete în jurul Soarelui)



B. Clasificarea mișcării după variația vitezei

- **Mișcarea uniformă:** în care mărimea vitezei nu variază, rămâne constantă.
- **Mișcarea uniform variată:** în care mărimea vitezei crește sau scade cu aceeași valoare în intervale de timp egale, iar accelerația este constantă și diferită de zero (de exemplu: căderea liberă – cu accelerație gravitațională).
- **Mișcarea neuniformă:** în care accelerația nu este constantă (de exemplu: mișcarea unei mașini în trafic).



1. Mișcarea rectilinie uniformă

...provocare

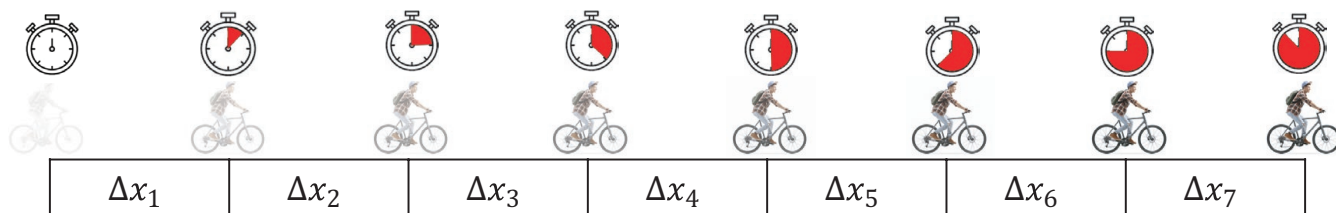
Un elev se deplasează cu bicicleta, pe un drum drept, spre școală. El observă că, în fiecare zi, parcurge aceeași distanță în același interval de timp.

Putem spune că se deplasează cu viteză constantă? Cum am putea verifica acest lucru? Cum putem descrie matematic această mișcare?



...de amintit

În timpul unei *mișcări rectilinii uniforme* mobilul se deplasează pe o traiectorie de forma unei linii drepte, parcurgând deplasări/distanțe egale în intervale de timp egale.



...de reținut

„Aceeași deplasare în același timp” înseamnă „aceeași viteză”.

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \text{const} \quad (1)$$

În mișcarea rectilinie uniformă, viteza nu se schimbă de la un moment la altul. De aceea, viteza medie și viteza momentană au aceeași valoare în orice interval de timp.

$$v = v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{t - t_0} \quad (2)$$

viteza mobilului (m/s) — v
 coordonata mobilului la momentul t (m) — x
 coordonata mobilului la momentul t_0 (m) — x_0
 momentul inițial (s) — t_0
 momentul final (s) — t

Mișcarea rectilinie uniformă este mișcarea mobilului pe o traiectorie de forma unei linii drepte cu viteză constantă ($v = v_m = \text{const}$).

Pentru că viteza este constantă, poziția mobilului se schimbă uniform în timp. De aceea, coordonata mobilului poate fi scrisă sub forma unei relații simple între poziție și timp, numită **legea mișcării rectilinii uniforme**:

$$x = x_0 + v(t - t_0) \quad (3)$$

Prin urmare, *graficul coordonatei de poziție în funcție de timp este o dreaptă*.

Observații:

- Dacă momentul inițial coincide cu momentul pornirii cronometrului, atunci $t_0 = 0$ și legea se poate scrie:

$$x = x_0 + v \cdot t \quad (4)$$

- Dacă la momentul inițial $t_0 = 0$ mobilul se află în originea axei de coordonate, $x_0 = 0$, legea devine:

$$x = v \cdot t \quad (5)$$

Graficul mișcării rectilinii uniforme în planul xOt este o dreaptă. Forma acestei drepte depinde de poziția inițială a mobilului ($x_0 > 0$ sau $x_0 < 0$) și de sensul vitezei ($v > 0$ sau $v < 0$).

Să analizăm cum se reflectă aceste aspecte în diferite situații concrete:

...problemă rezolvată

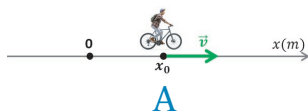
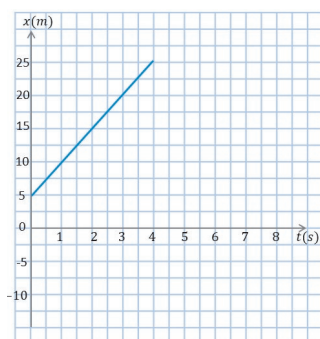
Mișcarea rectilinie a unui biciclist este descrisă, pe rând, de fiecare dintre următoarele legi de mișcare:

$$x = 5 + 5t \text{ (m)}; \quad x = 5 - 5t \text{ (m)}; \quad x = -5 + 5t \text{ (m)} \quad \text{și} \quad x = -5 - 5t \text{ (m)}$$

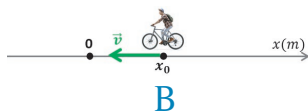
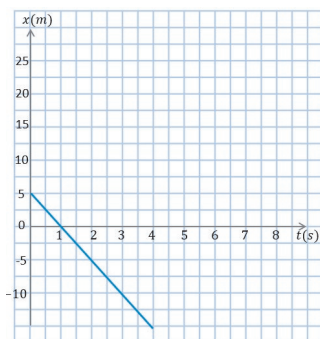
- Precizează semnificația coeficienților numerici din ecuație, pentru fiecare situație notată, pe rând, cu A, B, C și D.
- Reprezintă grafic legea de mișcare în planul de coordonate xOt , pentru fiecare caz în parte.
- Ce reprezintă coordonatele punctelor de intersecție a graficului cu axele de coordonate Ot și Ox ?

Rezolvare:

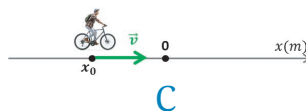
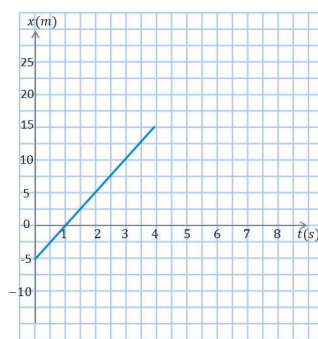
A. $x_0 = 5 \text{ m}; v = 5 \text{ m/s}$



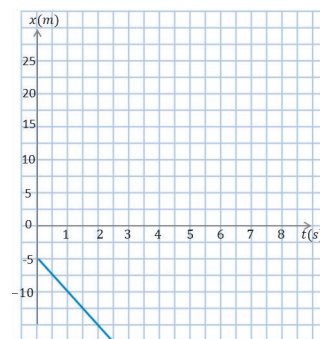
B. $x_0 = 5 \text{ m}; v = -5 \text{ m/s}$



C. $x_0 = -5 \text{ m}; v = 5 \text{ m/s}$



D. $x_0 = -5 \text{ m}; v = -5 \text{ m/s}$



- Dacă panta graficului este pozitivă, mișcarea are loc în sensul pozitiv al axei Ox ($v > 0$), iar dacă panta este negativă, mișcarea are loc în sens opus ($v < 0$).
- Intersecția cu axa Ox reprezintă coordonata inițială x_0 . Intersecția cu axa Ot reprezintă momentul la care mobilul trece prin originea O a axei Ox .

...verifică înțelegerea

1. Dacă graficul mișcării se reprezintă printr-o dreaptă orizontală, ce poți spune despre mișcarea descrisă de acesta?
2. Pot două mobile aflate în mișcare rectilinie uniformă să aibă grafice paralele în planul xOt dacă vitezele lor sunt diferite? Explică acest lucru.
3. Cum poți determina viteza unui mobil atunci când cunoști două puncte de pe graficul $x(t)$?
4. Cum recunoști din graficul de mișcare al unui mobil dacă viteza lui este pozitivă sau negativă?
5. Mișcarea rectilinie a unui ciclist este descrisă de următoarea lege de mișcare: $x = -10 + 4t \text{ (m)}$.
 - a. Precizează semnificația coeficienților numerici din ecuație.
 - b. Reprezintă grafic legea de mișcare în planul de coordonate xOt .
 - c. Ce reprezintă coordonatele punctelor de intersecție a graficului cu axele de coordonate Ot și Ox ?

2. Mișcarea rectilinie uniform variată



...provocare

Este posibil ca o mașină care pornește cu accelerație mică să ajungă din urmă un bolid care se deplasează uniform cu o viteză constantă mare?

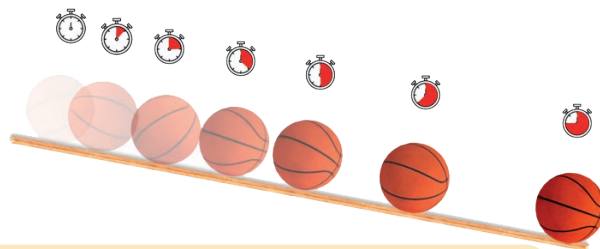
...de amintit

La mișcarea mobilelor nu doar viteza contează, ci și accelerația. Mișcarea cu viteză constantă este mai degrabă o excepție; în realitate, viteza se schimbă aproape mereu.

Să presupunem că lăsăm o minge să se rostogolească pe un plan înclinat și filmăm mișcarea folosind funcția *slow motion*. Din înregistrare, determinăm viteza mingii la intervale de timp egale (vezi figura de mai jos).

t (s)	0	1	2	3	4	5	6
v (m/s)	0	2	4	6	8	10	12

Observăm că viteza crește în fiecare secundă, iar creșterea este constantă ($\Delta v = 2$ m/s). Prin urmare, mișcarea este uniform variată.



Mișcarea rectilinie uniform variată este mișcarea rectilinie a punctului material a cărui viteză crește sau scade cu aceeași valoare, la intervale de timp egale, ceea ce arată că accelerația este constantă.

...de reținut

Accelerația arată cât se schimbă viteza într-un interval de timp. Deoarece în acest caz accelerația este constantă, ea va fi egală cu accelerația medie. Se poate scrie:

$$a = a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} \quad (1)$$

Mișcarea rectilinie uniform variată este mișcarea punctului material pe o traiectorie rectilinie cu accelerație constantă.

Legea vitezei

Din relația (1) se obține **legea vitezei** sau **ecuația vitezei în mișcarea rectilinie uniform variată**:

$$v = v_0 + a(t - t_0) \quad (2)$$

Diagram illustrating the equation components:

- v : viteza mobilului la momentul t (m/s)
- v_0 : viteza mobilului la momentul t_0 (m/s)
- a : accelerația (m/s²)
- t : moment final (s)
- t_0 : moment inițial (s)

- Relația (2) arată că viteza mobilului variază liniar în timp (spunem că este o funcție liniară de timp).
- Dacă viteza și accelerația au același semn, modulul vitezei crește, deci mișcarea este accelerată.
- Dacă viteza și accelerația au semne opuse, modulul vitezei scade, deci mișcarea este încetinită.

Legea mișcării

În mișcarea rectilinie uniform variată, viteza nu este constantă, ci se schimbă în timp. În aceste condiții, nu mai putem calcula direct distanța folosind formula cunoscută pentru mișcarea uniformă. Pentru a determina distanța parcursă sau coordonata mobilului la un moment dat, folosim viteza medie, v_m , pe intervalul de timp considerat.

În mișcarea rectilinie uniform variată, **viteza medie** se calculează ca medie aritmetică a vitezelor inițială v_0 și finală v la momentul t :

$$v_m = \frac{v_0 + v}{2} \quad (3)$$

Astfel, distanța parcursă într-o mișcare uniform variată într-un interval de timp dat este aceeași cu distanța parcursă de un mobil care se deplasează uniform cu viteză medie.

$$\Delta x = x - x_0 = v_m(t - t_0) = \frac{v_0 + v}{2}(t - t_0) \quad (4)$$

Aplicând legea vitezei (2), după prelucrarea ecuației (4) se obține **legea mișcării mobilului în mișcare uniform variată**:

$$x = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2 \quad (5)$$

Diagram illustrating the components of equation (5):

- x : coordonata la momentul t (m)
- x_0 : coordonata inițială la momentul t_0 (m)
- v_0 : viteza inițială (m/s)
- a : accelerația (m/s²)

Ecuația lui Galilei

În unele situații, intervalul de timp în care are loc mișcarea nu este cunoscut sau nu este ușor de determinat. În aceste cazuri, este util să folosim o relație care leagă direct viteza de variația coordonatei de poziție, fără a mai interveni și durata mișcării.

Dacă se elimină timpul între legea vitezei (2) și legea mișcării (5) se obține o ecuație care face legătura între viteză și coordonata de poziție, numită **ecuația lui Galilei**:

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) \quad (6)$$

Diagram illustrating the components of equation (6):

- v^2 : pătratul vitezei (m²/s²)
- v_0^2 : pătratul vitezei inițiale (m²/s²)
- a : accelerația (m/s²)
- $x - x_0$: variația coordonatei de poziție (m)

În viața reală, este important să știm nu doar cum se mișcă un mobil, ci și cum se oprește. De exemplu, un șofer trebuie să știe în cât timp și pe ce distanță se poate opri în siguranță.

Timpul de oprire, notat cu t_{op} , este intervalul de timp necesar unui mobil pentru a-și reduce viteza până la zero. Folosind condiția de oprire $v = 0$, în legea vitezei (2) cu $t_0 = 0$, se obține:

$$t_{op} = -\frac{v_0}{a} \quad (7)$$

Distanța parcursă până la oprire, notată cu d_{op} , este distanța parcursă de mobil din momentul începerii frânării până la oprire.

Din ecuația lui Galilei (6) cu $x_0 = 0$, utilizând condiția de oprire $v = 0$, obținem: $0 = v_0^2 + 2a \cdot d_{op}$, de unde

$$d_{op} = -\frac{v_0^2}{2a} \quad (8)$$

În mișcarea rectilinie uniform variată există mai multe relații matematice. Alegerea corectă a formulei depinde de mărimile cunoscute și de ceea ce dorim să determinăm. Pentru a rezolva corect problemele, este util să organizăm aceste relații într-un tabel și să folosim un mod logic de selecție.

legea	forma generală	dacă ($t_0 = 0, x_0 = 0$)	dacă ($v_0 = 0, t_0 = 0, x_0 = 0$)	când o folosesc?
Legea vitezei	$v = v_0 + a(t - t_0)$	$v = v_0 + at$	$v = at$	când am de aflat viteza
Legea mișcării	$x = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2$	$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$	$x = \frac{1}{2}at^2$	când am de aflat distanța
Ecuatia lui Galilei	$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$	$v^2 = v_0^2 + 2ax$	$v^2 = 2ax$	când nu am timpul

...problemă rezolvată

Un biciclist își începe plimbarea de dimineață deplasându-se cu viteza de 6 m/s. La un moment dat, îi apare în față un câine și frânează uniform, cu accelerația $a = -3 \text{ m/s}^2$. Determină: **a)** timpul până la oprire; **b)** distanța parcursă până la oprire.



Rezolvare:

$$v_0 = 6 \text{ m/s}$$

$$a = -3 \text{ m/s}^2$$

$$\text{a) } t_{op} = ?$$

$$\text{b) } d_{op} = ?$$

a) Se cunoaște accelerația constantă, $a = -3 \text{ m/s}^2$, că are sens opus vitezei, de aceea *mișcarea este uniform încetinită*. De asemenea, se cunoaște viteza inițială, v_0 , cu care se deplasează biciclistul, care în final *frânează* și se va opri, adică în final *viteza lui devine zero* ($v = 0$).

• Vom folosi legea vitezei: $v = v_0 + at$.

• Pentru a afla timpul de oprire, t_{op} , punem condiția de oprire $v = 0$: $0 = v_0 + a t_{op}$.

• Timpul de oprire va fi: $t_{op} = -\frac{v_0}{a} = -\frac{6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{-3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2 \text{ s}$.

b) Se cunosc viteza inițială v_0 , viteza finală ($v = 0$) și accelerația a , dar nu se cunoaște timpul.

• Pentru a afla distanța parcursă până la oprirea biciclistului, se folosește ecuația lui Galilei: $0^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$; dar $d_{op} = (x - x_0)$.

Distanța parcursă de biciclist până la oprire este: $d_{op} = -\frac{v_0^2}{2a} = -\frac{36 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \cdot (-3) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 6 \text{ m}$.

Așadar, biciclistul va avea nevoie de 2 s pentru a se opri și de 6 m distanță până la câine.

...verifică înțelegerea

- Un tren se deplasează înainte și frânează. Accelerația este: **a.** pozitivă; **b.** negativă; **c.** zero.
- Un lift pornește de jos și începe să urce din ce în ce mai repede. Mișcarea sa este: **a.** uniformă; **b.** accelerată; **c.** încetinită.
- Dacă viteza și accelerația au același semn: **a.** mobilul încetinește; **b.** mobilul accelerează; **c.** mobilul se oprește.
- Mergi pe bicicletă și nu mai pedalezi. Ce se întâmplă?
a. accelerația este zero; **b.** viteza rămâne constantă; **c.** viteza scade.

Curiozități...



În opera sa „Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove scienze” (1638), Galileo Galilei a prezentat o soluție ingenioasă pentru a urmări rostogolirea unei bile pe un plan înclinat: a imaginat un sistem cu clopoței așezați la distanțe speciale pe un plan înclinat, astfel încât bila, care se mișcă cu accelerație constantă, să îi lovească la intervale de timp egale. El a presupus că bila parcurge distanțe din ce în ce mai mari în același interval de timp, ceea ce ar implica ideea că viteza crește uniform. În acest caz, distanța parcursă ar fi proporțională cu pătratul timpului.

INVESTIGAȚIE

Determinarea vitezei medii în mișcarea rectilinie

În jurul nostru observăm permanent corpuri aflate în mișcare: oameni, biciclete, autoturisme, păsări sau avioane. Deși aceste mișcări par foarte diferite, ele pot fi descrise cu ajutorul acelorași mărimi fizice: **distanța parcursă**, **durata mișcării** și **viteza medie**.

În această investigație vei determina viteza medie a unei persoane în diferite situații și vei observa cum aceasta se modifică în funcție de modul în care persoana se deplasează.

...de amintit

Rapiditatea mișcării unui corp este descrisă de o mărime fizică numită *viteză medie* (v_m), care se calculează cu relația: $v_m = \frac{d}{\Delta t}$, unde d este distanța parcursă, iar Δt este durata mișcării.



Întrebarea de investigat:

O persoană se deplasează mai repede atunci când merge cu pași mari sau atunci când merge cu pași mici?



Ipoteză

Scrive în caiet ipoteza ta. Precizează ce variantă consideri că va conduce la o viteză mai mare și explică, pe scurt, de ce crezi acest lucru. La finalul investigației vei compara ipoteza formulată cu rezultatele obținute.



Proiectarea experimentului:

- 1. Materiale necesare:** ruletă, cronometru, bandă de hârtie adezivă, un voluntar;
- 2. Identificarea variabilelor**

VARIABILA INDEPENDENTĂ	VARIABILA DEPENDENTĂ	VARIABLE CONTROLATE
Modul de deplasare al voluntarului: 1. cu pași mici 2. cu pași mari	Durata mișcării (pentru distanța parcursă)	• aceleași distanțe măsurate • aceeași suprafață • același voluntar • deplasare fără alergare

3. Modul de lucru:

- Măsoară cu ruleta o distanță dreaptă de 15 m pe holul școlii sau în curte.
- Marchează cu bandă adezivă linia de START, apoi reperele de la 5 m, 10 m și 15 m.
- Așază voluntarul la linia de start și pregătește cronometrul.
- La semnalul „Start!” pornește cronometrul. Voluntarul va începe mișcarea, deplasându-se cu pași mici, cât de repede poate, fără a alerga.
- Oprește cronometrul când voluntarul ajunge la reperul de 5 m și notează durata deplasării.
- Repetă măsurarea pentru 10 m și 15 m.
- Reia experimentul în aceleași condiții, schimbând doar modul de deplasare a voluntarului (cu pași mari, fără a alerga).
- Notează toate valorile măsurate în tabel.



Înregistrarea datelor experimentale:

Completează valorile măsurate în coloanele 3 și 7 ale unui tabel de tipul:

Modul de deplasare	Distanța (m)	Durata (s)	Viteza medie (m/s)	Modul de deplasare	Distanța (m)	Durata (s)	Viteza medie (m/s)
Cu pași mici	5			Cu pași mari	5		
	10				10		
	15				15		



Prelucrarea și analiza datelor experimentale

Calculează viteza medie a voluntarului, pentru fiecare distanță parcursă și fiecare mod de deplasare. Trece valorile obținute în coloanele corespunzătoare.



Formularea concluziilor

Analizează valorile obținute pentru viteza medie în fiecare caz. Notează concluziile tale și compară-le cu ipoteza formulată.

...întrebări de reflecție

1. Ce factori ar putea influența rezultatele experimentale?
2. De ce este important ca variabilele controlate să rămână constante?
3. Crezi că rezultatele ar fi fost diferite dacă experimentul ar fi fost realizat cu un alt voluntar? Explică.
4. Cum s-ar modifica viteza medie dacă distanța parcursă ar crește, iar timpul ar rămâne același? Dar dacă distanța parcursă rămâne aceeași și timpul crește?

Observarea sistematică a activității și comportamentului elevilor pe parcursul unității de învățare

Completează următorul chestionar:

1. Cel mai mult mi-a plăcut
2. Cel mai puțin m-a interesat
3. Am întâmpinat dificultăți în a înțelege
4. Am nevoie de clarificări în legătură cu

Pe parcursul orelor m-am simțit:



PROBLEME PROPUSE

1. Deplasându-se cu un aerostat, un navigator aflat în nacelă își alege drept reper balonul cu aer cald al aerostatului. Cum este el în raport cu balonul?
 - a. în repaus;
 - b. în mișcare.
2. Răspunde prin *adevărat* sau *fals*:
 - a. Un avion care zboară de la Budapesta la Roma poate fi considerat un punct material a cărui poziție la un moment dat este dată de coordonatele sale geografice.
 - b. Un tren care face manevre într-un depou este asimilabil cu un punct material.
 - c. Un submarin aflat în Oceanul Pacific poate fi considerat un punct material a cărui poziție la un moment dat este dată de coordonatele sale geografice.
3. Alege litera corespunzătoare răspunsului corect:
 - A. Unitatea de măsură pentru viteză în SI este:
 - a. $\frac{m}{s}$;
 - b. $\frac{m}{s^2}$;
 - c. $\frac{m^2}{s}$;
 - d. $\frac{s}{m}$.
 - B. Un mobil parcurge 100 m în 20 s. Viteza medie este:
 - a. $0,2 \frac{m}{s}$;
 - b. $2 \frac{m}{s}$;
 - c. $5 \frac{m}{s}$;
 - d. $10 \frac{m}{s}$.
 - C. Un mobil are viteza inițială de 10 m/s și accelerația de 2 m/s^2 . Viteza mobilului după 3 s este:
 - a. $16 \frac{m}{s}$;
 - b. $6 \frac{m}{s}$;
 - c. $12 \frac{m}{s}$;
 - d. $20 \frac{m}{s}$.
4. În cât timp parcurge o antilopă americană distanța de 10 km cu o viteză medie de $50 \frac{km}{h}$?
5. Un automobil trece de la viteza de $54 \frac{km}{h}$ la viteza de $90 \frac{km}{h}$ în timp de 5 s. Calculează accelerația lui.
6. Un mobil pornește de la repaus cu accelerația constantă $a = 2 \frac{m}{s^2}$. Calculează:
 - a. viteza mobilului după 5 s;
 - b. distanța parcursă în acest timp.

Curiozități...

Cea mai mare viteză atinsă de un om este de aproximativ 12,4 m/s (peste 44 km/h) și a fost înregistrată la Campionatele Mondiale de Atletism din 2009, în cursa de 100 m plat, de sportivul jamaican Usain Bolt.



7. Alege litera corespunzătoare răspunsului corect:

- A. Ciclistul danez Jonas Vingegaard conduce plutonul în etapa finală a Turului Franței. El se află în stare de mișcare față de:
- a. recipientul de apă fixat pe cadrul bicicletei;
 - b. ochiul de piscă fixat pe roata din față;
 - c. banda de puls fixată pe piept.
- B. Urmele lăsate de schiuri pe zăpadă reprezintă:
- a. deplasarea;
 - b. sistemul de referință;
 - c. mobilul;
 - d. traiectoria.
- C. Un călător pornește dintr-un punct de pe suprafața Pământului și se deplasează continuu, alegând în fiecare moment direcția sud-vest. Unde va ajunge, după un timp suficient de lung?

- a. în punctul de plecare;
- b. la Polul Nord;
- c. la Polul Sud;
- d. pe Ecuator.

- D. Accelerația este o mărime fizică:
- a. vectorială și derivată;
 - b. vectorială și fundamentală;
 - c. scalară și derivată;
 - d. vectorială și fundamentală.
- E. Un roller-coaster frânează uniform de la 20 m/s la 0 în 4 s. Accelerația acestuia este:
- a. 5 m/s²;
 - b. -5 m/s²;
 - c. -4 m/s²;
 - d. 4 m/s².
- F. În mișcarea rectilinie uniform accelerată:
- a. viteza scade;
 - b. accelerația este constantă și diferită de zero;
 - c. viteza este constantă și diferită de zero;
 - d. deplasarea este zero.

TEST DE EVALUARE

I. (1p) Dacă apreciezi că enunțul este adevărat, scrie litera A, iar dacă este fals, scrie litera F.

1. Punctul material este un model fizic.	
2. Mobilul este un punct material aflat în repaus.	
3. Viteza instantanee poate fi diferită de viteza medie.	
4. Dacă accelerația este zero, viteza este constantă.	

II. (2p) Află răspunsurile corecte ale itemilor, știind că fiecare are un singur răspuns corect.

A. Unitatea de măsură pentru accelerație în SI este:

- a. $\frac{m}{s}$;
- b. $\left(\frac{s}{m}\right)^2$;
- c. $\frac{m^2}{s}$;
- d. $\frac{m}{s^2}$.

B. În cazul în care viteza este constantă:

- a. accelerația este maximă;
- b. accelerația este minimă;
- c. accelerația este zero;
- d. distanța este zero.

C. În mișcarea rectilinie uniformă:

- a. viteza crește;
- b. accelerația este constantă și diferită de zero;
- c. viteza este constantă și diferită de zero;
- d. deplasarea este zero.

D. Mișcarea în care un corp parcurge distanțe egale în intervale de timp egale este:

- a. uniform variată;
- b. uniform accelerată;
- c. uniform încetinită;
- d. uniformă.

E. Viteza este o mărime fizică:

- a. vectorială și derivată;
- b. vectorială și fundamentală;
- c. scalară și derivată;
- d. scalară și fundamentală.

III. (2p) Completează spațiile libere:

- a. Sistemul de referință, notat prescurtat cu SR, este ansamblul format din corpul de referință (.....), (reprezentat de o axă sau sistem de coordonate) și (sau ceasornic).
- b. reprezintă linia care unește punctele ce corespund pozițiilor succesive ale mobilului în mișcarea sa.
- c. Mișcarea rectilinie uniformă este mișcarea mobilului pe o traiectorie de forma unei linii cu constantă.
- d. Mișcarea rectilinie uniform variată este mișcarea rectilinie a punctului material a cărui crește sau scade cu aceeași valoare, la intervale de timp egale, ceea ce arată că este constantă.

IV. Rezolvă următoarele probleme:

A. (1,5p) Calculează accelerația unui automobil care frânează uniform de la 54 $\frac{km}{h}$ până la oprire în 5 s.

B. (2,5p) Un automobil se deplasează pe un drum național cu viteza de 90 $\frac{km}{h}$. La un moment dat, îi apare în față un câine și frânează uniform, cu accelerația de 5 $\frac{m}{s^2}$. Determină:

- a. timpul până la oprire;
- b. distanța parcursă până la oprire.

Se acordă 1 punct din oficiu.

PRINCIPIILE MECANICII NEWTONIENE ȘI APLICAREA ACESTORA



3

Podul Çanakkale, construit peste strâmtoarea Dardanele din nord-vestul Turciei, este una dintre marile realizări ale ingineriei moderne. El impresionează prin dimensiuni și prin faptul că are una dintre cele mai mari deschideri centrale din lume pentru un pod suspendat. Un astfel de pod nu este doar o construcție spectaculoasă, ci și un foarte bun exemplu pentru a înțelege cum acționează forțele asupra corpurilor. *Ce face ca un asemenea pod să rămână stabil? Ce forțe acționează asupra lui? Cum contribuie cablurile, pilonii și întreaga structură la susținerea podului?* Întrebări asemănătoare apar nu doar în cazul unor construcții uriașe, ci și în multe situații obișnuite din viața de zi cu zi. De fiecare dată când împingi un obiect, ridici un ghiozdan, mergi cu autobuzul sau frânezi pe bicicletă, forțele sunt prezente și influențează mișcarea corpurilor. De fapt, forțele influențează fiecare moment al vieții tale.

Principiile dinamicii newtoniene

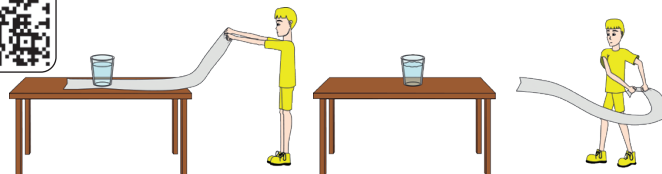
1. Principiul inerției

Cinematica este partea mecanicii care descrie mișcarea corpurilor, fără a analiza cauzele care o produc. **Dinamica** este ramura mecanicii care studiază legătura dintre forțe și mișcarea corpurilor, sau a sistemelor de corpuri. Fundamentul dinamicii îl constituie principiile mișcării formulate de Isaac Newton.

...provocare

Ai observat ce se întâmplă dacă tragi brusc de o față de masă pe care este așezat un pahar cu apă?

De ce paharul nu „pleacă” odată cu fața de masă? De ce este important să tragi brusc? Ce s-ar întâmpla dacă ai trage încet fața de masă?

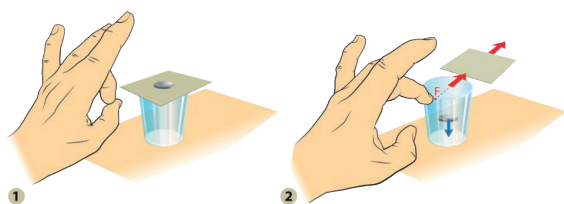


...de amintit

Inerția este proprietatea unui corp de a-și păstra starea de mișcare rectilinie și uniformă sau de repaus până în momentul în care o forță externă acționează asupra sa.

Pentru a descrie mișcarea unui corp, folosim un *sistem de referință* alcătuit dintr-un corp de referință, un sistem de axe de coordonate și un dispozitiv de măsurare a timpului.

...experiment



Un experiment asemănător celui cu paharul așezat pe fața de masă poți realiza utilizând o monedă, o bucată de carton și un pahar. Așază cartonul exact peste deschiderea paharului, pune moneda deasupra, în centru, și lovește-l rapid, lateral cu degetul. Asupra cartonului acționează din partea degetului o forță orizontală mare, în timp ce asupra monedei acționează forța de frecare

dintre monedă și carton. Forța de frecare acționează un timp foarte scurt, nefiind suficientă pentru a modifica starea de repaus a monedei. Moneda va cădea în pahar sub acțiunea forței de greutate. În concluzie, moneda tinde să rămână în repaus datorită inerției.

Așadar, pentru a pune în mișcare un corp, pentru a-l opri sau pentru a-i modifica traiectoria, trebuie să acționăm asupra lui.

...de reținut

Orice corp își păstrează starea de repaus sau de mișcare rectilinie uniformă atât timp cât rezultanta forțelor care acționează asupra sa este nulă.

Acest enunț exprimă **principiul inerției**, descoperit de Galileo Galilei și formulat de Isaac Newton ca **principiu I al dinamicii**.

Proprietatea corpurilor de a-și menține starea de repaus sau de mișcare rectilinie uniformă se numește **inerție**. Mărimea fizică ce caracterizează inerția unui corp este **masa**. Cu cât masa unui corp este mai mare, cu atât inerția sa este mai mare și este mai dificil să-i fie schimbată starea de mișcare. În Sistemul Internațional, **unitatea de măsură** pentru masă este **kilogramul** (kg). Kilogramul este o **unitate de măsură fundamentală**.

Un sistem de referință în care este valabil principiul inerției se numește **sistem de referință inerțial**. Două sisteme de referință aflate în repaus unul față de celălalt sau în mișcare rectilinie uniformă unul față de celălalt sunt ambele sisteme inerțiale.

...verifică înțelegerea

Compară, din perspectiva principiului I al dinamicii, mișcarea pucului în hocheiul pe gheață și în hocheiul pe masă cu pernă de aer. În răspunsul tău, fă referire la forțele care acționează asupra pucului, la tipul de mișcare al acestuia și la durata deplasării sale.



2. Principiul fundamental al mecanicii newtoniene

Principiul I al lui Newton se referă la situațiile în care un corp își păstrează starea de repaus sau de mișcare rectilinie uniformă. Există însă și situații în care viteza unui corp se modifică, fie prin schimbarea valorii sale, fie prin schimbarea direcției. Aceste situații sunt explicate de principiul al II-lea al dinamicii.

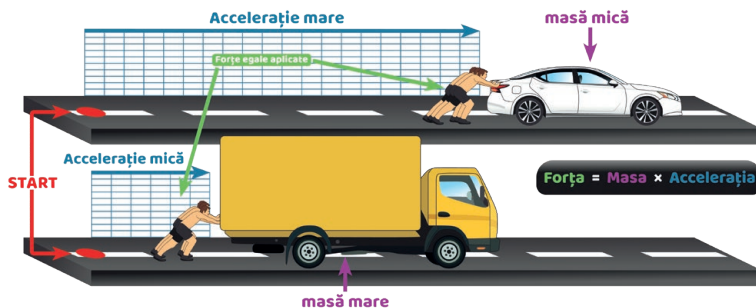
...de amintit

Interacțiunea reprezintă acțiunea reciprocă dintre două corpuri. Efectele acestei interacțiuni pot fi statice, atunci când corpurile se deformează, sau dinamice, atunci când se modifică starea lor de mișcare.

Mărimea fizică ce caracterizează interacțiunea dintre corpuri este *forța*, o mărime fizică vectorială. Prin acțiunea forțelor se poate modifica starea de repaus sau de mișcare a unui corp.

...experiment intuitiv

Să comparăm accelerația produsă unui autoturism și, respectiv, unui camion atunci când asupra ambelor acționează o forță de aceeași mărime: În aceste condiții, autoturismul va avea o accelerație mai mare decât camionul, deoarece masa sa este mai mică.



...de reținut

Orice forță aplicată unui corp îi modifică valoarea și/sau orientarea vitezei, adică îi imprimă o accelerație. Aceeași forță produce accelerații diferite unor corpuri cu mase diferite: cu cât masa corpului este mai mare, cu atât accelerația produsă este mai mică.

Principiul fundamental al mecanicii newtoniene, numit și **principiul al II-lea al lui Newton**, exprimă legătura dintre forța rezultantă care acționează asupra unui corp, masa acestuia și accelerația produsă.

Dacă asupra unui corp acționează o forță rezultantă constantă, corpul va avea o accelerație constantă, adică viteza sa se modifică.

Accelerația este direct proporțională cu mărimea forței rezultante, are aceeași direcție și același sens cu aceasta și este invers proporțională cu masa corpului (**Principiul fundamental al mecanicii**).

Altfel spus, *vectorul forță este egal cu produsul dintre masă și vectorul accelerație*.

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

forța (N)
accelerația ($\frac{m}{s^2}$)
masa (kg)

Unitatea de măsură pentru forță este: $\langle F \rangle_{SI} = 1 \text{ N (Newton)}$. Prin definiție, **1 Newton** este egal cu mărimea acelei forțe care, aplicată unui corp cu masa de 1 kg, îi imprimă o accelerație de 1 m/s^2 .

Relația $F = m \cdot a$ arată cum forța rezultantă modifică mișcarea unui corp. În descrierea mișcării unui corp sunt importante atât viteza, cât și masa acestuia. Două corpuri se pot deplasa cu aceeași viteză, dar dacă au mase diferite, mișcarea lor nu este la fel de ușor de modificat. De aceea, este utilă o mărime care să țină seama atât de masa corpului, cât și de viteza sa, iar fizica folosește o mărime care ține seama de ambele, și anume *impulsul*.

Impulsul unui corp este o mărime vectorială egală cu produsul dintre masa corpului și viteza sa:

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

Direcția și sensul impulsului coincid cu direcția și sensul vitezei.

Unitatea de măsură în Sistem Internațional pentru impuls este: $\langle p \rangle_{SI} = \langle m \rangle_{SI} \cdot \langle v \rangle_{SI} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{N} \cdot \text{s}$.

Până acum am văzut că o forță rezultantă produce accelerație. Putem exprima aceeași idee și spunând că forța rezultantă modifică impulsul corpului. Cu cât impulsul unui corp se modifică mai mult într-un anumit interval de timp, cu atât forța rezultantă care acționează asupra lui este mai mare.

Astfel, **principiul al II-lea al lui Newton** poate fi formulat și astfel:

Forța rezultantă care acționează asupra unui corp este egală cu variația impulsului său raportată la intervalul de timp în care se produce această variație.

Așadar, principiul al II-lea al lui Newton poate fi exprimat în două moduri echivalente: fie prin legătura dintre forță, masă și accelerație, fie prin legătura dintre forță și variația impulsului.

Principiul fundamental al mecanicii reprezintă o descriere cantitativă a modificărilor pe care o forță le poate produce asupra mișcării unui corp. Acest principiu afirmă că viteza de variație în timp a impulsului unui corp este egală, atât ca mărime, cât și ca direcție, cu forța aplicată asupra acestuia.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta(m \cdot \vec{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}, \text{ pentru un } \Delta t \text{ foarte mic}$$

...problemă rezolvată

Un tren care se deplasează rectiliniu uniform are impulsul inițial $p_1 = 3\,600 \text{ N} \cdot \text{s}$. Trenul începe să accelereze sub acțiunea unei forțe orizontale constante, de modul necunoscut F , aplicată în sensul mișcării. Dacă impulsul trenului crește de 1,5 ori în intervalul de timp $\Delta t = 30 \text{ s}$, determină valoarea forței F .

$$\begin{array}{l|l} \text{Rezolvare: } p_1 = 3600 \text{ N}\cdot\text{s} & F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{p_2 - p_1}{\Delta t} = \frac{1,5 p_1 - p_1}{\Delta t} \Rightarrow F = \frac{1,5 \cdot 3600 \text{ N}\cdot\text{s} - 3600 \text{ N}\cdot\text{s}}{30 \text{ s}} = 60 \text{ N} \\ p_2 = 1,5 p_1 & \\ \Delta t = 30 \text{ s} & \\ \hline F = ? & \end{array}$$

...verifică înțelegerea

Studiu de caz. Pornirea și frânarea unui autobuz

Un autobuz aflat în stație pornește de pe loc sub acțiunea unei forțe rezultante constante. După un timp ajunge la o anumită viteză, iar apoi șoferul frânează, astfel încât autobuzul își micșorează uniform viteza până la oprire.

Cunoști următoarele informații: masa autobuzului (cu pasageri) $m = 8\,000 \text{ kg}$; forța rezultantă $F_1 = 16\,000 \text{ N}$; forța rezultantă la frânare are același modul, dar sens opus.

Cerințe:

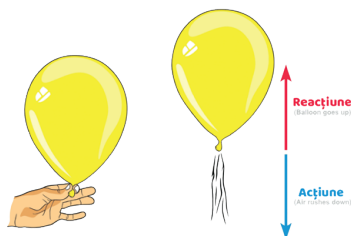
- Determină accelerația autobuzului la pornire.
- Precizează direcția și sensul accelerației în timpul pornirii față de forța rezultantă.
- Determină accelerația autobuzului în timpul frânării.
- Compară valoarea accelerației cu cea de la pornire.

3. Principiul acțiunilor reciproce

Ai învățat că un corp își păstrează starea de repaus sau de mișcare rectilinie uniformă atunci când forța rezultantă care acționează asupra lui este nulă. Dar forțele nu apar de la sine: ele apar atunci când corpurile interacționează. Modul în care două corpuri acționează unul asupra celuilalt este explicat de *principiul al III-lea al lui Newton*, numit și *principiul acțiunilor reciproce*.

...provocare

Două fete stau pe câte un *hoverboard*, față în față, și se împing ușor una pe cealaltă. De ce se îndepărtează amândouă, chiar dacă doar una dintre fete „împinge”?



...experiment intuitiv

Atunci când gura unui balon umflat este eliberată, aerul din interior iese spre exterior. La rândul său, aerul care iese exercită o forță asupra balonului, determinându-l să se deplaseze în sens opus.

...experiment

Doi elevi țin capetele a două dinamometre în linie dreaptă. Un elev trage ușor, apoi mai puternic; celălalt opune rezistență (nu îl lasă să se apropie). Un al treilea elev citește simultan valorile de pe ambele dinamometre.

Observație: Cele două dinamometre vor indica aceeași valoare (de exemplu, 3 N și 3 N).

Concluzie: forța cu care un corp A trage de un alt corp B este egală ca valoare cu forța cu care corpul B trage de corpul A.



...de reținut

Principiul acțiunii și reacțiunii afirmă că:

Dacă un corp acționează asupra altui corp cu o forță, numită **acțiune**, cel de-al doilea corp acționează asupra primului cu o forță egală în modul și opusă ca sens, numită **reacțiune**.

Cu alte cuvinte, forțele nu apar izolat, ci întotdeauna în perechi, fiecare forță fiind însoțită de o altă forță corespunzătoare.

Acest principiu explică modul în care două corpuri acționează unul asupra celuilalt, fie prin contact direct, fie de la distanță. Din punct de vedere matematic, dacă un corp A exercită o forță asupra unui corp B, atunci corpul B exercită asupra corpului A o forță:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

Principiul al III-lea al lui Newton descrie interacțiunea dintre corpuri, nu efectul mișcării. Cele două forțe:

- apar simultan;
- sunt egale ca mărime;
- au sensuri opuse;
- sunt de aceeași natură (ambele de contact sau ambele la distanță);
- acționează pe corpuri diferite.

Deși aceste forțe sunt egale, ele nu se anulează, deoarece nu acționează asupra aceluiași corp. Din acest motiv, fiecare corp va avea propria accelerație, determinată de masa sa, conform principiului al II-lea al dinamicii.

Concluzie: Principiul acțiunii și reacțiunii este fundamental pentru înțelegerea mișcării în natură și tehnologie. El explică deplasarea organismelor vii, funcționarea mijloacelor de transport și interacțiunile mecanice din viața cotidiană, fiind indispensabil în studiul mecanicii newtoniene.

...problemă rezolvată



În timpul unei ore de educație fizică desfășurate pe un teren neted, două eleve, A și B, se află pe role și stau față în față, inițial în repaus. Suprafața este considerată suficient de netedă încât frecările pot fi neglijate. Eleva A, având masa $m_A = 50 \text{ kg}$, o împinge pe eleva B, care are masa $m_B = 70 \text{ kg}$, exercitând asupra acesteia o forță constantă de 35 N , pe direcția drepte care le unește. În urma interacțiunii, cele două eleve încep să se deplaseze. Determină:

- forța exercitată de eleva B asupra elevei A;
- acelerația fiecărei eleve.

Compară mișcările celor două eleve și explică diferențele observate.

Rezolvare:

$$m_A = 50 \text{ kg}$$

$$m_B = 70 \text{ kg}$$

$$F_{AB} = 35 \text{ N}$$

$$\text{a) } F_{BA} = ?$$

$$\text{b) } a_B = ?$$

a) Conform principiului acțiunii și reacțiunii, $F_{BA} = F_{AB} \Rightarrow F_{BA} = 35 \text{ N}$.

$$\text{b) } F_{AB} = m_A \cdot a_A \Rightarrow a_A = \frac{F_{AB}}{m_A} \Rightarrow a_A = \frac{35 \text{ N}}{50 \text{ kg}} = 0,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

$$F_{BA} = m_B \cdot a_B \Rightarrow a_B = \frac{F_{BA}}{m_B} \Rightarrow a_B = \frac{35 \text{ N}}{70 \text{ kg}} = 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Deși forțele sunt egale, accelerațiile celor două eleve sunt diferite. Eleva A (cu masa mai mică) are accelerație mai mare. Cele două persoane se deplasează în sensuri opuse.

...verifică înțelegerea

1. Precizează în fiecare din cazurile de mai jos: acțiunea, reacțiunea și efectul produs:

- un înotător care împinge peretele bazinului;
- mingea care lovește pământul;
- zborul păsărilor;
- mersul pe jos.



2. Un elev sare vertical de pe loc.

- Identifică forța de acțiune și corpul asupra căruia acționează.
- Identifică forța de reacțiune și corpul asupra căruia acționează.
- Explică de ce elevul se ridică de la sol.



...temă de PORTOFOLIU – Principiul acțiunii și reacțiunii în viața reală

Alege o situație reală (din sport, viața cotidiană, natură sau tehnologie) în care se aplică principiul acțiunii și reacțiunii și realizează un material de portofoliu care să conțină:

- descrierea situației (5-7 rânduri);
- identificarea celor două corpuri care interacționează;
- precizarea clară a forței de acțiune și a forței de reacțiune;
- un desen, o fotografie sau o schemă în care să fie reprezentate forțele;
- o concluzie în care să explici de ce forțele nu se anulează.

Interacțiuni prin contact

În viața de zi cu zi, corpurile nu își schimbă starea de mișcare de la sine. Un obiect pornește, se oprește, își schimbă direcția sau se deformează deoarece interacționează cu alte corpuri din jurul său. Uneori aceste interacțiuni au loc de la distanță, dar foarte multe dintre situațiile pe care le observăm în mod obișnuit apar atunci când corpurile se află în contact direct.

Atunci când un corp este așezat pe o suprafață, împins, tras, suspendat de un fir sau întins de un arc, între el și corpurile din jur apar interacțiuni de contact. Aceste interacțiuni se manifestă prin forțe care acționează la nivelul suprafețelor de atingere. Ele pot susține un corp, îl pot pune în mișcare, îi pot schimba direcția de deplasare sau îl pot opri.

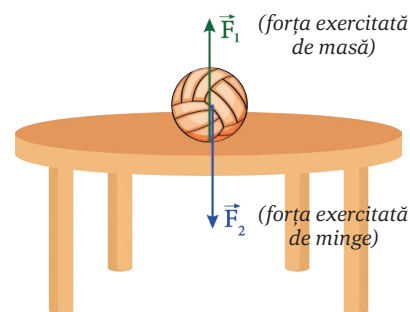
Pentru a înțelege și explica mișcarea corpurilor, este important să studiem aceste interacțiuni de contact. Ele ne ajută să aplicăm corect principiile lui Newton și să interpretăm situații întâlnite în viața reală. Forța normală, forța de frecare, forța de tensiune și forța elastică sunt exemple importante de forțe de contact.

1. Forțe de apăsare, forțe de frecare

Forța de apăsare normală

Ai observat că o minge așezată pe o masă nu cade, deși este atrasă de Pământ? Sau că un om poate sta în picioare fără să se afunde în podea?

În toate aceste situații, asupra corpului acționează o forță exercitată de suprafața de sprijin, care împiedică mișcarea corpului în direcția acesteia.



... de reținut

Forța de apăsare normală $\vec{F}_n$ este forța cu care un corp acționează asupra suprafeței pe care se sprijină atunci când se află în contact cu aceasta. Ea se numește „normală” deoarece are direcție perpendiculară pe suprafața de contact, indiferent de orientarea acesteia. Conform principiului acțiunii și reacțiunii, suprafața de sprijin exercită asupra corpului o forță egală în modul, de aceeași direcție și de sens opus. Această forță se numește **forță de reacțiune normală (forță normală)** și este perpendiculară pe suprafața de sprijin.

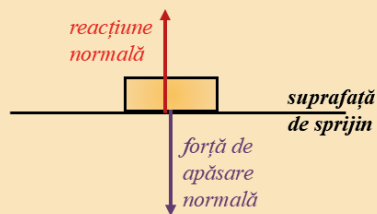
Caracteristicile forței de reacțiune normală:

- ▶ Simbolul: $\vec{N}$.
- ▶ Punctul de aplicație este pe corp, chiar pe suprafața de contact.
- ▶ Direcția forței este perpendiculară pe suprafața de contact dacă suprafața este plană. Dacă suprafața este sferică, aceste forțe au direcția razei de curbura a suprafeței.
- ▶ Sensul este dinspre suprafața de sprijin spre corp.
- ▶ Nu există o formulă specifică de calcul – valoarea ei depinde de masa corpului, de orientarea suprafeței de sprijin și de existența altor forțe care acționează asupra corpului.
- ▶ Unitatea de măsură în SI este: $\langle N \rangle_{SI} = N$ (Newton)
- ▶ Instrumentul de măsură este dinamometrul.

Forța de apăsare normală și reacțiunea normală acționează asupra a două corpuri diferite, de aceea ele au punctele de aplicație diferite. Forța de apăsare normală acționează asupra suprafeței pe care stă corpul, iar cea de reacțiune normală (care are sens opus) acționează asupra corpului.

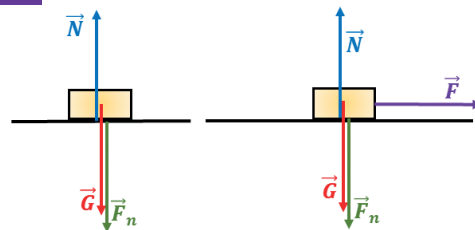
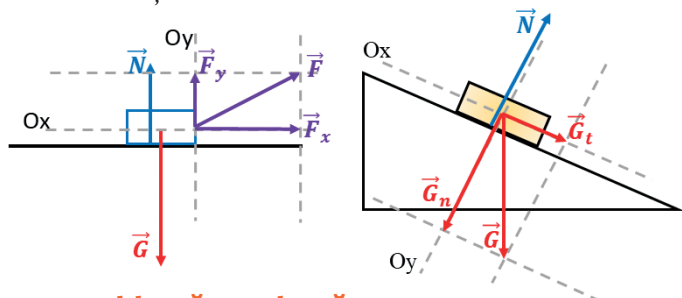
Forța de apăsare normală (F_n) și reacțiunea normală (N) sunt forțe pereche și, conform principiului acțiunii și reacțiunii, sunt egale în modul,

au aceeași direcție (perpendiculară pe suprafață) și sensuri opuse. Valoarea forței de apăsare normală se modifică în funcție de înclinația suprafeței și de forțele aplicate asupra corpului.



Modulul reacțiunii normale (care este forță pereche cu apăsarea normală) este egal cu modulul greutateii corpului în două situații:

- ▶ când corpul este în repaus pe o suprafață orizontală;
- ▶ când corpul se mișcă pe o suprafață orizontală, tras de o forță de tracțiune orizontală.



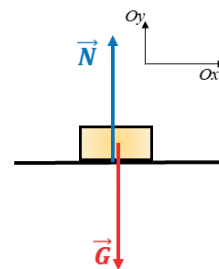
Modulul reacțiunii normale nu este egal cu modulul greutateii corpului, de exemplu în situațiile:

- ▶ când corpul se deplasează pe o suprafață orizontală tras de o forță de tracțiune oblică;
- ▶ când corpul urcă sau coboară pe o suprafață.

... problemă rezolvată

Un corp cu masa $m = 5 \text{ kg}$ este așezat pe un plan orizontal. Se consideră accelerația gravitațională $g = 10 \text{ m/s}^2$. Determină forța de apăsare normală exercitată de corp asupra planului.

Rezolvare: $m = 5 \text{ kg}$ $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ $N = ?$	Principiul fundamental: $\vec{G} + \vec{N} = 0$. Proiecția pe Oy: $N - G = 0 \Rightarrow N = G = m \cdot g$ $N = 5 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 50 \text{ N}$
--	--



... verifică înțelegerea

1. De ce forța de apăsare normală nu este egală cu greutatea pe un plan înclinat?
2. Ce se întâmplă cu forța de apăsare normală dacă masa corpului se dublează?
3. Poate exista frecare fără forța de apăsare normală? Argumentează.

Forța de frecare

... provocare

Încearcă să împingi ușor o carte aflată pe bancă. Observă ce se întâmplă. Acum împinge mai tare. La un moment dat, cartea începe să se miște. După ce a pornit, este mai ușor sau mai greu să o menții în mișcare?

... de reținut

Atunci când un corp alunecă sau se rostogolește pe o suprafață, la zona de contact apare o forță care se opune mișcării corpului. Această forță se numește **forță de frecare**.

Atunci când un corp se află în repaus pe o suprafață, iar asupra lui acționează o forță care tinde să-l pună în mișcare, apare **forța de frecare statică**. De exemplu, dacă împingem ușor o ladă grea, aceasta nu se deplasează. În această situație, frecarea statică echilibrează forța aplicată, astfel încât corpul rămâne în repaus.

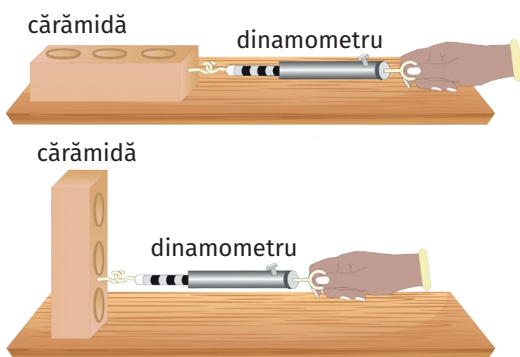
Frecarea statică nu are o valoare constantă. Ea se adaptează valorii forței aplicate și crește odată cu aceasta, până la o valoare maximă. Atât timp cât forța aplicată nu depășește această valoare maximă, corpul nu începe să se miște. Când forța aplicată devine mai mare decât valoarea maximă a frecării statice, corpul pornește din repaus și începe să alunece. Din acest moment, acționează **forța de frecare la alunecare**, numită și **frecare dinamică**. Aceasta apare atunci când un corp se deplasează prin alunecare pe o suprafață solidă și are, în general, o valoare aproximativ constantă, dacă suprafețele rămân aceleași. În general, frecarea la alunecare este mai mică decât valoarea maximă a frecării statice. De aceea, este mai ușor să menținem un corp în mișcare decât să îl punem în mișcare.

Caracteristicile forței de frecare:

- ▶ Simbolul: $\vec{F}_f$.
- ▶ Punctul de aplicație este pe corp (forța acționează asupra corpului), în apropierea suprafeței de contact.
- ▶ Direcția este tangentă la suprafața de contact, coincide cu direcția de mișcare a corpului.
- ▶ Sensul este opus sensului de mișcare al corpului.
- ▶ Modulul forței de frecare este dat de relația matematică: $F_f = \mu \cdot N$
 - μ : coeficient de frecare
 - N : forța de reacțiune normală (N)
 - F_f : forța de frecare (N)
- ▶ Unitatea de măsură în SI este: $\langle F_f \rangle_{SI} = \text{N}$ (Newton).
- ▶ Instrumentul de măsură este dinamometrul.

Legile frecării la alunecare

Pe baza observațiilor experimentale au fost formulate legile frecării la alunecare, care evidențiază factorii de care depinde această forță.

... de reținut

Prima lege a frecării afirmă faptul că **forța de frecare la alunecare nu depinde de aria suprafeței de contact**, atât timp cât forța de apăsare normală rămâne aceeași.

De exemplu, un bloc de lemn de formă paralelipipedică tras fie pe fața mare, fie pe fața mică va întâmpina aceeași frecare.

A doua lege a frecării arată că **forța de frecare la alunecare este direct proporțională cu forța de apăsare normală** exercitată pe suprafața de contact. Cu cât corpul apasă mai puternic pe suprafață, cu atât frecarea este mai mare.

$$F_f = \mu \cdot N \implies \mu = \frac{F_f}{N} \implies \langle \mu \rangle_{SI} = \frac{N}{N} = 1$$

Coeficientul de frecare la alunecare „ μ ” este o mărime adimensională (fără unitate de măsură), de regulă subunitară. Acesta depinde de natura materialelor aflate în contact și de starea suprafețelor (netede, rugoase, uscate, lubrificate). În cadrul modelului clasic, el nu depinde de aria suprafeței de contact și nici de viteza de alunecare.

... problemă rezolvată

Un ghiozdan are masa de 1,2 kg. În ghiozdan se află manuale și caiete, a căror masă totală este de 3,8 kg. Un elev trage ghiozdanul pe podeaua clasei, considerată orizontală. Cunoscând coeficientul de frecare la alunecare dintre ghiozdan și podea $\mu = 0,35$, determină forța de frecare la alunecare care acționează asupra ghiozdanului. Consideră $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Rezolvare: $M = 1,2 \text{ kg}$, $m = 3,8 \text{ kg}$ $\mu = 0,35$ $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ $F_f = ?$	$F_f = \mu \cdot N$ Principiul fundamental: $\vec{G} + \vec{N} = 0$ Proiecția pe Oy: $N - G = 0 \Rightarrow N = G = (M + m) \cdot g \Rightarrow F_f = \mu \cdot (M + m) \cdot g$ $F_f = 0,35 \cdot (1,2 + 3,8) \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 17,5 \text{ N}$
---	--

... verifică înțelegerea

1. De ce este mai dificil să pui un corp în mișcare decât să îl menții în mișcare pe o suprafață solidă? Explică folosind noțiunile de frecare statică și frecare la alunecare.
2. De ce forța de frecare la alunecare depinde de natura suprafețelor aflate în contact, dar nu depinde de aria suprafeței de contact?

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

Tensiunea în fir

În viața de zi cu zi întâlnim adesea fire, sfori sau cabluri care susțin, ridică sau pun în mișcare diferite corpuri. De exemplu, o lampă poate fi suspendată de tavan, un lift sau o telecabină se deplasează cu ajutorul unor cabluri, iar la unele aparate de fitness greutatea sunt ridicate prin intermediul acestora.

... provocare

Când tragi de mânerul unui aparat de fitness, greutatea se ridică prin intermediul unui cablu. Cum poate acest cablu să transmită forța până la greutate? Ce forță se transmite prin el?

Pentru a descrie astfel de situații, în mecanică folosim noțiunea de *tensiune mecanică* sau *tensiune în fir*.



... de reținut

Atunci când un corp este legat de un fir întins, între corp și fir apare o interacțiune mecanică. Firul exercită asupra corpului o forță orientată de-a lungul său, iar corpul exercită asupra firului o forță de aceeași mărime și de sens opus, conform principiului acțiunii și reacțiunii. Forța cu care firul acționează asupra corpului se numește **tensiunea firului** și se notează, de obicei, cu T . Direcția acestei forțe este de-a lungul firului. Forțe de același tip pot apărea și în alte elemente care leagă corpuri între ele, cum sunt barele sau tijele.

Caracteristicile forței de tensiune în fir:

- ▶ Simbolul: $\vec{T}$
- ▶ Este exercitată de fir și acționează asupra corpului.
- ▶ Punctul de aplicație este pe corp, la capătul firului dinspre corp (punctul în care firul se leagă de corp).
- ▶ Direcția este de-a lungul firului/barei, coincide cu direcția forței care întinde/comprimă firul sau bara.
- ▶ Sensul este de la corp spre fir sau bară/tijă (la întindere) și invers (la comprimarea barei/tije).
- ▶ Modulul forței de tensiune este dat de relațiile matematice ale celorlalte forțe care acționează asupra corpului agățat de fir/bară/tijă, fiind o forță de reacțiune.
- ▶ Unitatea de măsură în SI este: $\langle T \rangle_{SI} = \text{N}$ (Newton)
- ▶ Instrumentul de măsură este dinamometrul.

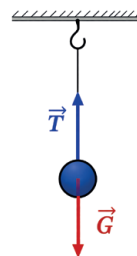
... experiment intuitiv

Să analizăm cazul unui corp suspendat vertical de un fir.

- Când corpul se află în repaus, asupra lui acționează: greutatea, orientată vertical în jos, și tensiunea firului, orientată vertical în sus. Deoarece corpul este în echilibru mecanic, rezultanta forțelor este nulă, deci tensiunea firului este egală în valoare cu greutatea corpului: $T = G$.
- Când corpul se deplasează vertical, tensiunea firului nu mai este, în general, egală cu greutatea.

Atunci când corpul este ridicat cu accelerație, tensiunea firului este mai mare decât greutatea, deoarece firul trebuie nu doar să susțină corpul, ci și să îi producă accelerația. În acest caz, aplicând principiul fundamental al dinamicii, obținem: $m \cdot a = T - G$. Atunci când corpul coboară cu accelerație, tensiunea firului este mai mică decât greutatea. În această situație: $m \cdot a = G - T$.

În rezolvarea problemelor de fizică, firul este considerat adesea ideal, adică fără masă, inextensibil și perfect flexibil. În aceste condiții, dacă nu apar frecări, tensiunea are aceeași valoare în toate punctele firului.



... problemă rezolvată

Pentru a studia tensiunea într-un fir, un corp de masă $m = 3 \text{ kg}$ este ridicat vertical cu accelerația $a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Determină tensiunea în fir. (Consideră $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

Rezolvare: $m = 3 \text{ kg}$

$$a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$T = ?$$

Conform principiului fundamental al dinamicii:

$$m \cdot a = T - G \Rightarrow T = m \cdot a + m \cdot g = m \cdot (a + g)$$

$$T = 3 \text{ kg} \cdot \left(2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 36 \text{ N}$$

... verifică înțelegerea

Imaginează-ți că într-o sală de sport este suspendată de tavan o minge medicinală cu masa de 2 kg, prinsă de un fir rezistent. Mingea stă nemișcată, în echilibru. Ce forță suportă firul care ține mingea? (Consideră $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

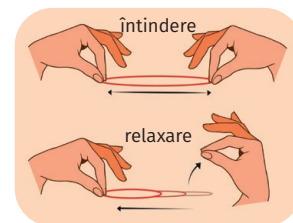
Forța deformatoare. Forța elastică

În viața de zi cu zi întâlnim multe situații în care corpurile își schimbă forma sau dimensiunile sub acțiunea unor forțe. Atunci când apăsăm un burete, întindem un elastic sau comprimăm un arc, observăm că aceste obiecte se deformează. Forțele care produc astfel de modificări se numesc **forțe deformatoare**.

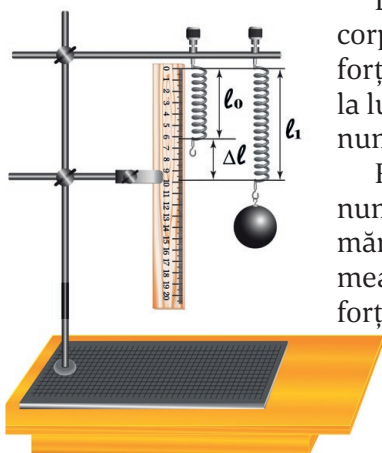
O forță deformatoare este, așadar, o forță care schimbă forma sau dimensiunile unui corp. Efectul ei depinde nu doar de mărimea forței aplicate, ci și de proprietățile materialului din care este alcătuit corpul. Unele materiale se deformează mai ușor, în timp ce altele se opun mai mult deformării.

... provocare

Ia în mână un arc metalic, o bandă elastică sau chiar un elastic de păr. Trage ușor de el și observă ce se întâmplă. Apoi eliberează-l.



... experiment intuitiv



Dacă un arc este suspendat vertical și de capătul său liber sunt agățate, pe rând, corpuri cu mase diferite, observăm că arcul se alungește tot mai mult pe măsură ce forța care acționează asupra lui crește. După îndepărtarea corpurilor, arcul revine la lungimea inițială. Aceasta arată că modificarea produsă este reversibilă și poartă numele de *deformare elastică*.

Revenirea corpului la forma inițială se explică prin apariția unei forțe interne, numită *forță elastică*. Aceasta apare într-un corp deformat elastic și se opune deformării produse de forța deformatoare. Forța elastică are sens opus deformării, iar mărimea ei depinde de cât de mult este deformat corpul. Când cauza deformării dispare, forța elastică face ca obiectul să revină la forma și dimensiunile inițiale.

Pentru a exprima printr-o mărime fizică modificarea lungimii unui resort elastic, folosim *deformația absolută*. Ea arată cu cât s-a schimbat lungimea resortului în urma deformării. În cazul deformării liniare, deformația absolută este diferența dintre lungimea finală și lungimea inițială a resortului: $\Delta l = l_1 - l_0$

...de reținut

Atunci când un fir elastic sau un resort este alungit ori comprimat de o **forță deformatoare** (F), el suferă o **deformare elastică**. După încetarea acțiunii acestei forțe, corpul revine la forma inițială datorită apariției unei forțe interne, numite **forță elastică** (F_e). Aceasta are sens opus deformării și tinde să readucă firul sau resortul la forma și dimensiunile inițiale.

Caracteristicile forței elastice:

- ▶ Simbolul: $\vec{F}_e$
- ▶ Punctul de aplicație coincide cu capătul resortului; când acest capăt este legat de un corp, acționează astfel asupra corpului.
- ▶ Direcția coincide cu direcția forței deformatoare, deci cu direcția resortului.
- ▶ Sensul este opus sensului forței deformatoare, deci opus deformării.
- ▶ Modulul este dat de legea deformării elastice (legea lui Hooke):

$$F_e = k \cdot \Delta l$$

k — constantă elastică a resortului ($\frac{\text{N}}{\text{m}}$)
 Δl — deformația (m)
 F_e — forța elastică (N)
- ▶ Unitatea de măsură în SI este: $\langle F_e \rangle_{\text{SI}} = \text{N}$ (Newton).
- ▶ Instrumentul de măsură este dinamometrul.

Pentru deformări suficient de mici, s-a constatat experimental că între forța elastică și deformarea produsă există o relație de proporționalitate directă. Această dependență este exprimată de **legea lui Hooke**:

Mărima forței elastice este direct proporțională cu alungirea sau comprimarea corpului (vezi relația de mai sus).

Legea lui Hooke este valabilă doar în domeniul deformărilor elastice. Dacă forța deformatoare depășește o anumită limită, numită **limita elastică**, corpul nu mai revine complet la forma inițială, iar deformarea devine permanentă. În acest caz, relația de proporționalitate dintre forță și deformare nu mai este respectată.

Vectorial, legea deformării elastice se scrie: $\vec{F}_e = -k \cdot \vec{\Delta l}$

Semnul „-” în relația de mai sus apare datorită faptului că forța elastică se opune deformării, adică acționează în sens opus.

Scalar,

$$F_e = k \cdot \Delta l \Rightarrow k = \frac{F_e}{\Delta l} \Rightarrow \langle k \rangle_{SI} = \frac{N}{m}$$

Constanta elastică caracterizează proprietățile elastice ale corpului și depinde de natura materialului, de forma și de dimensiunile acestuia. Cu cât valoarea constantei elastice este mai mare, cu atât corpul este mai rigid și se deformează mai greu sub acțiunea unei forțe.

Pentru a compara comportarea elastică a diferitelor materiale, folosim o mărime fizică numită **modul de elasticitate longitudinal**, sau **modulul lui Young**, notat cu **E**. Această mărime caracterizează materialul și arată cât de mult se opune el deformării elastice prin întindere sau comprimare. Cu cât modulul lui Young este mai mare, cu atât materialul se deformează mai puțin sub acțiunea unei forțe.

Este important să deosebim modulul lui Young de constanta elastică. Modulul lui Young caracterizează materialul din care este făcut corpul, în timp ce constanta elastică caracterizează un corp concret, de exemplu un anumit arc sau un anumit resort. De aceea, două corpuri realizate din același material pot avea constante elastice diferite, dacă au forme sau dimensiuni diferite. De exemplu, două arcuri din același oțel pot avea rigidități diferite: unul se poate deforma ușor, iar altul mai greu, în funcție de lungimea, grosimea și forma lui. În schimb, modulul lui Young rămâne același, deoarece depinde doar de material.

... problemă rezolvată

Un resort se alungește cu 4 cm atunci când este supus unei forțe de 8 N.

a) Determină constanta elastică a resortului.

b) Explică ce se poate spune despre rigiditatea materialului din care este realizat resortul.

Rezolvare: $\Delta l = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$
 $F = 8 \text{ N}$

a) $k = ?$

a) $F = k \cdot \Delta l \Rightarrow k = \frac{F}{\Delta l} \Rightarrow k = \frac{8 \text{ N}}{0,04 \text{ m}} = 200 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

b) Dacă arcul ar fi realizat dintr-un material cu modul de elasticitate mai mare, aceeași forță ar produce o deformare mai mică, iar constanta elastică ar avea o valoare mai mare.

... verifică înțelegerea

1. Ce diferență există între forța deformatoare și forța elastică?
2. Ce se întâmplă cu forța elastică atunci când corpul revine la forma inițială?
3. Cum influențează valoarea constantei elastice deformarea unui corp?
4. Două arcuri sunt întinse cu aceeași forță. Care se alungește mai mult: cel cu constantă elastică mică sau cel cu constantă elastic mare? De ce?
5. De ce două corpuri din materiale diferite se deformează diferit sub aceeași forță?
6. Un resort se alungește cu 6 cm atunci când asupra lui acționează o forță de 12 N.
 - a. Determină constanta elastică a resortului.
 - b. Calculează forța elastică care apare atunci când același arc este alungit cu 4 cm.
 - c. Explică, în câteva rânduri, ce s-ar întâmpla cu deformarea arcului dacă acesta ar fi realizat dintr-un material mai rigid.

Interacțiuni prin câmpuri: interacțiunea gravitațională



În viața de zi cu zi observi numeroase fenomene care par, cu siguranță, firești: o minge scăpată din mână cade pe sol, ploaia cade din nori, frunzele cad toamna. Aceste fenomene nu sunt însă întâmplătoare. Ele apar deoarece între Pământ și orice obiect există o interacțiune numită *interacțiune gravitațională*. Această interacțiune nu apare doar pe Pământ. Ea există între toate corpurile din Univers: între Pământ și Lună, între Soare și planete, între stele și galaxii.

În secolul al XVII-lea, fizicianul englez Isaac Newton a formulat legea care explică acest fenomen. Legenda spune că Newton a fost inspirat de căderea unui măr dintr-un pom. Observând că mărul cade spre Pământ, Newton s-a întrebat: „De ce cade mărul întotdeauna spre Pământ? Dacă Pământul atrage mărul, nu cumva Pământul atrage și Luna?”. Pornind de la această observație, el a formulat o idee revoluționară: forța care face ca mărul să cadă este aceeași forță care ține Luna pe orbită în jurul Pământului și determină mișcarea planetelor în jurul Soarelui. Newton a arătat că oricare două corpuri din Univers se atrag reciproc, iar această atracție se numește **interacțiune gravitațională**. Această idee a fost formulată matematic în legea atracției universale.



...de reținut

Legea formulată de **Newton** spune că:

Forța de atracție gravitațională dintre două corpuri cu masele m_1 și m_2 , considerate punctiforme față de distanța dintre ele, este direct proporțională cu produsul maselor lor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele.

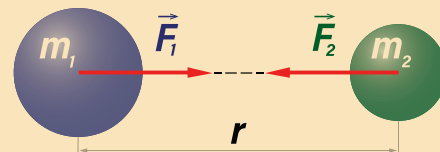
$$F = k \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

constanta atracției gravitaționale ($\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$) — masele celor două corpuri (kg)
 forța de atracție gravitațională (N) — distanța între centrele corpurilor care interacționează (m)

Constanta de proporționalitate, k , reprezintă **constantă atracției gravitaționale**, cu valoarea $k = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$ (are aceeași valoare pentru orice pereche de corpuri din Univers). Valoarea foarte mică a lui k arată că atracția gravitațională devine apreciabilă numai în cazul corpurilor cu masa foarte mare.

Caracteristicile forței de atracție gravitațională:

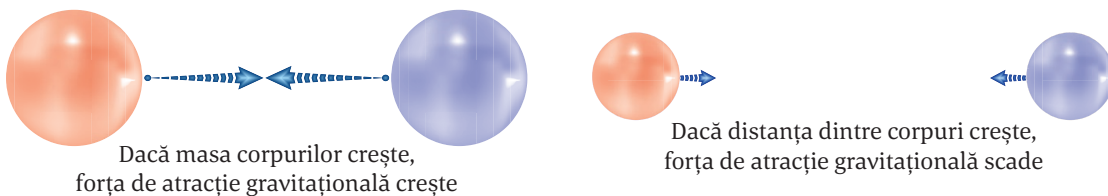
- ▶ Simbolul: $\vec{F}$
- ▶ Punctul de aplicație este în centrul de masă al corpului.
- ▶ Direcția este dată de dreapta care unește centrele celor două corpuri.
- ▶ Sensul este spre celălalt corp.
- ▶ Modulul forței este dat de relația de mai sus.
- ▶ Unitatea de măsură în SI este: $\langle F \rangle_{\text{SI}} = \text{N}$ (Newton)



Pentru a înțelege cât de diferită poate fi forța de atracție gravitațională, să comparăm două situații.

- Pe de o parte, Pământul și Luna se atrag reciproc cu o forță gravitațională de valoare foarte mare. Calculul arată că aceasta este de aproximativ $2 \cdot 10^{20}$ N. Această forță de atracție este suficient de puternică pentru a menține Luna pe orbită în jurul Pământului.
- Pe de altă parte, imaginează-ți două corpuri, fiecare cu masa de 1 000 kg, aflate la 1 metru distanță unul de celălalt. Între aceste două corpuri apare o forță de atracție gravitațională, dar valoarea ei este de numai aproximativ $6,7 \cdot 10^{-5}$ N, adică o forță extrem de mică ca valoare.

Prin comparație, forța gravitațională dintre Pământ și Lună este de aproximativ 10^{24} ori mai mare decât forța de atracție dintre cele două corpuri cu masa de 1 000 kg. Această comparație arată că atracția gravitațională există între toate corpurile care au masă, însă efectele ei devin vizibile mai ales atunci când sunt implicate mase foarte mari, cum sunt corpurile cerești. Pentru obiectele obișnuite din viața de zi cu zi, această forță este atât de mică încât nu poate fi observată direct.



INVESTIGAȚIE în Laboratorul Virtual – Explorarea forței gravitaționale (Legea lui Newton)

Sursă: Simularea PhET Interactive Simulations (University of Colorado, Boulder)

Instrucțiuni pentru elevi:

1. Scanează codul QR pentru a măsura forța de atracție dintre două corpuri și pentru a verifica legea atracției universale.
2. Selectează secțiunea „Laborator” (pentru control total asupra maselor și distanței). Bifează în panoul din dreapta „Valori forțe” (Force Values) și asigură-te că este selectată opțiunea „Notăție științifică”.
3. Sarcina 1 (*Dependența de masă*): Menține distanța dintre sfere constantă la 4 m. Dublează masa primei sfere (m_1). Observă de câte ori crește forța gravitațională indicată.
4. Sarcina 2 (*Dependența de distanță*): Menține masele constante ($m_1 = 100$ kg, $m_2 = 100$ kg). Mărește distanța dintre sfere de la 2 m la 4 m. Observă că, deși distanța s-a dublat, forța a scăzut de 4 ori. Ce concluzie poți trage despre relația dintre forță și pătratul distanței?



Legea gravitației s-a construit treptat, pe baza observațiilor și ideilor mai multor oameni de știință. Tycho Brahe a realizat observații astronomice foarte precise, Johannes Kepler a descris mișcarea planetelor, Galileo Galilei a studiat căderea corpurilor, iar Robert Hooke a sugerat existența unei forțe de atracție între corpurile cerești. Pornind de la aceste idei și folosind metode matematice noi, Isaac Newton a reunit mișcarea corpurilor cerești și mișcarea obiectelor de pe Pământ într-o singură lege universală, în 1687.

... verifică înțelegerea

1. Cum influențează distanța dintre corpuri valoarea forței gravitaționale?
2. De ce Luna nu cade pe Pământ?

...temă de PORTOFOLIU – Pe umerii giganților... Cum a ajuns Newton la legea gravitației universale? _

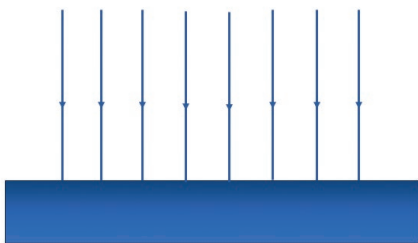
Isaac Newton însuși spunea: „Dacă am văzut mai departe, este pentru că am stat pe umerii unor giganți.” Această temă te invită să descoperi cine au fost acești „giganți” și cum anume contribuțiile lor s-au împletit pentru a face posibilă una dintre cele mai mari descoperiri din istoria științei.

Realizează un portofoliu individual structurat în patru părți:

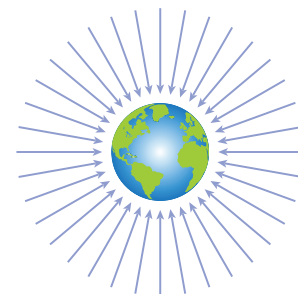
1. **Harta cunoașterii** (1–2 pagini) – Alcătuiește o schemă vizuală (hartă mentală, linie a timpului sau diagramă) în care să prezinți oamenii de știință care au contribuit la formularea legii gravitației, cu ideea principală adusă de fiecare.
2. **Fișe de personaj** (cel puțin 3 fișe) – Alege trei dintre savanții din hartă și realizează câte o fișă care să cuprindă: cine a fost, ce a descoperit, cum a influențat gândirea lui Newton.
3. **Analiza descoperirii** (1 pagină) – Explică, cu cuvintele tale, cum a reușit Newton să *unifice* toate aceste idei într-o singură lege matematică. Ce a fost cu adevărat nou în contribuția lui?

Legea atracției gravitaționale universale arată că orice două corpuri cu masă se atrag. Dar cum poate acționa această forță între corpuri aflate la distanță, fără contact direct? Pentru a explica acest lucru, fizica folosește noțiunea de *câmp gravitațional*. Orice corp cu masă creează în jurul său un câmp gravitațional, iar un alt corp aflat în acest câmp este atras gravitațional. De exemplu, mingea cade spre Pământ deoarece se află în câmpul gravitațional al Pământului, iar Luna se menține pe orbită deoarece se află în același câmp.

Astfel, câmpul gravitațional explică modul în care se manifestă atracția gravitațională la distanță. În cazul gravitației, orice corp cu masă creează în jurul său un câmp gravitațional. Dacă un alt corp ajunge în această regiune, asupra lui va acționa o **forță de atracție gravitațională**.



În cazul câmpului gravitațional radial (în jurul unei planete), liniile câmpului sunt orientate spre centrul planetei, câmpul este radial, iar liniile de câmp sunt mai dese în apropierea planetei (câmpul este mai intens). În cazul câmpului gravitațional uniform (în apropierea suprafeței Pământului), liniile de câmp sunt paralele, sunt egal distanțate, ceea ce arată că, pe porțiuni mici, câmpul gravitațional poate fi considerat uniform.



... de reținut

Câmpul reprezintă regiunea din spațiu în care asupra unui corp se exercită o forță produsă de alt corp.

Câmpul gravitațional este regiunea din spațiu în care asupra unui corp cu masă acționează forța de atracție gravitațională exercitată de un alt corp cu masă.

Câmpul este reprezentat prin linii orientate (vectori) care indică direcția și sensul forței produse asupra unui corp. Câmpul gravitațional explică modul în care corpurile se atrag la distanță, fără contact direct între ele. Pentru a descrie efectele acestui câmp asupra corpurilor, folosim mărimea fizică numită **acclerație gravitațională**. Ea arată cum acționează câmpul gravitațional asupra unui corp lăsat liber.

În apropierea suprafeței Pământului, corpurile aflate în cădere liberă au o accelerație aproximativ egală cu $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$. Aceasta înseamnă că viteza lor crește cu aproximativ 9,8 m/s în fiecare secundă.

Accelerația gravitațională descrie și intensitatea câmpului gravitațional într-un anumit punct: cu cât valoarea lui g este mai mare, cu atât câmpul gravitațional este mai intens.

... de reținut

Accelerația gravitațională are un rol esențial în descrierea interacțiunii gravitaționale: arată cât de puternic este câmpul gravitațional, indică accelerația cu care se deplasează corpurile în cădere liberă, permite determinarea forței gravitaționale exercitate asupra unui corp. Astfel, accelerația gravitațională este mărimea fizică prin care se descrie modul în care câmpul gravitațional influențează mișcarea corpurilor.

... temă de PORTOFOLIU – Câmpul gravitațional în viața de zi cu zi

Realizează o scurtă prezentare (1-2 pagini) în care să explici modul în care câmpul gravitațional al Pământului influențează diferite fenomene din natură sau din activitățile umane. Pentru aceasta:

1. alege 3 exemple din viața reală în care intervine câmpul gravitațional (căderea obiectelor, mișcarea sateliților artificiali, sporturi precum săritura în înălțime etc.);
 2. explică pe scurt rolul câmpului gravitațional în fiecare situație;
 3. include cel puțin o imagine sau o schemă explicativă pentru fiecare exemplu;
 4. formulează o concluzie de 3-4 rânduri despre importanța gravitației pentru viața pe Pământ.
- Opțional, poți realiza portofoliul sub formă de afiș, prezentare digitală sau hartă conceptuală.

Observarea sistematică a activității și comportamentului elevilor pe parcursul unității de învățare

Completează următorul chestionar:

1. Cel mai mult mi-a plăcut	Pe parcursul orelor m-am simțit:
2. Cel mai puțin m-a interesat	
3. Am întâmpinat dificultăți în a înțelege	
4. Am nevoie de clarificări în legătură cu	







INVESTIGAȚIE 1

Verificarea legilor frecării la alunecare

A. Te-ai întrebat vreodată de ce unele dintre cele mai „tari” mișcări de dans funcționează doar pe anumite suprafețe? Sau de ce un cui bătut în perete devine foarte greu de scos? De multe ori, privim **frecarea** ca pe un personaj negativ care ne încetinește, uitând cât de importantă este în viața noastră...

Vom investiga experimental cum se modifică **forța de frecare** la alunecare atunci când se schimbă forța de apăsare normală pe plan. Vei înțelege că uneori o forță de apăsare mai mare face diferența între a aluneca necontrolat și a avea stabilitate.



...de amintit

Forța de frecare la alunecare apare între două suprafețe aflate în contact, atunci când un corp alunecă pe suprafața altui corp. Ea are direcția suprafeței de contact și sens opus sensului mișcării. Valoarea ei depinde de natura și de gradul de prelucrare a suprafețelor aflate în contact, precum și de forța de apăsare dintre acestea.

Întrebarea de investigat:

Cum depinde forța de frecare la alunecare de valoarea forței de apăsare normală pe plan?

Ipoteza:

Scrie în caiet ipoteza ta. Precizează ce crezi că se va întâmpla cu forța de frecare la alunecare atunci când forța de apăsare normală crește.

Proiectarea experimentului:

- 1. Materiale necesare:** un corp paralelipipedic din lemn sau alt material cu masa cunoscută; dinamometru; set de mase marcate; o suprafață plană orizontală.
- 2. Identificarea variabilelor**

VARIABILA INDEPENDENTĂ	VARIABLE CONTROLATE
forța de apăsare normală pe plan	- natura suprafețelor aflate în contact - aria suprafeței de contact - masa și geometria corpului - metoda de măsurare - viteza corpului (menținută constantă)
VARIABILA DEPENDENTĂ	
forța de frecare la alunecare	

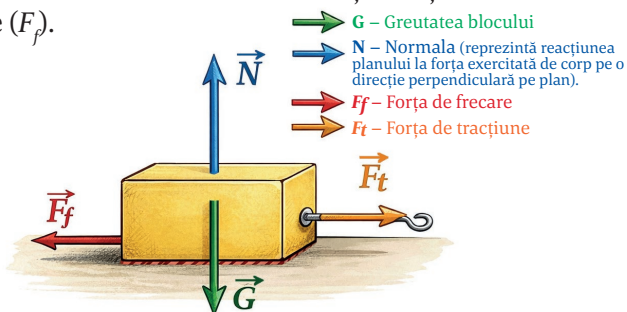
3. Modul de lucru:

- Notează în caietul tău masa corpului paralelipipedic (M_c).
- Așază corpul pe suprafața plană și orizontală. Atașează dinamometrul și menține-l orientat orizontal.
- Trage de dinamometru menținându-l orizontal, astfel încât corpul să se deplaseze **uniform** (cu viteză aproximativ constantă).
- Notează valoarea **forței de tracțiune** (F) indicată de dinamometru. În acest caz, forța de tracțiune este egală cu **forța de frecare la alunecare** (F_f).
- Repetă experimentul pentru alte valori ale greutateii, adăugând mase marcate pe corp. Pentru fiecare caz, măsoară din nou forța de frecare la alunecare.

Observație: Pentru fiecare situație experimentală vei nota:

- ▶ masa totală a corpului paralelipipedic ($M = M_c + m$), unde m este masa marcată adăugată suplimentar;
- ▶ forța de tracțiune care asigură mișcarea uniformă a corpului (F).

Atenție! Trage corpul astfel încât **mișcarea să fie uniformă**. Numai în această situație forța indicată de dinamometru (F) este egală cu forța de frecare la alunecare (F_f).



Înregistrarea datelor experimentale:

Organizează mărimile determinate experimental într-un tabel ca cel alăturat, în ordine crescătoare a masei totale a corpului:

Nr. det.	M (kg)	F_f (N)



Prelucrarea și analiza datelor experimentale

- Calculează, pentru fiecare măsurare, forța de apăsare normală exercitată de corp pe plan, folosind relația: $N = G = M \cdot g$, unde $g \approx 9,81 \text{ N/kg}$.
- Compară valorile lui N cu valorile F_f .
- Calculează raportul F_f/N .
- Centralizează datele obținute într-un nou tabel:

Nr.	M (kg)	N (N)	F_f (N)	F_f/N



Formularea concluziilor

Precizează:

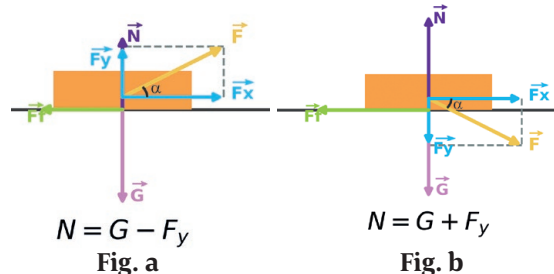
- Cum se modifică forța de frecare la alunecare când forța de apăsare normală crește?
- Cum este raportul F_f/N ?
- Ipoteza formulată la început a fost confirmată?

...întrebări de reflecție

1. De ce este important ca obiectul să se deplaseze uniform în timpul măsurării?
2. De ce a fost important să păstrezi neschimbate celelalte condiții experimentale?
3. Ce surse de eroare ar putea influența rezultatele experimentale?

Atenție!

- ▶ Dacă un corp este tras oblic în sus, componenta verticală a forței de tracțiune micșorează apăsarea pe plan, deci și forța de frecare la alunecare devine mai mică (fig.a).
- ▶ Dacă același corp este împins oblic în jos, componenta verticală a forței de împingere mărește apăsarea pe plan, iar forța de frecare la alunecare devine mai mare (fig.b).



Reține!

Forța de apăsare normală nu este mereu egală cu greutatea.

- ▶ La tragerea oblică, apăsarea pe plan scade, iar forța de frecare se micșorează.
- ▶ La împingerea oblică, apăsarea pe plan crește, iar forța de frecare devine mai mare.

B. Ai observat deja că forța de frecare crește atunci când corpul apasă mai puternic pe suprafață. Se schimbă forța de frecare, chiar dacă apăsarea rămâne aceeași, când corpul alunecă pe o altă suprafață? Dar dacă așezăm corpul în altă poziție, astfel încât să modificăm ariile suprafețelor aflate în contact?

...provocare

Proiectează, împreună cu colegii tăi, o nouă investigație experimentală pentru a verifica dacă forța de frecare depinde de tipul și de mărimea suprafeței de contact. Folosește reperele de mai jos pentru a formula ipotezele, a organiza experimentul, a înregistra și analiza datele, a formula concluzii.



Întrebarea de investigat:

Notează noile întrebări de investigat. Compară întrebările tale cu ale celorlalți colegi și, dacă apar neclarități, cere sprijinul profesorului!



Ipoteza:

Notează răspunsurile tale la întrebările de mai jos:

- Ce crezi că se va întâmpla cu forța de frecare dacă același corp este așezat pe fețe diferite?
- Ce crezi că se va întâmpla cu forța de frecare dacă păstrezi același corp, dar schimbi suprafața pe care alunecă?



Proiectarea experimentului:

În această investigație vei proiecta două experimente (câte unul pentru fiecare întrebare de investigat)

1. Materiale necesare

- Ce materiale îți sunt necesare pentru a verifica dacă frecarea depinde de mărimea suprafeței de contact? Dar pentru a verifica dacă frecarea depinde de tipul suprafeței?
- De ce ar fi util să folosești același corp paralelipipedic și același dinamometru ca în investigația precedentă?
- Pe ce tipuri de suprafețe ai putea face corpul să alunece pentru a compara valorile forței de frecare (de exemplu: lemn, material textil etc.)?

Fă o listă a materialelor necesare. Verifică împreună cu colegii dacă lista este completă!

2. Identificarea variabilelor:

a. Variabila independentă

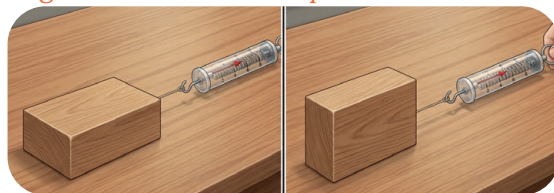
- Ce alegi să modifice în primul experiment?
- Ce alegi să modifice în al doilea experiment?

b. Variabila dependentă

- Ce mărime urmărești pentru a vedea dacă frecarea se schimbă?
- Ce vei măsura efectiv cu dinamometrul?

c. Variabile controlate

- Ce trebuie să păstrezi neschimbat, în fiecare experiment, atunci când compari două situații?
- Cum te asiguri că forța de apăsare normală rămâne aceeași?
- De ce este important să nu schimbi mai multe condiții în același timp?



Notează variabilele în caiet, separat, pe cele trei categorii. Dacă nu ești sigur că ai identificat corect variabilele, cere confirmarea profesorului!

VARIABILA INDEPENDENTĂ	VARIABILA DEPENDENTĂ	VARIABLE CONTROLATE
?	?	?

3. Modul de lucru

- Cum vei așeza corpul pentru a modifica suprafața de contact, păstrând același corp?
- Cum vei proceda pentru a schimba numai tipul suprafeței pe care alunecă?
- Cum te vei asigura că forța de frecare este egală cu forța de tracțiune?
- Este suficientă o singură măsurare pentru fiecare situație?

Stabilește și notează în caiet pașii experimentului. Verifică cu colegii de grup. Dacă vă blocați, reveniți la întrebările „Ce modificăm?” și „Ce păstrăm constant?”.



Înregistrarea datelor experimentale

- Ce date trebuie notate pentru fiecare măsurare?
- Cum vei marca în tabel situația experimentală: fața pe care este așezat corpul sau tipul suprafeței?
- Cum poți organiza datele astfel încât comparația să fie ușoară?

*Notează valorile imediat după fiecare măsurare.
Verifică în grup dacă datele au fost notate corect și complet.*



Prelucrarea și analiza datelor experimentale

- Diferențele observate pot fi explicate prin erori de măsurare sau indică o dependență reală?

Compară observațiile tale cu ale colegilor și verifică dacă ajungeți la aceeași concluzie.

Analizează valorile forțelor de frecare obținute în cadrul aceluiași experiment.



Formularea concluziilor

- Forța de frecare la alunecare depinde sau nu de mărimea suprafeței de contact?
- Forța de frecare la alunecare depinde sau nu de tipul suprafețelor aflate în contact?

Scrie concluziile în enunțuri clare și complete. Nu nota doar „da” sau „nu”; explică ce dovezi experimentale susțin concluziile tale.

Reține!

► Forța de frecare la alunecare se calculează cu relația:

$$F_f = \mu N$$

unde: μ este coeficientul de frecare la alunecare (depinde de natura suprafețelor aflate în contact), iar N este reacțiunea planului la forța de apăsare normală exercitată de corp.

► Forța de frecare NU depinde de mărimea suprafețelor aflate în contact.

INVESTIGAȚIE 2

Determinarea constantei elastice a unui resort

În viața de zi cu zi întâlnim numeroase obiecte care se deformează, mai mult sau mai puțin, sub acțiunea unei forțe și care apoi revin la forma inițială, datorită **proprietăților** lor **elastice**. Dintre acestea, **resorturile**, numite și **arcuri**, sunt frecvent întâlnite în componența altor obiecte și mecanisme supuse deformării, precum saltelele, umbrelele, pixurile, jucăriile, trambulinele sau aparatele de fitness.



...de amintit

Forța care apare într-un corp elastic deformat se numește *forță elastică*. Forța elastică are aceeași direcție cu forța deformatoare, dar sens opus. Valoarea forței elastice este dată de relația $F_e = k \cdot \Delta x$. În starea de echilibru, forța elastică și forța deformatoare au valori egale ($F_e = F_d$), astfel că putem calcula *constanta elastică* folosind relația: $k = \frac{F_d}{\Delta x}$, unde k este constanta elastică a corpului, iar Δx este deformarea.



Întrebarea de investigat:

Cum influențează lungimea inițială a unui resort valoarea constantei sale elastice?



Ipoteza

Scrie în caiet ipoteza ta. Crezi că două resorturi din același material și cu aceeași grosime, dar de lungimi diferite, vor avea aceeași constantă elastică? Motivează pe scurt răspunsul tău.



Proiectarea experimentului:

1. Materiale necesare: două resorturi realizate din același material, cu aceeași grosime, dar cu lungimi inițiale diferite; stativ; riglă gradată; cârlig pentru mase; discuri crestate sau corpuri de mase cunoscute.

2. Identificarea variabilelor

VARIABILA INDEPENDENTĂ	VARIABILA DEPENDENTĂ	VARIABLE CONTROLATE
lungimea inițială a resortului	constanta de elasticitate a resortului, determinată experimental	- materialul resorturilor și grosimea lor - aceeași metodă de măsurare, aceleași mase utilizate - aceleași condiții experimentale

3. Modul de lucru:

- Suspendă primul resort de stativ, măsoară și notează lungimea sa inițială (l_0).
- Suspendă de resort, pe rând, în ordine crescătoare, mase cunoscute. Notează valoarea fiecărei mase în tabel. Așteaptă, de fiecare dată, stabilizarea resortului și măsoară lungimea resortului deformat (l).
- Pentru fiecare determinare, calculează alungirea resortului folosind relația: $\Delta l = l - l_0$.
- Suspendă al doilea resort de stativ, măsoară și notează lungimea sa inițială (l_0).
- Urmează aceiași pași pentru al doilea resort, notează de fiecare dată lungimea resortului deformat și calculează alungirea acestuia.



Atenție! Masele se adaugă treptat, în ordine crescătoare. Alege valori suficient de mici astfel încât resortul să se alungească, dar să poată reveni la lungimea inițială după îndepărtarea sarcinii.



Înregistrarea datelor experimentale:

Completează valorile măsurate în următoarele tabele:

resort	masa (g)	alungirea (cm)	resort	masa (g)	alungirea (cm)
1			2		



Prelucrarea și analiza datelor experimentale

- Calculează forța aplicată resortului, folosind relația: $F = m \cdot g$, unde $g \approx 9,8 \text{ N/kg}$.
- Determină, pentru fiecare măsurare, constanta elastică a fiecărui resort folosind relația: $k = \frac{F_d}{\Delta x}$.
- Centralizează datele obținute într-un tabel ca cel de mai jos

Nr.	Masă (kg)	$F_d (G = mg)$ (N)	Δl_1 (cm)	Δl_2 (cm)	k_1 (N/cm)	$k_{1\text{medie}}$ (N/cm)	k_2 (N/cm)	$k_{2\text{medie}}$ (N/cm)
-----	-----------	--------------------	-------------------	-------------------	--------------	----------------------------	--------------	----------------------------

- Compară valorile obținute pentru același resort, apoi compară valorile medii ale constantei elastice pentru cele două resorturi.
- Analizează dacă există diferențe între ele și dacă aceste diferențe pot fi puse în legătură cu lungimea inițială a resortului.



Formularea concluziilor

Formulează o concluzie. Precizează:

- dacă valorile constantei elastice pentru același resort sunt apropiate;
- dacă cele două resorturi au aceeași constantă elastică;
- dacă ipoteza formulată la început a fost confirmată.

...întrebări de reflecție

1. Ce relație ai observat între forța aplicată și alungirea fiecărui resort?
2. Valorile constantei elastice obținute pentru același resort sunt identice sau doar apropiate? Cum explici?
3. Ce ai constatat comparând cele două resorturi?
4. Ce surse de eroare ar putea influența rezultatele experimentale?
5. De ce este important ca cele două resorturi comparate să aibă aceeași grosime și să fie din același material?

Curiozități...

Niciun corp nu este perfect elastic sau perfect neelastic. Orice corp poate manifesta proprietăți elastice, dar numai în anumite condiții și pentru deformări suficient de mici. Dacă forța deforma-toare depășește o anumită limită, dependentă de caracteristicile corpului, acesta nu mai revine la dimensiunile inițiale.

PROBLEME PROPUSE

I. Dacă apreciezi că enunțul este adevărat scrie litera A, iar dacă este fals, litera F.

Un corp aflat în mișcare se oprește întotdeauna din cauza inerției.	
Forțele de acțiune și reacțiune sunt egale ca mărime și au sensuri opuse.	
Forța de frecare apare numai atunci când două suprafețe sunt în mișcare una față de cealaltă.	
Forța de frecare are întotdeauna același sens cu mișcarea corpului.	
Forța de apăsare normală există doar dacă un corp se află în contact cu o suprafață de sprijin.	
Câmpul gravitațional există doar în apropierea Pământului.	
Două corpuri cu mase mici nu se atrag gravitațional.	

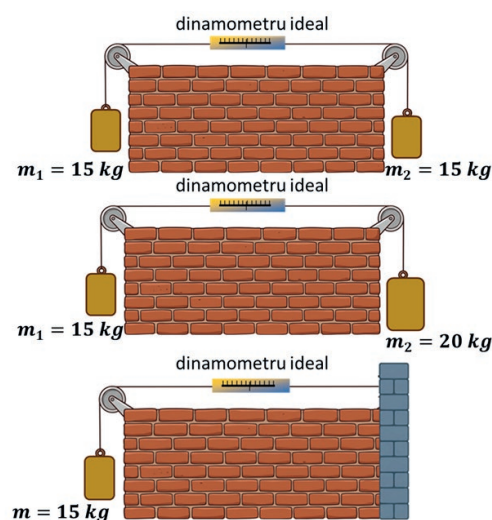
II. Explică fenomenul:

1. De ce este dificil să batem un cui într-un gard care nu este bine fixat și se mișcă atunci când este lovit? Ce ar trebui modificat în această situație pentru a putea bate cuiul mai ușor?
2. De ce un obiect aflat pe bordul unei mașini poate aluneca sau cădea atunci când mașina frânează brusc? Ce se întâmplă cu obiectul dacă mașina pornește rapid de pe loc?
3. De ce este mai dificil să împingem un dulap greu atunci când ne aflăm pe o suprafață alunecoasă (de exemplu, gheață), comparativ cu o suprafață obișnuită (pardoseală uscată)?

III. Rezolvă următoarele probleme:

1. Un corp este ridicat cu ajutorul unui fir inextensibil, tensiunea în fir fiind de 3 ori mai mare decât greutatea corpului. Cu ce accelerație este tras corpul?

2. Pentru fiecare dintre situațiile de mai jos, determină indicația dinamometrului:



3. Asupra unui corp cu masa de 3 kg acționează o forță rezultantă de 12 N. Determină accelerația corpului. Cât devine accelerația dacă forța se reduce la jumătate?
4. Sub acțiunea unei forțe $F_1 = 10 \text{ N}$, o cutie se deplasează cu accelerația $a_1 = 2 \text{ m/s}^2$. Cu ce accelerație se va deplasa cutia sub acțiunea forței $F_2 = 25 \text{ N}$?
5. Asupra unui vagonet aflat pe o suprafață orizontală acționează o forță constantă după o direcție paralelă cu suprafața, imprimându-i o accelerație $a = 0,2 \text{ m/s}^2$. Considerând că forțele de frecare sunt neglijabile, determină accelerația vagonetului dacă forța se triplează.
6. O atletă de 60 kg urcă pe o frânghie. Calculează tensiunea în funie în următoarele situații:
 - a. stă în repaus;
 - b. urcă uniform;
 - c. urcă cu accelerația de $0,2 \text{ m/s}^2$;
 - d. coboară cu accelerația de $0,5 \text{ m/s}^2$.

7. Un copil trage rectiliniu uniform o sanie pe un drum orizontal cu o forță $F = 20$ N, orientată sub unghiul $\alpha = 60^\circ$ față de orizontală. Determină forța de frecare.
8. Un copil deplasează cu viteză constantă o sanie cu masa de 3 kg, trăgând-o cu o forță constantă $F = 5\sqrt{3}$ N cu ajutorul unui cablu care formează cu direcția de deplasare un unghi de 30° .
 - a. Determină forța de frecare exercitată între sanie și sol.
 - b. Ce apăsare exercită sania asupra solului?
9. Sub acțiunea unei forțe $F_1 = 10$ N, un resort se alungește cu $\Delta l_1 = 1$ cm. Ce forță este necesară pentru a alungi resortul cu $\Delta l_2 = 4$ cm?
10. Un camion cu masa $m = 2$ t este tractat cu accelerația $a = 0,5$ m/s², folosind un cablu a cărui constantă elastică are valoarea $k = 100$ kN/m. Considerând frecările neglijabile, determină alungirea cablului.
11. Pământul și Luna se atrag reciproc prin forța de atracție gravitațională, responsabilă pentru menținerea Lunii pe orbită în jurul Pământului. Cunoscând masa Pământului $m_p = 6 \cdot 10^{24}$ kg, masa Lunii $m_L = 7,4 \cdot 10^{22}$ kg, distanța medie dintre centrele lor $r = 3,8 \cdot 10^8$ m, determină valoarea forței de atracție gravitațională dintre Pământ și Lună. (Se consideră constanta gravitațională $k = 6,67 \cdot 10^{-11}$ N·m²/kg²).

TEST DE EVALUARE

I. (1p) Adevărat / Fals

1. Un corp își păstrează starea de mișcare dacă rezultanta forțelor este nulă.	
2. Forța de frecare are același sens cu mișcarea.	
3. Forța elastică apare în cazul deformării unui corp.	
4. Tensiunea într-un fir ideal este aceeași în toate punctele firului.	

II. (2p) Alege varianta corectă

- A. Accelerația unui corp este:
 - a. invers proporțională cu forța;
 - b. direct proporțională cu masa;
 - c. direct proporțională cu forța;
 - d. independentă de forță.
- B. Forța de frecare:
 - a. are același sens cu mișcarea;
 - b. este opusă mișcării;
 - c. este nulă;
 - d. nu depinde de suprafață.
- C. Forța elastică:
 - a. este constantă;
 - b. crește cu deformarea;
 - c. nu depinde de material;
 - d. este nulă.
- D. Tensiunea în fir:
 - a. este diferită;
 - b. este nulă;
 - c. este constantă;
 - d. depinde de lungime.
- E. Forța de atracție gravitațională dintre două corpuri:
 - a. crește cu distanța dintre corpuri;
 - b. scade cu produsul maselor corpurilor;
 - c. scade cu distanța dintre corpuri;
 - d. nu depinde de masa corpurilor.

III. (2p) Completează

- a. Forțele de acțiune și reacțiune sunt și de sens
- b. Frecarea depinde de coeficientul de
- c. Forța elastică depinde de
- d. Forța gravitațională depinde de dintre corpuri.

IV. Rezolvă următoarele probleme:

- A. (1p) Un corp de masă 2 kg este acționat de o forță rezultantă de 6 N. Determină accelerația corpului.
- B. (1p) Un corp de masă 5 kg este tras pe o suprafață orizontală cu o forță de 20 N. Forța de frecare este 5 N.
 - a. Determină forța rezultantă.
 - b. Determină accelerația corpului.
 - c. Precizează sensul accelerației față de mișcare.
- C. (1p) Un corp cu masa de 3 kg este suspendat de un fir și se află în repaus. Se consideră accelerația gravitațională $g = 10$ m/s².
 - a. Determină greutatea corpului.
 - b. Determină tensiunea în fir.
 - c. Precizează relația dintre cele două forțe.
- D. (1p) Două corpuri cu masele de 1 000 kg fiecare se află la distanța de 2 m unul de altul.
 - a. Scrie de ce factori depinde forța de atracție gravitațională.
 - b. Precizează cum se modifică forța dacă distanța se dublează.
 - c. Indică natura interacțiunii dintre cele două corpuri.

Se acordă 1 punct din oficiu.



ENERGIA MECANICĂ

4

Gândește-te la un roller-coaster care urcă lent și apoi coboară în viteză, la un sportiv care ridică greutăți sau la un arc care lansează o săgeată. În spatele acestor fenomene spectaculoase se află mărimi fizice precum lucrul mecanic, puterea, randamentul și energia mecanică. Acest capitol te invită să descoperi cum se produce mișcarea, cum circulă energia și cât de eficient funcționează lumea din jurul tău.

Lucrul mecanic



Muncim sau lucrăm? Întrebarea pare ciudată la prima vedere, totuși are sens. În viața de zi cu zi spunem că muncim din greu și atunci când ne pregătim pentru un examen sau concurs, și atunci când ridicăm greutatea la sală sau ne ajutăm părinții la săpatul grădinii. În primul caz vorbim despre muncă intelectuală, în al doilea caz, despre muncă fizică.

Pentru a recompensa corect munca efectuată, trebuie să o putem măsura. Fizicienii au reușit acest lucru doar în cazul muncilor fizice, iar mărimea fizică ce măsoară munca fizică efectuată a fost denumită *lucru mecanic*.

...provocare

Ce crezi, în ce condiții se efectuează lucru mecanic?

...studiu de caz

Un halterofil ridică o halteră la înălțime, apoi o coboară lent.

- În prima fază, halterofilul își încordează mușchii, dar forța nu este suficientă pentru a deplasa haltera. În acest caz spunem că nu se efectuează lucru mecanic.
- În faza a doua, forța exercitată de halterofil învinge forța de greutate, iar haltera se deplasează în sus și se efectuează lucru mecanic.
- În faza a treia, haltera este ținută la o anumită înălțime. Haltera nu se deplasează nici în acest caz, deci nu se efectuează lucru mecanic.
- În faza a patra, halterofilul coboară lent haltera. Forța exercitată de el efectuează lucru mecanic negativ, deoarece frânează mișcarea halterei.

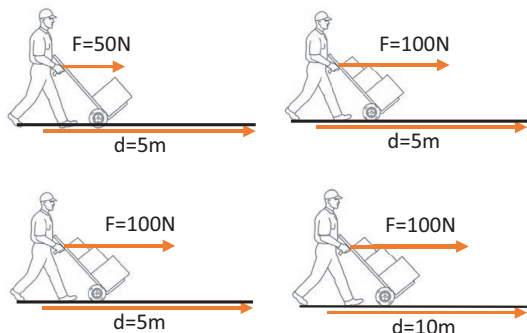


...de reținut

Efectuarea de lucru mecanic este legată de acțiunea unei forțe și de deplasarea corpului asupra căruia acționează.

...experiment mental

Cum depinde lucrul mecanic efectuat de mărimea forței și a deplasării?



Muncitorul efectuează lucru mecanic mai mare atunci când deplasează un corp mai greu.

Dacă forța se dublează, se dublează și lucrul mecanic.

Lucrul mecanic este direct proporțional cu forța.

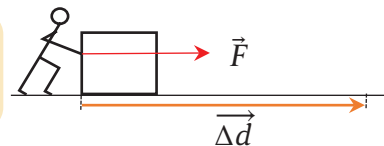
Muncitorul efectuează lucru mecanic mai mare atunci când deplasează corpul pe o distanță mai mare.

Dacă distanța se dublează, se dublează și lucrul mecanic.

Lucrul mecanic este direct proporțional cu deplasarea.

...de reținut

Definiția simplă a lucrului mecanic – **Lucrul mecanic** este mărimea fizică scalară, egală cu produsul dintre forță și deplasare, dacă deplasarea are loc în direcția și sensul forței.



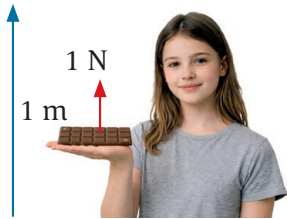
lucrul mecanic
efectuat (J)

$$L = F \cdot \Delta d$$

forța (N)
deplasarea (m)

$$\langle L \rangle_{\text{SI}} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J (joule)}$$

Cât de mare este lucrul mecanic de 1 J ?



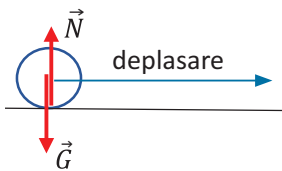
Dacă ridicăm uniform o tabletă de ciocolată de 100 g (care are greutatea de aproximativ 1 N) la înălțimea de 1 m, lucrul mecanic efectuat este de aproximativ 1 J. Folosind un limbaj științific și riguros, spunem că:

1 J este lucrul mecanic efectuat de o forță de 1 N în timp ce își deplasează punctul de aplicație cu 1 m în direcția și sensul forței.



Lucrul mecanic este o mărime de proces, deoarece descrie procesul de trecere a unui corp dintr-o stare (caracterizată de poziția inițială) în alta (caracterizată de poziția finală). Lucrul mecanic nu se efectuează la un moment dat, ci pe toată durata procesului.

Lucrul mecanic efectuat de o forță perpendiculară pe deplasare



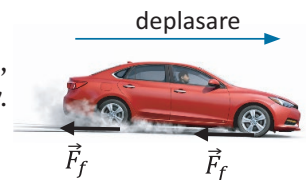
Să analizăm mișcarea unei bile de biliard care se rostogolește pe masă. Deși este destul de mare, forța de greutate nu influențează direct mișcarea bilei. Dacă nu ar fi frecare, bila s-ar mișca uniform până la capătul mesei. Fiind perpendiculare pe direcția deplasării, nici forța de greutate, nici forța normală de reacțiune nu efectuează lucru mecanic.

Forțele perpendiculare pe direcția mișcării nu efectuează lucru mecanic.

Lucrul mecanic efectuat de o forță opusă deplasării

Atunci când o mașină frânează, forța de frecare acționează în sens opus deplasării, micșorând viteza mașinii. În acest caz forța de frecare efectuează lucru mecanic negativ.

Forța care acționează în sens opus deplasării efectuează lucru mecanic negativ.



...problemă rezolvată

Un corp este deplasat pe o suprafață orizontală pe distanța $\Delta d = 50$ cm, acționând cu o forță orizontală $F = 20$ N.

a) Cât lucru mecanic efectuează această forță?

b) Cât lucru mecanic efectuează forța de frecare, dacă lucrul mecanic total efectuat de toate forțele care acționează asupra corpului este zero?

Rezolvare:

$$\Delta d = 50 \text{ cm}$$

$$F = 20 \text{ N}$$

a) $L = F \cdot \Delta d = 20 \text{ N} \cdot 0,5 \text{ m} = 10 \text{ N} \cdot \text{m} = 10 \text{ J}.$

b) Greutatea și forța normală sunt forțe perpendiculare pe deplasare, deci: $L_G = L_N = 0,$

a) $L = ?$

b) $L_{F_f} = ?$

$$L_{\text{tot}} = L_F + L_G + L_N + L_{F_f} \Rightarrow L_{F_f} = L_{\text{tot}} - (L_F + L_G + L_N) = 0 - 10 \text{ J} = -10 \text{ J}.$$

...verifică înțelegerea

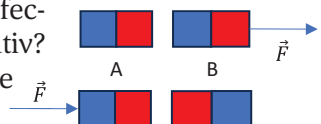
- Ce semn are lucrul mecanic efectuat de:
 - forța de tracțiune a macaralei care ridică un corp;
 - forța de greutate, în timp ce urcăm pe o scară;
 - forța de reacțiune a șinelor asupra roților unui tramvai care se deplasează orizontal?
- Când se efectuează lucru mecanic mai mare și de câte ori: când se împinge un cărucior de 10 kg pe distanța de 30 m sau când se împinge un cărucior de 30 kg pe distanța de 20 m?

- Imaginează-ți doi magneti A și B care interacționează și se deplasează spre dreapta sub acțiunea forței $\vec{F}$ reprezentată pe figură.

a) Desenează forțele de interacțiune magnetică ce acționează asupra fiecărui magnet.

b) Care dintre aceste forțe efectuează lucru mecanic pozitiv?

Analizează ambele variante prezentate pe figură!





Lucrul mecanic efectuat de diferite forțe

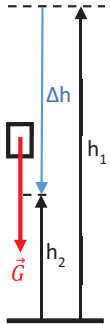
1. Lucrul mecanic efectuat de forța de greutate în câmp gravitațional uniform

...provocare

Dacă îți plac drumețiile, ai observat cu siguranță că este mult mai greu să urci un munte decât să îl cobori. La urcare trebuie să învingi forța de atracție gravitațională a Pământului, dar la coborâre te ajută.

Ai observat, de asemenea, că drumurile de munte au multe serpentine. Acestea ajută atât la urcare cât și la coborâre. Când efectuezi lucru mecanic mai mare, atunci când urci muntele pieptiș sau atunci când îl urci pe serpentine?

...de reținut



Pe suprafața Pământului, greutatea unui corp poate fi considerată constantă. De aceea, dacă un corp cu greutatea G coboară de la înălțimea h_1 la h_2 , lucrul mecanic efectuat de forța de greutate va fi:

$$L_G = G \cdot \Delta h = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2)$$

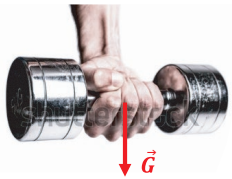
masa corpului (kg) → m
acceleerația gravitațională (m/s²) → g
nivelul inițial, de la care pornește corpul (m) → h_1
nivelul final, la care ajunge corpul (m) → h_2

Analizând formula obținută, se poate observa că:

1. la urcare, $h_2 > h_1 \rightarrow L_G < 0$ (greutatea efectuează lucru mecanic negativ);
2. la coborâre, $h_2 < h_1 \rightarrow L_G > 0$ (greutatea efectuează lucru mecanic pozitiv);
3. la deplasare orizontală, $h_2 = h_1 \rightarrow L_G = 0$ (greutatea nu efectuează lucru mecanic).

Formula se poate aplica în orice loc din Univers, folosind accelerația gravitațională corespunzătoare. De exemplu, pe Lună $g = 1,62 \text{ m/s}^2$, în stare de imponderabilitate $g = 0$.

...problemă rezolvată



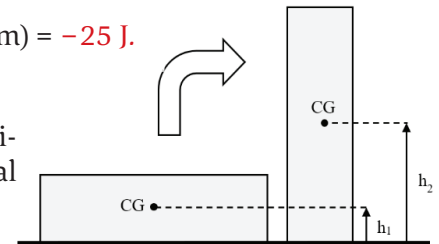
Cât lucru mecanic efectuează greutatea halterei de masă $m = 5 \text{ kg}$, în timp ce este ridicată de la înălțimea $h_1 = 1 \text{ m}$ la înălțimea $h_2 = 1,5 \text{ m}$?

Rezolvare:

$$\begin{array}{l|l} m = 5 \text{ kg} & L_G = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = \\ h_1 = 1 \text{ m}, h_2 = 1,5 \text{ m} & = 5 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (1 \text{ m} - 1,5 \text{ m}) = -25 \text{ J.} \\ L_G = ? & \end{array}$$

Cum se calculează lucrul mecanic al greutății unor corpuri mari?

Formula anterioară este valabilă și în cazul unor corpuri de mari dimensiuni, cu observația că înălțimile h_1 și h_2 se referă la nivelul inițial, respectiv final al centrului de greutate.



...problemă rezolvată

O cărămidă are masa $m = 3 \text{ kg}$ și dimensiunile $a = b = 10 \text{ cm}$, respectiv $c = 20 \text{ cm}$. Calculează lucrul mecanic efectuat de forța de greutate, atunci când ridicăm cărămidă în poziție verticală.

Rezolvare:

$$\begin{array}{l|l} m = 3 \text{ kg} & \text{Deoarece, centrul de greutate al cărămidii este tot timpul în centrul} \\ a = b = 10 \text{ cm} & \text{acesteia, în poziția inițială se află la înălțimea } h_1 = a/2 = 5 \text{ cm, iar în poziția} \\ c = 20 \text{ cm} & \text{finală la înălțimea } h_2 = c/2 = 10 \text{ cm. Lucrul mecanic efectuat de forța} \\ L_G = ? & \text{de greutate atunci când o ridicăm în poziție verticală este:} \\ & L_G = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = 3 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,05 \text{ m} - 0,1 \text{ m}) = -1,5 \text{ J.} \end{array}$$

2. Lucrul mecanic efectuat de forța de frecare la alunecare



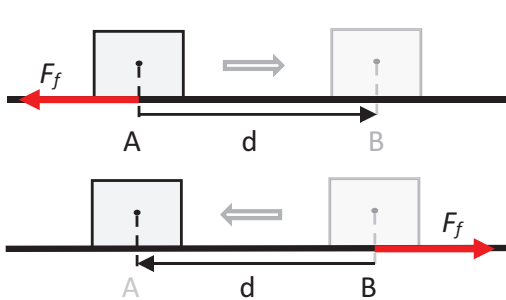
În vâltoarea unui meci de handbal se mai întâmplă să aluneci cu genunchiul pe parchetul sălii de sport. Este o experiență dureroasă! Forța de frecare te oprește repede, iar arsurile de pe genunchi te pot scoate din joc. Pentru a te proteja, poartă apărătoare pentru genunchi!

...provocare

Ce semn are lucrul mecanic efectuat de forța de frecare în acest caz? Dar în cazul unei mașini care pornește?

...de reținut

În cazul alunecării pe o suprafață orizontală, forța de frecare poate fi calculată cu formula cunoscută: $F_f = \mu \cdot N = \mu \cdot m \cdot g$. Fiind opusă mișcării, forța de frecare efectuează lucru mecanic negativ. Conform definiției:



$$L_{F_f} = -F_f \cdot d = -\mu \cdot m \cdot g \cdot d$$

masa corpului (kg) m
distanța parcursă de corp (m) d
coeficientul de frecare, $\langle \mu \rangle_{sl} = 1$ μ
acclerația gravitațională (m/s²) g

Observând figura, constatăm că forța de frecare efectuează lucru mecanic negativ, atât în cazul deplasării din A în B, cât și al deplasării din B în A, deoarece se opune deplasării în ambele cazuri.

Lucrul mecanic efectuat de forța de frecare poate fi și pozitiv, dacă acționează în direcția și sensul mișcării corpului.

Acesta este cazul unui automobil care pornește accelerat. Partea inferioară a „roții motoare” tinde să alunece înapoi față de sol, iar solul exercită asupra roții o forță de frecare orientată înainte. Această forță accelerează automobilul și efectuează lucru mecanic pozitiv. În timpul frânării, forța de frecare efectuează lucru mecanic negativ, deoarece acționează în sens opus mișcării.



...verifică înțelegerea

1. Două corpuri identice sunt coborâte de la aceeași înălțime până la nivelul solului: unul pe Pământ, altul pe Lună. Unde efectuează forța de greutate lucru mecanic mai mare?
2. Cât lucru mecanic efectuează forța de greutate a unui cub, în timp ce se rostogolește de pe o față pe alta pe o masă orizontală?
3. Care este semnul lucrului mecanic efectuat de forța de greutate în timp ce ne dăm pe roller-coaster?
4. Un corp paralelipipedic de mici dimensiuni coboară liber pe o pantă care formează unghiul $\alpha = 30^\circ$ cu orizontala, apoi își continuă mișcarea pe un drum orizontal, iar în final urcă pe o pantă înclinată tot cu unghiul α . Ce unghi formează forța de frecare cu deplasarea pe cele trei porțiuni ale mișcării?
5. Un artist de circ urcă uniform cu un monociclu (bicicleta cu o singură roată) pe un plan înclinat. Ce semn are lucrul mecanic efectuat de forța de frecare exercitată de sol asupra roții monociclului?
6. O ladă cu masa $m = 20 \text{ kg}$ este trasă pe un plan orizontal rugos pe distanța $d = 10 \text{ m}$. Coeficientul de frecare dintre ladă și plan este $\mu = 0,4$. Calculează lucrul mecanic efectuat de forța de frecare care acționează asupra lăzii.

Puterea mecanică

Obişnuim să spunem că unii oameni sunt mai puternici decât alții. La fel, unele mașini sunt mai puternice decât altele; motorul unei rachete este mai puternic decât motorul unui avion.

...provocare

Ce crezi? Ce înseamnă că un motor este mai puternic decât altul?

...studiu de caz

O macara ridică un corp la o anumită înălțime în 40 s. O altă macara ridică același corp, la aceeași înălțime, în 20 s. Cele două macarale, deși efectuează același lucru mecanic, nu sunt la fel de puternice. A doua este de două ori mai puternică, deoarece efectuează același lucru mecanic într-un interval de timp de două ori mai scurt. Putem afirma că al doilea motor efectuează lucru mecanic de două ori mai repede. Puterea mecanică este „viteza” cu care se efectuează lucru mecanic.



...de reținut

Puterea mecanică este mărimea fizică scalară numeric egală cu lucrul mecanic efectuat în unitatea de timp.

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

puterea mecanică

lucrul mecanic efectuat (J)

timpul în care a fost efectuat lucrul mecanic (s)

$$\langle P \rangle_{SI} = \frac{\langle L \rangle_{SI}}{\langle \Delta t \rangle_{SI}} = \frac{J}{s} = W \text{ (watt)}$$

Cât de mare este puterea de 1 W?

1 Watt este puterea unui dispozitiv care efectuează lucrul mecanic de 1 J într-o secundă.

Astfel, un copil care va ridica într-o secundă o tabletă de ciocolată cu masa de 100 g la înălțimea de 1 m, dezvoltă puterea de aproximativ 1 Watt.

...problemă rezolvată

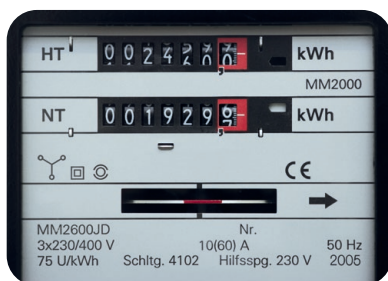
Ce putere are o macara care ridică un bloc de beton cu masa de 6 t la înălțimea de 20 m într-un minut?

$$\begin{array}{l} \text{Rezolvare: } m = 6 \text{ t} \\ h = 20 \text{ m} \\ P = ? \end{array} \quad \left| \quad P = \frac{L}{\Delta t} = \frac{F \cdot h}{\Delta t} = \frac{G \cdot h}{\Delta t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{\Delta t} = \frac{6\,000 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 20 \text{ m}}{60 \text{ s}} = \right.$$

$$\left. = \frac{1\,200\,000 \text{ J}}{60 \text{ s}} = 20\,000 \text{ W} = 20 \text{ kW} \right.$$

...verifică înțelegerea

- Completează spațiul liber, astfel încât afirmația să fie corectă!
În cazul a două motoare, puterea mai mare o are cel care:
a) efectuează lucru mecanic mai în același timp;
b) efectuează același lucru mecanic într-un timp mai
- Ce se măsoară în kWh?
- Cum se spune corect:
„kilowatt oră” sau „kilowatt pe oră”?



Curiozități...

Kilowattul-oră (kWh) nu este o unitate de măsură a puterii, ci a lucrului mecanic și a energiei, pe care o întâlnim cel mai frecvent la contoarele electrice și pe facturile de energie electrică. Relația de transformare din kilowatt-oră în jouli este:

$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J}$$

Observație pentru viitorii crainici TV: nu spuneți niciodată „kilowatt pe oră” pentru că este greșit din punct de vedere științific. Forma corectă este „kilowatt oră”. Operația matematică dintre kilowatt și oră nu este de împărțire, ci de înmulțire!

Randamentul

În majoritatea activităților pe care le desfășurăm folosim mecanisme mai simple sau mai complexe.



...studiu de caz

Pentru a muta un bolovan din loc, putem folosi o rangă ce poate multiplica forța aplicată. Însă în loc să mișcăm doar bolovanul, punem în mișcare și ranga, iar la contactul dintre rangă și celelalte corpuri apar forțe de frecare care se opun mișcării. În consecință, lucrul mecanic efectuat de om asupra răngii – **lucru mecanic consumat** – este mai mare decât lucrul mecanic efectuat de rangă asupra bolovanului pentru ridicarea acestuia – **lucru mecanic util**. Diferența lor se consumă în mod inutil, dar inevitabil, deoarece fără rangă nu am putea mișca bolovanul. Randamentul ne arată cât la sută din lucrul mecanic consumat este util.

...provocare

Ce crezi? Când efectuăm lucru mecanic mai mare: când ridicăm la înălțimea de 1 m un sac de 20 kg acționând direct cu brațele sau dacă îl „târâm” pe un plan înclinat?

...de reținut

Randamentul este mărimea fizică scalară egală cu raportul dintre lucrul mecanic util și lucrul mecanic consumat.

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

L_u = lucrul mecanic util (J)
 L_c = lucrul mecanic consumat (J)

$$\langle \eta \rangle_{SI} = \frac{J}{J} = 1$$

(nu are unitate de măsură)

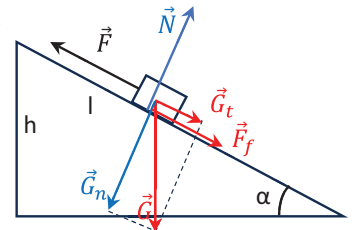
Un mecanism sau dispozitiv este cu atât mai eficient (bun), cu cât are un randament mai mare!

Randamentul planului înclinat

Planul înclinat este folosit pentru a ridica la înălțime un corp, cu o forță mai mică decât greutatea sa. În acest caz:

- lucrul mecanic util este lucrul mecanic efectuat pentru a ridica corpul vertical, la înălțimea h , fără ajutorul planului înclinat $L_u = G \cdot h$
- lucrul mecanic consumat este lucrul mecanic efectuat de forța minimă de tracțiune F în timpul deplasării l de-a lungul planului înclinat $L_c = F \cdot l$
- randamentul este raportul lor:

$$\eta = \frac{L_u}{L_c} = \frac{G \cdot h}{F \cdot l} = \frac{G \cdot \sin \alpha}{F} = \frac{G_t}{G_t + F_f} < 1$$



Observații:

- Randamentul planului înclinat este subunitar, din cauza forței de frecare. Aceasta se poate reduce ungând suprafața planului sau punând role sub corp.
- Mărind masa corpului, toate forțele cresc proporțional și astfel randamentul rămâne neschimbat.

...problemă rezolvată

Două grinzi, cu lungimea $l = 2$ m fiecare, sunt sprijinite de platforma unui camion. Pe planul înclinat format rostogolim un butoi cu masa $m = 40$ kg, până ajunge pe platforma aflată la înălțimea $h = 1$ m.

a) Cât lucru mecanic util a fost efectuat?

b) Cât lucru mecanic a fost consumat, dacă randamentul ridicării este $\eta = 80\%$?

Rezolvare: $l = 2$ m, $m = 40$ kg, $h = 1$ m

a) $L_u = ?$; b) $L_c = ?$

a) $L_u = G \cdot h = m \cdot g \cdot h = 40 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} = 400 \text{ J}.$

b) $\eta = \frac{L_u}{L_c} \Rightarrow L_c = \frac{L_u}{\eta} = \frac{400 \text{ J}}{0,8} = 500 \text{ J}.$

...verifică înțelegerea

- Cum este mai avantajos: ca randamentul să fie mare sau mic?
- Ce semnificație are un randament de 50%?
- Un dispozitiv are randamentul de 80%. Calculează lucrul mecanic efectuat inutil, dacă lucrul mecanic consumat este de 1 000 J.

Energia mecanică



Sunt situații în care un corp este total inofensiv, de exemplu aerul nemișcat din curte, un cablu elastic nedeformat, zăpada adunată în grădină. Alteori, aceleași corpuri pot deveni periculoase, de exemplu, aerul în timpul unei furtuni violente, cablul elastic tensionat, zăpada acumulată pe o pantă abruptă.

...provocare

Ce anume face diferența? Aerul devine periculos pentru că se mișcă, cablul devine periculos pentru că este întins, iar zăpada pentru că este la înălțime. În toate aceste situații spunem că aceste corpuri au *ceva* ce nu aveau înainte: au energie și capacitatea de a efectua lucru mecanic.

...de reținut

Energia unui sistem este mărimea fizică scalară ce măsoară capacitatea acestuia de a efectua lucru mecanic.

În timp ce efectuează lucru mecanic, energia sistemului scade cu valoarea lucrului mecanic efectuat. Dacă sistemul are energia E_0 înainte de a efectua lucru mecanic și efectuează lucrul mecanic L , energia sa finală va fi $E = E_0 - L$, de unde:

$$E - E_0 = -L, \text{ sau } \Delta E = -L$$

energie finală a sistemului (J) energie inițială a sistemului (J) lucru mecanic efectuat (J)

$$\Delta E = E - E_0 \text{ variația energiei sistemului (J)}$$

Pentru a se putea aduna sau scădea, energia și lucrul mecanic trebuie să aibă aceeași unitate de măsură.

Energia este un parametru de stare, deoarece caracterizează starea unui sistem (de exemplu, a unei baterii) la un moment dat. În timpul unui proces, energia sistemului poate să crească (bateria se încarcă), să scadă (bateria se descarcă, punând în funcțiune un consumator electric) sau să rămână neschimbată (dacă bateria se încarcă și se descarcă în același timp).



Energia mecanică este energia pe care o au corpurile datorită proprietăților lor macroscopice (masă, viteză, poziție, grad de deformare).

Alte forme de energie – electrică, termică, optică și nucleară – implică proprietățile microscopice ale corpurilor.

...problemă rezolvată

Bateria unui burghiu electric este încărcată 100% și înmagazinează $E_0 = 20$ J de energie. Cât lucru mecanic a efectuat burghiul, dacă gradul de încărcare a bateriei a scăzut la 20%?

Rezolvare: $E_0 = 20$ J
 bateria scade de la 100% la 20%
 $L = ?$

Burghiul a consumat 80% din energia inițială, astfel lucrul mecanic efectuat este:
 $L = 80\% \cdot E_0 = 0,8 \cdot 20 \text{ J} = 16 \text{ J}.$

...verifică înțelegerea

1. Putem ști câtă energie a avut un om înainte de a efectua 1000 J lucru mecanic?
2. Bateria încărcată a unei mașini înmagazinează 2 MJ de energie. Pentru a porni motorul mașinii, demarorul efectuează lucrul mecanic de 40 kJ. Câtă energie rămâne înmagazinată în baterie?
3. Se poate exprima energia în kW? Dar în kWh?

Energia cinetică

Toate corpurile care se mișcă (aerul, apa, mașina, ciocanul, meteoriții etc.) pot efectua lucru mecanic, deci au energie. Aceasta se numește energie cinetică sau energie de mișcare. Mărimea ei depinde de masa corpului și de viteza acestuia.



...provocare

De câte ori crește energia cinetică a ciocanului, dacă i se dublează masa? Dar dacă i se dublează viteza?

...studiu de caz

adâncimea (mm)		viteza (m/s)		
		1	2	3
masa (g)	100	1	4	9
	200	2	8	18
	300	3	12	27

În tabelul alăturat poți citi adâncimea la care pătrunde cuiul în scândură, în funcție de masa și de viteza ciocanului. De exemplu, în cazul unui ciocan cu masa de 200 g care lovește cuiul cu viteza de 3 m/s, adâncimea de pătrundere a cuiului este de 18 mm. Presupunând că adâncimea de pătrundere a cuiului este o măsură a energiei cinetice a ciocanului, putem observa următoarele:

1. dacă masa ciocanului crește de n ori, energia sa cinetică crește de n ori;
2. dacă viteza ciocanului crește de n ori, energia sa cinetică crește de n^2 ori.

...de reținut

Energia cinetică este energia pe care o au corpurile aflate în mișcare.

Energia cinetică este direct proporțională cu masa corpului și cu pătratul vitezei acestuia.

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

energia cinetică a corpului (J) viteza corpului ($\frac{m}{s}$)
masa corpului (kg)

Teorema de variație a energiei cinetice

$$E_c - E_{c_0} = L_{total}$$

energia cinetică finală a corpului (J) energia cinetică inițială a corpului (J) lucrul mecanic total efectuat de forțele care acționează asupra corpului (J)

Observăm că, dacă lucrul mecanic este pozitiv, energia cinetică a corpului crește, iar dacă este negativ, scade.

...problemă rezolvată

Un corp cu masa $m = 4 \text{ kg}$ este lansat pe o masă orizontală cu viteza $v_0 = 2 \text{ m/s}$. Coeficientul de frecare dintre corp și masă este $\mu = 0,4$. Calculează:

- a) energia cinetică inițială a corpului;
- b) distanța parcursă de corp până la oprire.

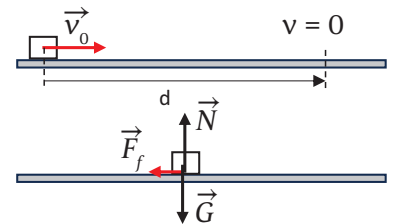
Rezolvare: $m = 4 \text{ kg}$
 $v_0 = 2 \text{ m/s}$
 $\mu = 0,4$

a) $E_{c_0} = ?$

b) $d = ?$

a) $E_{c_0} = m \frac{v_0^2}{2} = 4 \text{ kg} \frac{(2 \frac{m}{s})^2}{2} = 8 \text{ kg} \frac{m^2}{s^2} = 8 \text{ J}$

b) Folosim teorema variației energiei cinetice, știind că energia cinetică finală este 0: $0 - E_{c_0} = L_{F_f} + L_G + L_N \Rightarrow -E_{c_0} = -\mu \cdot m \cdot g \cdot d + 0 + 0 \Rightarrow E_{c_0} = \mu \cdot m \cdot g \cdot d \Rightarrow$
 $\Rightarrow d = \frac{E_{c_0}}{\mu \cdot m \cdot g} = \frac{8 \text{ J}}{0,4 \cdot 4 \text{ kg} \cdot 10 \frac{m}{s^2}} = 0,5 \text{ m}$



...verifică înțelegerea

1. Câtă energie cinetică are un corp cu masa $m = 1 \text{ kg}$, dacă se mișcă cu viteza $v = 1 \text{ m/s}$?
2. Cum se modifică energia cinetică a corpului din problema precedentă dacă:
 - a. îi dublăm masa;
 - b. îi dublăm viteza;
 - c. reducem masa la jumătate și dublăm viteza?
3. Câtă energie cinetică va avea un corp cu energia cinetică inițială $E_{c_0} = 100 \text{ J}$ după ce se efectuează asupra lui lucrul mecanic total de:
 - a. 20 J;
 - b. -50 J;
 - c. -100 J?

Energia potențială gravitațională



Sunt situații în care și un corp aflat în repaus are capacitatea de a efectua lucru mecanic. De exemplu, apa dintr-un lac de acumulare aflat la înălțime poate fi folosită pentru a pune în mișcare turbina hidrocentralei, care produce energie electrică; greutatea dispozitivului de bătut piloți poate introduce stâlpi de beton în pământ; biciclistul aflat pe munte poate coborî, fără să acționeze asupra pedalelor. În toate aceste situații, corpurile au acumulat energie atunci când au fost urcate la înălțime (când apa s-a evaporat și s-a ridicat formând nori, când motorul electric a ridicat greutatea dispozitivului de bătut piloți, când biciclistul a urcat muntele cu mult efort).

Reține! Corpurile pot avea energie prin simpla poziție pe care o au față de Pământ. Aceasta se numește *energie potențială gravitațională*.



...provocare

Ce crezi? Valoarea energiei potențiale gravitaționale pe care o are un corp depinde doar de el?

...studiu de caz



Să ne imaginăm că o bilă ne cade din greșală pe picior. Durerea pe care o simțim (sau nu) este o măsură a energiei pe care o are bila la impactul cu piciorul. Energia impactului va fi cu atât mai mare, cu cât bila este mai grea și cade de la o înălțime mai mare.

Dacă repetăm experimentul pe Lună, energia impactului va fi mai mică, iar pe Stația Spațială Internațională nu va exista deloc – bila nici măcar nu cade!

Reține! Energia potențială gravitațională nu este înmagazinată în corp, ea este o proprietate a sistemului corp–Pământ (sau, în general, a unui sistem de corpuri care interacționează gravitațional).

...de reținut

Energia potențială gravitațională este energia corpurilor aflate la înălțime față de Pământ.

Prin căderea corpului, sistemul își consumă energia, efectuând lucru mecanic.

Formula energiei potențiale gravitaționale se poate deduce calculând lucrul mecanic efectuat de forța de greutate la coborâre.

$$E_{pg} = L_G = m \cdot g \cdot h$$

energia potențială gravitațională (J) masa corpului (kg) înălțimea la care se află corpul (m)
 lucrul mecanic efectuat de forța de greutate (J) accelerația gravitațională ($\frac{m}{s^2}$)

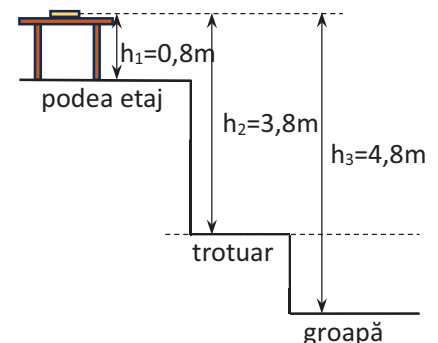
Analizând formula, putem vedea că energia potențială gravitațională este direct proporțională cu masa corpului, cu accelerația gravitațională a locului și cu înălțimea la care se află corpul. Înălțimea h se măsoară de la un *nivel de referință*, la care considerăm că energia potențială este zero.

...problemă rezolvată

Cartea de pe masa din figură are masa $m = 400$ g. Analizează figura și stabilește la ce înălțime se află cartea. Calculează energia potențială gravitațională a sistemului carte–Pământ.

Rezolvare:

Observăm că răspunsul depinde de nivelul de referință ales: podeaua, trotuarul sau groapa.



$$m = 400 \text{ g}$$

$$h_1 = 0,8 \text{ m}$$

$$h_2 = 3,8 \text{ m}$$

$$h_3 = 4,8 \text{ m}$$

$$E_{pg} = ?$$

1. Dacă alegem podeaua ca nivel de referință, cartea se află la înălțimea $h_1 = 0,8 \text{ m}$, iar energia cerută este: $E_{pg1} = m \cdot g \cdot h_1 = 0,4 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,8 \text{ m} = 3,2 \text{ J}$.
2. Dacă alegem trotuarul ca nivel de referință, cartea se află la înălțimea $h_2 = 3,8 \text{ m}$, iar energia este: $E_{pg2} = m \cdot g \cdot h_2 = 0,4 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3,8 \text{ m} = 15,2 \text{ J}$.
3. Dacă alegem groapa ca nivel de referință, cartea se află la înălțimea $h_3 = 4,8 \text{ m}$, iar energia este: $E_{pg3} = m \cdot g \cdot h_3 = 0,4 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4,8 \text{ m} = 19,2 \text{ J}$.

Observații:

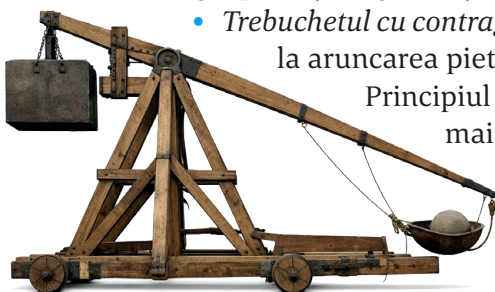
- Valoarea energiei potențiale gravitaționale depinde de *nivelul de referință ales*.
- Deși nivelul de referință poate fi ales *arbitrar*, în situații concrete este util să îl alegem *la cel mai coborât punct atins de corp* în cadrul acelei probleme.

...verifică înțelegerea

1. Care corp are energie potențială gravitațională mai mare: corpul cu masa de 1 kg aflat la înălțimea de 1 m pe Pământ, sau corpul cu masa de 6 kg aflat la înălțimea de 6 m pe Lună? Se știe că accelerația gravitațională pe Pământ este de 6 ori mai mare decât pe Lună.
2. Cum se modifică energia potențială gravitațională a unui corp aruncat în sus?
3. Cum se modifică energia potențială gravitațională acumulată într-un lac de acumulare în timp ce plouă?

Curiozități...

- „Seiful de energie“ (*energy vault*) este un sistem de stocare gravitațională a energiei care are la bază un principiu foarte simplu. Ziua, când producția de energie electrică bazată pe panouri solare este mai mare decât cererea și astfel energia electrică devine foarte ieftină, este pus în funcțiune un set de macarale electrice care ridică și așază unul peste altul blocuri masive de beton din care se construiesc turnuri din ce în ce mai înalte. Noaptea, când panourile fotovoltaice nu produc energie, macaralele coboară blocurile de beton înapoi pe pământ și produc energie electrică folosind energia potențială gravitațională a acestora.



- *Trebuchetul cu contragreutate* este o catapultă medievală, originară din China, care servea la aruncarea pietrelor sau a butoaielor cu substanțe inflamabile asupra inamicului. Principiul de funcționare era foarte simplu. Un grup de soldați trăgea de brațul mai lung al catapultei pentru a ridica la înălțime o contragreutate foarte mare legată de brațul mai scurt al acesteia. Energia potențială gravitațională acumulată în contragreutate era apoi folosită pentru a propulsa cu viteză mare un proiectil (bila din imagine) legat de capătul brațului lung. Odată cu descoperirea prafului de pușcă, catapultele au fost înlocuite cu tunuri.

- Energia potențială gravitațională înmagazinată în apa lacului de acumulare de la Bicaz este de aproximativ $10^{15} \text{ J} \approx 300 \text{ GWh}$, suficientă pentru a alimenta cu energie electrică 100 000 de locuințe timp de un an. Faptul că hidrocentrala de la Izvorul Muntelui produce anual 500 GWh de energie electrică (mai mult decât toată energia acumulată în lac) arată că energia lacului este regenerată încontinuu de apa adusă de afluenții lacului.



Energia potențială elastică



Sunt situații în care deformăm un resort cu scopul ca acesta să efectueze ulterior lucru mecanic. De exemplu, atunci când apăsăm maneta soneriei de bicicletă, acționăm asupra ciocănelului soneriei, dar în același timp întindem și resortul marcat cu roșu în imagine. Când eliberăm maneta, resortul revine la lungimea inițială de echilibru și pune în mișcare mecanismul, iar soneria sună din nou. La revenire nu mai efectuăm noi lucru mecanic, ci resortul. Atât timp cât resortul a stat întins, el a avut capacitatea de a efectua lucru mecanic.

Același lucru se întâmplă și în cazul unei cutii muzicale: mai întâi răsucim mecanismul pentru a stoca energie în resortul din interior, apoi resortul se destinde și efectuează lucru mecanic, punând în mișcare mecanismul cutiei muzicale.

Reține! Corpurile deformate elastic pot efectua lucru mecanic, deci au energie. Aceasta se numește *energie potențială elastică*.



...provocare

Ce crezi? Se poate transporta energia dintr-un loc în altul?

...studiu de caz

Povestea cu fiscul



Să presupunem că vreau să îi fac o farsă unui prieten de peste ocean trimițându-i un *clown cu arc*, închis într-o cutie. Comprım resortul, îndes clownul în cutie și leg bine capacul cu o panglică colorată. Fiind cadou, plătesc și taxele vamale, pentru ca prietenul meu să se poată bucura pe deplin. După o săptămână primesc un telefon de la el, în care îmi relatează cum s-au distrat copii, văzându-l speriindu-se de clownul care a sărit brusc din cutie în momentul deschiderii acesteia.

Ce legătură are povestea cu fizica?

Fiind profesor de fizică, știu că lucrul mecanic pe care îl efectuez la comprimarea resortului va fi înmagazinat în resort sub formă de energie potențială elastică. Această energie va călători peste ocean împreună cu resortul și se va consuma prin efectuare de lucru mecanic atunci când prietenul meu va deschide cutia.

Dar ce legătură are povestea cu fiscul?

Ups! Am uitat să plătesc taxele vamale și pentru energia transportată!

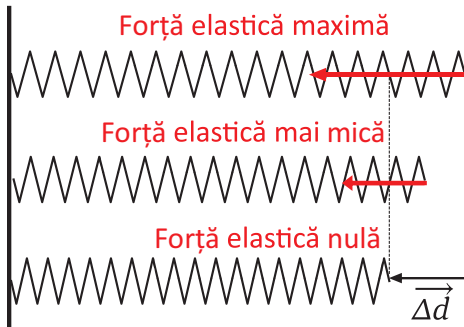
Reține! Energia se poate transporta dintr-un loc în altul, de obicei sub formă de energie potențială elastică, iar corpurile care fac acest lucru se numesc *purtători de energie*. Combustibilii sunt astfel de purtători de energie în care ne putem imagina că atomii sunt legați prin mici resorturi invizibile comprimate. Prin ardere, resorturile se destind și eliberează energia sub formă de căldură.

...de reținut

Energia potențială elastică este energia corpurilor deformate elastic.

În timp ce revine la forma inițială, energia potențială elastică a corpului deformat scade cu valoarea lucrului mecanic efectuat de forța elastică.

În cazul unui resort, energia potențială elastică este egală cu lucrul mecanic pe care îl poate efectua forța elastică în timp ce alungirea resortului scade la zero.



Calculul lucrului mecanic al forței elastice este mai dificil decât în cazul forței de greutate, deoarece pe parcursul revenirii resortului la lungimea inițială, valoarea forței elastice scade treptat, de la valoarea inițială maximă $F_e = k \cdot \Delta l$ la valoarea finală zero. Astfel, forța elastică medie este $F_{em} = \frac{F_e + 0}{2} = \frac{k \cdot \Delta l}{2}$, deplasarea este $\Delta d = \Delta l$, iar lucrul mecanic efectuat de forța elastică este:

$$L_{Fe} = F_{em} \cdot \Delta l = \frac{k \cdot \Delta l}{2} \cdot \Delta l = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}.$$

Cum $E_{pe} = L_{Fe}$, obținem:

$$E_{pe} = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}$$

constantă elastică a resortului ($\frac{N}{m}$) alungirea resortului (m)
 energie potențială elastică (J)

Analizând formula putem vedea că energia potențială elastică este direct proporțională cu constanta elastică a resortului și cu pătratul alungirii acestuia. Astfel, dacă se dublează alungirea, energia înmagazinată în resort crește de 4 ori, iar dacă alungirea crește de 3 ori, energia crește de 9 ori.

...problemă rezolvată

Un resort cu constanta elastică $k = 100 \frac{N}{m}$ este alungit cu $\Delta l_1 = 5 \text{ cm}$.

- Câtă energie potențială elastică este înmagazinată în acest resort?
- Cu cât crește energia resortului, dacă îl alungim cu încă $\Delta l = 5 \text{ cm}$?

Rezolvare: $k = 100 \frac{N}{m}$ $\Delta l_1 = 5 \text{ cm}$ $\Delta l = 5 \text{ cm}$	a) $E_{pe1} = \frac{k \cdot \Delta l_1^2}{2} = \frac{100 \frac{N}{m} \cdot (0,05 \text{ m})^2}{2} = 0,125 \text{ J};$ b) $\Delta l_2 = \Delta l_1 + \Delta l = 0,05 \text{ m} + 0,05 \text{ m} = 0,1 \text{ m};$ $E_{pe2} = \frac{k \cdot \Delta l_2^2}{2} = \frac{100 \frac{N}{m} \cdot (0,1 \text{ m})^2}{2} = 0,500 \text{ J};$ $\Delta E_{pe} = E_{pe2} - E_{pe1} = 0,375 \text{ J}.$
a) $E_{pe1} = ?$ b) $\Delta E_{pe} = ?$	

...verifică înțelegerea

- Completează fiecare spațiu liber cu unul dintre cuvintele: *pozitiv, negativ, crește, scade*, astfel încât afirmația să fie corectă. Găsește ambele variante corecte!
 În timp ce forța elastică efectuează lucru mecanic, energia potențială elastică a resortului
- Cum se modifică energia potențială elastică a unui resort în următoarele situații:
 - resortul nedeformat se întinde cu 2 cm;
 - resortul întins cu 2 cm revine la lungimea nedeformată;
 - resortul întins cu 2 cm se comprimă cu 2 cm;
 - resortul comprimat cu 2 cm se comprimă cu 5 cm;
 - resortul comprimat cu 5 cm se întinde cu 2 cm?
- Câtă energie înmagazinează un resort cu constanta elastică de 1 N/m atunci când este întins cu 10 cm?
- De câte ori crește energia potențială elastică a unui resort dacă se dublează atât constanta elastică, cât și alungirea acestuia?

Curiozități...

Energia înmagazinată într-un arc de tir tensiionat este de 40-80 J, în timp ce energia înmagazinată într-un arc de luptă medie-val este de 120-200 J?

Legea conservării energiei mecanice

...studiu de caz



Când vagonul unui roller-coaster, împreună cu pasagerii săi, este ridicat până în punctul cel mai înalt al primei urcări, sistemul dobândește o cantitate mare de energie potențială gravitațională. Termenul „potențială” indică faptul că energia este stocată și poate fi utilizată ulterior pentru a efectua lucru mecanic sau poate fi transformată în energie cinetică. De exemplu, atunci când un obiect care are energie potențială gravitațională cade, energia sa se transformă treptat în energie cinetică.

Analizează mișcarea roller-coasterului din imaginea alăturată. Pentru a aduce vagonul în vârful primei rampe, asupra lui se efectuează lucru mecanic, iar energia sa potențială gravitațională crește. În acel punct, vagonul are viteză mică, deci și energia sa cinetică este mică. Pe măsură ce vagonul coboară pe prima pantă, energia potențială gravitațională se transformă treptat în energie cinetică. În punctul cel mai de jos al traseului, o mare parte din energia potențială inițială a fost transformată în energie cinetică, iar viteza vagonului este maximă. Când vagonul începe să urce pe următoarea rampă, o parte din energia cinetică se transformă din nou în energie potențială gravitațională, iar viteza vagonului scade.

...provocare

Ce se întâmplă cu energia potențială gravitațională a schiorului din imagine în timp ce coboară pe pârtie? Dar cu energia sa cinetică?



...experiment virtual

Scanează codul QR alăturat și alege o traiectorie. Pe bara de instrumente din dreapta selectează masa sportivului, vitezometrul și graficul energiilor. Plasează sportivul pe traiectorie și urmărește indicația vitezometrului și variația energiei cinetice, potențiale gravitaționale și a energiei mecanice totale. Ce se întâmplă cu energia mecanică totală în timpul mișcării? Alege următoarea traiectorie și reia pașii experimentului.

În timpul mișcării, energia cinetică și energia potențială gravitațională se modifică, dar suma lor, adică energia mecanică totală, rămâne constantă, dacă frecările sunt neglijabile.

...de reținut

Legea conservării energiei mecanice: Dacă într-un sistem nu acționează forțe de frecare sau frecările sunt neglijabile, energia mecanică totală se conservă.

$$E = E_c + E_p = \text{constant}$$

energia mecanică (J) *energia cinetică (J)*
energia potențială (J)

Rezolvarea problemelor prin aplicarea legii conservării energiei mecanice:

1. Verifică dacă frecările pot fi neglijate.
2. Alege un sistem de referință convenabil și stabilește nivelul de referință (zero) pentru energia potențială.
3. Stabilește starea inițială și starea finală ale evoluției sistemului.
4. Scrie expresia energiei mecanice corespunzătoare fiecăreia dintre aceste stări.
5. Aplică legea conservării energiei mecanice pentru stările considerate.
6. Calculează mărimile fizice necunoscute.

...problemă rezolvată

Calculează energia mecanică a unei berze cu masa de 4 kg, atunci când zboară rectiliniu uniform la înălțimea de 300 m cu viteza de $54 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Se consideră accelerația gravitațională $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Rezolvare:

$$m = 4 \text{ kg}; h = 300 \text{ m}$$

$$v = 54 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$E = ?$$

$$\text{Energia mecanică: } E = E_c + E_p.$$

$$\text{Energia cinetică: } E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{4 \text{ kg} \cdot \left(15 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 450 \text{ J}.$$

$$\text{Energia potențială: } E_p = m \cdot g \cdot h = 4 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 300 \text{ m} = 12\,000 \text{ J}$$

$$\text{Energia mecanică: } E = 450 \text{ J} + 12\,000 \text{ J} = 12\,450 \text{ J}$$

...verifică înțelegerea

1. O picătură de apă și o bilă de rulment (de oțel) au același volum și cad cu aceeași viteză. Au și aceeași energie cinetică?
2. O atletă aleargă pentru a-și lua elan înainte de a fixa prăjina în sol la săritura cu prăjina. De ce?
3. Într-un zbor de agrement, un planor cu masa totală de 600 kg se deplasează rectiliniu uniform la înălțimea de 500 m cu viteza de $108 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Calculează energia mecanică a acestuia. Exprimă rezultatul în multiplul corespunzător. Se consideră accelerația gravitațională $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.
4. Un schior participă la proba de viteză în coborâre dreaptă. Calculează viteza maximă a acestuia în punctul de înregistrare, știind că diferența de nivel între zona de start și cea de înregistrare este de 180 m. Se neglijează forțele de frecare și se consideră accelerația gravitațională $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.
5. Un vagon al unui roller-coaster este ridicat până la înălțimea de 40 m față de sol. Din acest punct pornește din repaus și coboară pe șine. Se consideră că frecările sunt neglijabile. Calculează:
 - a. viteza vagonului în punctul cel mai de jos al traseului;
 - b. viteza vagonului într-un punct aflat la 15 m deasupra solului;
 - c. înălțimea maximă pe care o poate atinge vagonul după ce urcă pe următoarea rampă.
 Se consideră accelerația gravitațională $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Curiozități...

- La crevetele călugăriță (mai ales specia *Odontodactylus scyllarus*) lovitura se bazează pe acumularea energiei potențiale elastice, care este apoi convertită foarte rapid în energie cinetică. Mușchii nu produc direct lovitura, ci încarcă un mecanism elastic, asemănător cu cel al unei arbalette sau al unei catapulte. Când acesta se eliberează, energia potențială elastică se transformă foarte repede în energie cinetică, iar lovitura devine extrem de puternică, având o viteză foarte mare ($12\text{--}23 \text{ m/s}$ în apă) și o forță de impact impresionantă, de până la 1500 N. Accelerația loviturii este aproximativ 10 000 g (de 10 000 ori accelerația gravitațională), iar energia impactului este de aproximativ 50–118 J. Pentru comparație, aceasta este energia cinetică aproximativă a unui glonț.
- Bungee-jumpingul este un alt exemplu de transformare a energiei. Când o persoană sare, energia potențială gravitațională se transformă în energie cinetică. Când coarda elastică se întinde, energia cinetică se transformă în energie potențială elastică.



Observarea sistematică a activității și comportamentului elevilor pe parcursul unității de învățare

Completează următorul chestionar:

1. Cel mai mult mi-a plăcut
2. Cel mai puțin m-a interesat
3. Am întâmpinat dificultăți în a înțelege
4. Am nevoie de clarificări în legătură cu

Pe parcursul orelor m-am simțit:



INVESTIGAȚIA 1

Determinarea randamentului ridicării uniforme a unui corp pe un plan înclinat

Te-ai întrebat vreodată de ce drumul spre vârful unui munte nu urmează traseul cel mai scurt, ci înaintează treptat, în serpentine? Sau de ce este mai ușor să urci un troller pe o rampă decât să-l ridici direct pe verticală?

Planul înclinat este unul dintre cele mai simple mecanisme care reduc forța necesară ridicării unui corp. În cele ce urmează vom descoperi cât de eficient este planul înclinat, determinând randamentul său.



...de amintit

Planul înclinat este un mecanism simplu reprezentat de o suprafață plană care face un unghi ascuțit cu planul orizontal. Elementele sale sunt lungimea L , înălțimea h și unghiul de înclinare α . Planul înclinat permite ridicarea unui corp cu o forță care este mai mică decât în cazul ridicării verticale, dar care acționează pe o distanță mai mare. Pentru a afla cât de eficient este un plan înclinat, îi calculăm *randamentul* (η) folosind relația: $\eta = \frac{L_u}{L_c}$ unde: $L_u = G \cdot h$ este *lucrul mecanic util*, adică lucrul mecanic minim necesar pentru a ridica un corp cu greutatea G la înălțimea h , prin deplasarea acestuia pe verticală; $L_c = F \cdot L$ este *lucrul mecanic consumat*, adică lucrul mecanic efectuat de forța de tracțiune F la deplasarea aceluiași corp, cu viteză constantă, de-a lungul planului înclinat, pe distanța L (până la înălțimea h).



Întrebarea de investigat:

Cum se modifică randamentul unui plan înclinat atunci când înclinarea acestuia crește?



Ipoteză:

Scrie în caiet ipoteza ta. Precizează cum crezi că se va modifica randamentul planului atunci când crește înclinarea și explică pe scurt de ce crezi asta. La finalul investigației vei compara ipoteza formulată cu rezultatele obținute.



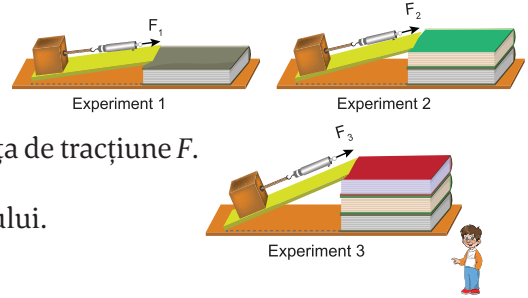
Proiectarea experimentului:

- 1. Materiale necesare:** un cub din lemn, dinamometru (pentru a măsura forța), o riglă/ruletă, o scândură netedă sau orice suprafață plană, rigidă, suport pentru a schimba înălțimea planului (de exemplu, cărți).
- 2. Identificarea variabilelor**
- 3. Modul de lucru**

VARIABILA INDEPENDENTĂ	VARIABILA DEPENDENTĂ	VARIABLE CONTROLATE
înclinarea planului înclinat	randamentul planului înclinat	- corpul utilizat - lungimea planului înclinat - natura suprafeței de contact - metoda de măsurare - instrumentele de măsură

- Măsoară greutatea corpului cu ajutorul dinamometrului și notează valoarea G .

- Măsoară lungimea planului înclinat și notează valoarea L .
- Fixează planul înclinat la o anumită înălțime, sprijinindu-l pe suport, și măsoară înălțimea h .
- Trage corpul uniform în sus pe plan și citește pe dinamometru forța de tracțiune F .
- Repetă măsurarea de trei ori pentru aceeași înălțime.
- Repetă pașii anteriori pentru alte două valori ale înălțimii planului.



Înregistrarea datelor experimentale:

Centralizează valorile măsurate în tabel:

Nr.det	G (N)	L (m)	h (m)	$L_u = G \cdot h$ (J)	F (N)	$L_c = F \cdot L$ (J)	η	η_{mediu}



Prelucrarea și analiza datelor experimentale

- Calculează pentru fiecare determinare lucrul mecanic util, lucrul mecanic consumat și randamentul.
- Calculează valoarea medie a randamentului pentru fiecare înclinare a planului.
- Compară valorile obținute.



Formularea concluziilor

Analizează valorile obținute și stabilește cum se modifică randamentul planului înclinat atunci când înclinarea acestuia crește.

...întrebări de reflecție

1. Cum s-a modificat randamentul pe măsură ce ai făcut planul mai abrupt?
2. Unde „dispare” diferența dintre lucrul mecanic consumat și cel util?
3. Ce s-ar întâmpla cu randamentul dacă am unge suprafața planului cu ulei?
4. Ce crezi, randamentul planului înclinat depinde de greutatea corpului urcat uniform pe plan?
Cum ai putea verifica ipoteza ta?

INVESTIGAȚIE 2

Verificarea teoremei variației energiei cinetice

Lucrare de laborator

Te-ai întrebat vreodată...?

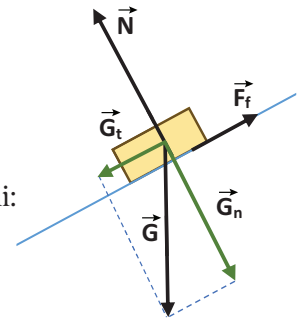
De ce, pe snowboard, viteza crește la coborâre, dar scade pe teren orizontal?

În viața de zi cu zi, schimbări ale stării de mișcare apar frecvent. Cum le putem explica?

Pentru a răspunde la astfel de întrebări, vom explora experimental legătura dintre variația energiei cinetice a unui corp și lucrul mecanic efectuat de forțele ce descriu interacțiunea acestuia cu mediul exterior. Vom arăta astfel că schimbarea vitezei unui corp nu apare întâmplător. Ea este rezultatul direct al energiei transferate prin aceste interacțiuni, care sunt caracterizate și măsurate cu ajutorul **forțelor ce acționează asupra corpului**.



Noțiuni teoretice



Atunci când un corp se află pe un plan înclinat, greutatea lui se descompune pe două direcții:

- o componentă perpendiculară cu planul, care *apasă corpul pe plan*;
- o componentă paralelă cu planul, care *ține să deplaseze corpul în jos pe plan*.

În același timp, între corp și plan apare **forța de frecare**, care se opune mișcării.

- Dacă unghiul planului este suficient de mic, forța de frecare poate echilibra componenta greutății care produce alunecarea. În acest caz, corpul poate coborî **uniform**. Unghiul de înclinare a unui plan pe care un corp coboară uniform se numește **unghi de frecare** (α_f). Așadar, un corp **coboară uniform** un plan înclinat dacă componenta tangențială a greutății sale este egală cu forța de frecare.

$$G \sin \alpha_f = \mu G \cos \alpha_f$$

Prin urmare, coeficientul de frecare dintre corp și plan se poate determina cu relația:

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha_f$$

- Dacă unghiul de înclinare a planului este mai mare decât unghiul de frecare ($\alpha > \alpha_f$), mișcarea corpului ce coboară planul sub acțiunea greutății este uniform accelerată, deoarece componenta tangențială a greutății este mai mare decât forța de frecare. În această situație, în cazul în care *corpul a pornit din repaus*, viteza lui (v) după parcurgerea distanței d va fi:

$$v = \frac{2d}{t}$$

unde: t – timpul de coborâre (pe distanța d).

Energia cinetică (E_c) este energia unui corp aflat în mișcare, cu viteza v :

$$E_c = \frac{mv^2}{2}$$

unde: m – masa corpului.

Pentru un corp ce coboară liber planul înclinat pornind din repaus, variația energiei cinetice va fi egală cu energia cinetică finală:

$$\Delta E_c = \frac{2Gd}{gt^2} \quad (1)$$

unde: g – accelerația gravitațională.

IMPORTANT! În urma interacțiunilor cu mediul înconjurător, corpurile pot primi sau pot pierde energie. Cantitatea de energie primită sau cedată de un corp este descrisă de lucrul mecanic efectuat de forțele care caracterizează aceste interacțiuni:

- dacă lucrul mecanic total este pozitiv, viteza corpului crește;
- dacă lucrul mecanic total este negativ, viteza corpului scade.

Relația dintre variația energiei cinetice a unui corp și lucrul mecanic total efectuat de forțele ce acționează asupra corpului este exprimată de **teorema variației energiei cinetice**:

$$\Delta E_c = L_t \quad (2)$$

unde: ΔE_c – variația energiei cinetice, L_t – lucrul mecanic total al forțelor.

Lucrul mecanic total (L_t) efectuat asupra corpului ce coboară liber pe plan înclinat este suma dintre lucrul mecanic al greutății corpului și lucrul mecanic al forței de frecare:

$$L_t = L_G + L_{F_f} \quad (3)$$

Lucrul mecanic al greutății (L_G) nu depinde de drumul urmat de corp și este pozitiv atunci când corpul coboară, fiind lucru mecanic motor:

$$L_G = G h \quad (4)$$

unde: G – greutatea corpului, h – diferența de nivel între poziția inițială și cea finală.

Lucrul mecanic al forței de frecare este negativ, fiind lucru mecanic rezistent. Când corpul parcurge distanța d pe un plan înclinat de unghi α , lucrul mecanic al forței de frecare se calculează cu relația:

$$L_{F_f} = -\mu G d \cos \alpha \quad (5)$$

Pentru verificarea teoremei variației energiei cinetice se vor determina experimental greutatea corpului G , coeficientul de frecare al corpului pe planul înclinat μ , unghiul planului înclinat (α), timpul de coborâre t și distanța parcursă de corp pe planul înclinat d . Valorile determinate experimental vor fi utilizate pentru

calculul variației energiei cinetice (ΔE_c), conform relației (1) și a lucrului mecanic total (L_T), în conformitate cu relațiile 3, 4 și 5. Valorile astfel obținute vor fi comparate pentru verificarea relației 2.

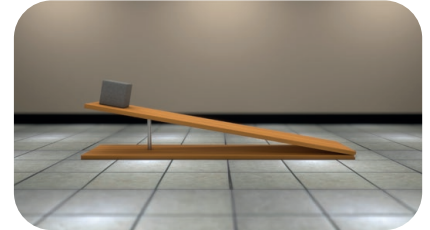
Descrierea experimentului

a. Materiale necesare: ruletă, cronometru, masă, plan înclinat cu lungime de 1,5-2 m, al cărui unghi poate fi modificat, corp paralelipipedic din lemn, dinamometru, raportor.

b. Modul de lucru

Etapa A: Determinarea coeficientului de frecare

- Așază planul înclinat pe masă, cu o înclinare foarte mică.
- Așază corpul pe plan.
- Mărește treptat unghiul planului, până când corpul începe să coboare **uniform** (unghiul planului este egal cu unghiul de frecare).
- Măsoară unghiul de frecare.
- Repetă determinarea de cel puțin trei ori.
- Completează tabelul și calculează coeficientul de frecare pentru fiecare determinare.
- La final, calculează **valoarea medie a coeficientului de frecare** (ca medie aritmetică a valorilor obținute).



Nr. det.	α_F	$\mu = \operatorname{tg} \alpha_F$	μ_{med}
1			
2			
3			

Etapa B: Verificarea teoremei energiei cinetice

- Fixează planul la un unghi de înclinare puțin mai mare decât unghiul de frecare ($\alpha > \alpha_F$).
- Fixează un punct pe planul înclinat (suficient de îndepărtat de baza acestuia) din care vei lăsa corpul să alunece liber.
- Măsoară înălțimea (h) la care se află acest punct față de baza planului.
- Măsoară distanța d pe care corpul o va parcurge pe planul înclinat.
- Măsoară greutatea corpului paralelipipedic.
- Așază corpul pe plan în punctul de plecare stabilit și lasă-l să alunece liber.
- Măsoară timpul de coborâre a corpului pe plan înclinat.
- Repetă experimentul de minimum trei ori și calculează un timp de coborâre mediu.
- Calculează variația energiei cinetice a corpului, lucrul mecanic efectuat de forța de greutate, lucrul mecanic efectuat de forța de frecare, respectiv lucrul mecanic total (vei folosi pentru coeficientul de frecare valoarea medie determinată în partea A a lucrării experimentale).
- Notează valorile măsurate și cele calculate într-un tabel ca cel de mai jos.
- Compară valorile din coloanele portocalii.

Nr. det.	G (N)	α	$\cos \alpha$	h (m)	d (m)	t (s)	$\Delta E_c = \frac{2Gd^2}{gt^2}$ (J)	$L_G = G h$ (J)	$L_{F_f} = -F_f d$ (J)	$L_T = L_G + L_F$

Observație: Precizia măsurării timpului de coborâre poate fi îmbunătățită prin filmarea experimentului în modul *slow-motion*. Analizând filmarea cadru cu cadru, momentul în care corpul este lăsat liber și momentul în care ajunge la baza planului pot fi stabilite mai exact prin folosirea directă a cronometrului. Dacă filmarea are frecvența de f cadre pe secundă, iar între cele două momente se numără N cadre, timpul de coborâre se determină cu relația: $t = \frac{N}{f}$, unde N este numărul de cadre, iar f este frecvența de filmare.

Întrebări de reflecție

- De ce corpul accelerează pe planul înclinat?
- Care forță contribuie la creșterea energiei cinetice a corpului?
- Ce rol are forța de frecare în această mișcare?
- De ce valorile ΔE_c și L_t nu sunt perfect egale în experiment?
- Ce tipuri de erori experimentale pot apărea?
- De ce, pe snowboard, viteza crește la coborâre, dar scade pe teren orizontal?

PROBLEME PROPUSE

- Un elev ține în mână un atlas cu masa de 1 kg, iar un altul ține în mână un atlas cu masa de 3 kg. Care elev efectuează un lucru mecanic mai mare?
 - Calculează lucrul mecanic efectuat de greutatea unui șoim peregrin, cu masa de 5 kg, atunci când este în picaj de la 2 km la 1 km.
 - Un copil trage o săniuță pe zăpadă cu o forță constantă de 40 N și efectuează un lucru mecanic de 160 J în timp de 40 s. Calculează:
 - distanța pe care se deplasează săniuța;
 - viteza săniuței;
 - puterea mecanică.
 - Un delfin se deplasează pe sub apă cu viteza de $18 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Puterea dezvoltată este de 1 kW. Calculează:
 - lucrul mecanic efectuat într-o oră;
 - distanța parcursă în acest timp;
 - forța dezvoltată de delfin.
 - Află răspunsurile corecte ale itemilor, știind că fiecare are un singur răspuns corect.
- A. Unitatea de măsură pentru energia potențială este:
- m;
 - N;
 - J;
 - W.

- Dacă un ghepard și o mașină se deplasează cu aceeași viteză, ghepardul are energia cinetică:
 - mai mare decât a mașinii;
 - mai mică decât a mașinii;
 - egală cu a mașinii;
 - egală cu zero.
- Un leopard cu greutatea de 500 N stă pe o ramură la înălțimea de 8 m. Energia potențială gravitațională a lui este:
 - 40 kJ;
 - 4 kJ;
 - 40 J;
 - 4 J.
- Un autoturism de 1,2 t trece de la 72 km/h la 108 km/h. Calculează:
 - energia cinetică inițială;
 - energia cinetică finală;
 - lucrul mecanic necesar pentru accelerare.
- Calculează înălțimea la care un alpinist cu masa de 80 kg are energia potențială gravitațională de 12 kJ.
- Un copil sare pe o trambulină de constantă elastică $1200 \frac{\text{N}}{\text{m}}$. Calculează energia potențială elastică acumulată în trambulină în momentul deformării maxime de 30 cm.
- Calculează energia mecanică a unei lebede de vară cu masa de 8 kg, atunci când zboară rectiliniu uniform la înălțimea de 5 m cu viteza de $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

TEST DE EVALUARE

I. (1p) Adevărat/Fals

1. Lucrul mecanic este nul atunci când forța este perpendiculară pe deplasare.	
2. Puterea mecanică reprezintă lucrul mecanic efectuat în unitatea de timp.	
3. Randamentul unui sistem poate fi mai mare de 100%.	
4. Un corp aflat în repaus are energie cinetică diferită de zero.	

II. (2p) Alege varianta corectă.

- A. Unitatea de măsură pentru lucrul mecanic în SI este:
- volt;
 - watt;
 - joule;
 - newton.
- B. Lucrul mecanic este maxim atunci când:
- forța este perpendiculară pe deplasare;
 - forța este paralelă și de același sens cu deplasarea;
 - deplasarea este zero;
 - forța este zero.
- C. Puterea mecanică este:
- produsul dintre forță și deplasare;
 - raportul dintre lucrul mecanic și intervalul de timp;
 - suma energiilor;
 - produsul dintre masă și accelerație.
- D. Randamentul unui sistem este:
- întotdeauna mai mare decât 1;
 - întotdeauna egal cu 1;
 - negativ;
 - mai mic sau egal cu 1.

- E. Energia potențială gravitațională crește când:
- scade masa;
 - scade înălțimea;
 - crește viteza;
 - crește înălțimea.

III. (2p) Completează spațiile libere:

- Lucrul mecanic este mărimea fizică, egală cu produsul dintre și deplasare, dacă deplasarea are loc în direcția și sensul forței.
- Forța care acționează în sens opus deplasării efectuează lucru mecanic
- Randamentul este mărimea fizică scalară egală cu raportul dintre lucrul mecanic și lucrul mecanic

IV. Rezolvă următoarele probleme:

- A. (1p) Calculează energia cinetică a unui autoturism cu masa de 1,2 t atunci când se deplasează cu viteza de $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
- B. (3p) Un dispozitiv acționat de un motor ridică un corp cu masa de 50 kg la înălțimea de 10 m în 5 s și are randamentul 0,8. Calculează:
- lucrul mecanic util;
 - lucrul mecanic consumat (efectuat de motor);
 - puterea motorului.

Se acordă 1 punct din oficiu.



5

TEMĂ INTEGRATOARE

În fiecare zi, milioane de oameni circulă pe drumurile publice: ca pietoni, ca bicicliști, ca pasageri sau ca șoferi. De cele mai multe ori, deplasarea pare ceva obișnuit. Fiecare frânare, viraj sau oprire poate fi explicată cu ajutorul unor legi simple ale mișcării și interacțiunii dintre corpuri.

Elemente de siguranță rutieră

Timp de reacție.

Distanță de frânare, distanță de oprire

...provocare

Un șofer declară după un accident rutier: „Am frânat imediat!”. Și totuși, mașina nu s-a oprit la timp. Dacă frânarea a fost imediată, de ce oprirea nu a fost imediată?



...studiu de caz

Într-o zonă urbană, un șofer circulă atent. O minge apare brusc pe carosabil, urmată de un copil care aleargă după ea. Șoferul observă pericolul, are nevoie de o fracțiune de secundă pentru a reacționa, apoi apasă pedala de frână. Chiar și după apăsarea frânei, autoturismul mai parcurge o distanță până la oprirea completă.

Dacă șoferul a reacționat imediat, de ce autoturismul nu s-a oprit în același moment?

Oprirea nu este un moment, ci un proces. Ea începe când șoferul observă pericolul și se încheie când mașina ajunge la viteza zero. Procesul poate fi descris prin reprezentarea grafică a vitezei mașinii în funcție de timp atunci când se oprește rapid (vezi graficul alăturat):

Distanța totală de oprire, d_{op} , se poate împărți în două: distanța de reacție, d_r , și distanța de frânare, d_f :

- **Distanța de reacție, d_r ,** este distanța pe care o parcurge mașina în intervalul dintre observarea pericolului și apăsarea pedalei de frână. În timpul de reacție, t_r , necesar șoferului pentru a apăsa pe frână, viteza mașinii este constantă. Distanța de reacție se poate calcula cu aria de sub grafic (aria dreptunghiului) în acest interval de timp:

$$d_r = v_0 \cdot t_r \quad (1)$$

- **Distanța de frânare** este distanța pe care o parcurge mașina după ce frânele reduc viteza autoturismului. Imediat ce acționează frânele, vehiculul încetinește până la oprire. Aria de sub grafic (aria triunghiului) în acest timp ($t_f = t_{op} - t_r$) reprezintă distanța de frânare:

$$d_f = \frac{v_0 \cdot t_f}{2} \quad (2)$$

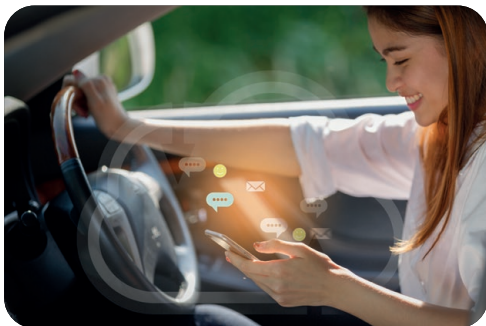
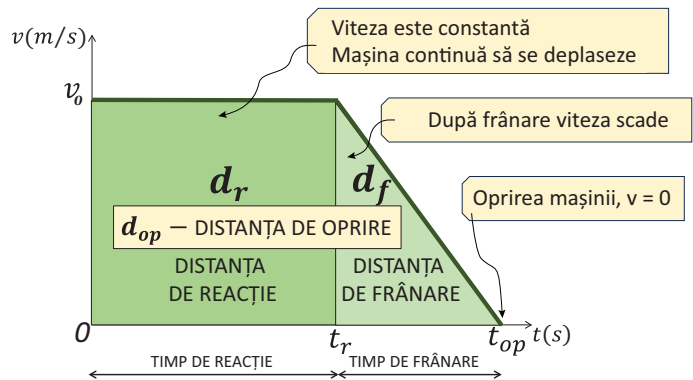


Fig. 1. Distanța de reacție diminuată de distrageri

Din studiul mișcării uniform variate (mișcare încetinită) știm că timpul de frânare:

$$t_f = \frac{v_0}{|a|} \quad (3).$$

Înlocuind ecuația (3) în (2) se obține:

$$d_f = \frac{v_0^2}{2|a|} \quad (4)$$

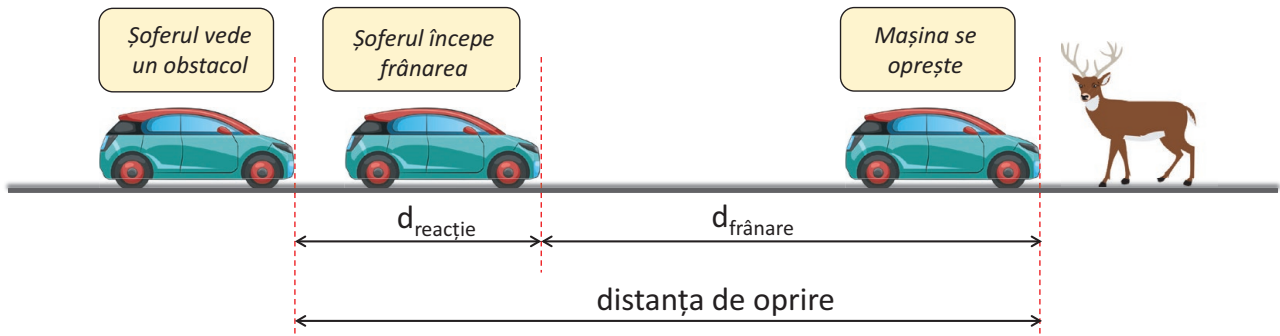
- **Distanța totală de oprire** este suma celor două distanțe: distanța de reacție și distanța de frânare:

$$d_{op} = d_r + d_f \quad (5)$$

Revenind la situația inițială, din graficul de mai sus observăm că viteza nu scade brusc la zero, ci descrește progresiv, așadar oprirea necesită un interval de timp și o distanță determinată de valoarea inițială a vitezei.

...de reținut

Timpul de reacție, t_r , (timpul de percepție + timpul de reacție fizică) reprezintă intervalul de timp dintre momentul observării unui potențial pericol și momentul apăsării pedalei de frână.



Distanța de reacție, d_r , este distanța parcursă de vehicul din momentul în care șoferul observă obstacolul până în momentul apăsării pedalei de frână.

Se poate scrie:

$$d_r = v_0 \cdot t_r$$

distanța de reacție (m) — d_r — viteza inițială a vehiculului ($\frac{m}{s}$)
 — t_r — timpul de reacție (s)

Distanța de reacție depinde de timpul de reacție (de obicei de 0,5-2 s).

Factorii care influențează distanța de reacție sunt:

- viteza inițială a vehiculului (dublarea vitezei înseamnă dublarea distanței parcurse);
- consumul de alcool sau droguri;
- distrageri, de exemplu, utilizarea telefonului mobil;
- oboseala.

Când șoferul apasă pe pedala de frână, mașina nu se oprește instantaneu.

Distanța de frânare, d_f , este distanța parcursă de vehicul din momentul apăsării pedalei de frână până la oprirea lui completă.

Distanța de frânare este proporțională cu pătratul vitezei inițiale a vehiculului. Acest lucru se datorează faptului că energia cinetică a vehiculului este disipată prin forțe de frecare la frânare.

Pentru a afla distanța de frânare, se aplică teorema variației energiei cinetice:

$$\Delta E_c = L$$

$$0 - \frac{1}{2} m v_0^2 = -F_f \cdot d_f$$

De unde, rezultă:

$$d_f = \frac{m v_0^2}{2 F_f}$$

masa vehiculului (kg) — m — pătratul vitezei inițiale a vehiculului (m^2/s^2)
 distanța de frânare (m) — d_f — forța de frecare la frână (N)

Factorii care influențează distanța de frânare sunt:

- viteza inițială a vehiculului;
- starea carosabilului în funcție de vreme și anotimp (de exemplu, ploi sau carosabil umed);
- eficiența sistemului de frânare;
- uzura și aderența anvelopelor mașinii.



Fig. 2. Verificarea discurilor de frână

Timpul de frânare, t_f , este intervalul de timp cuprins între momentul în care șoferul apasă pe frână și cel în care mașina se oprește complet.

Distanța totală de oprire, d_{op} , este distanța totală parcursă de vehicul din momentul observării pericolului până la oprirea completă a acestuia.

$$d_{op} = d_r + d_f$$

distanța totală de oprire (m)
distanța de frânare (m)
distanța de reacție (m)

Chiar dacă șoferul reacționează rapid, viteza mare face ca vehiculul să parcurgă mai mulți metri înainte de oprirea completă.

...problemă rezolvată

O elevă realizează un experiment de verificare a timpului de reacție: un coleg ține o riglă vertical și o lasă să cadă fără avertisment. Eleva trebuie să prindă rigla cât mai rapid. Ei măsoară lungimea riglei căzute până la prindere, ca fiind de 20 cm. Distanța parcursă de riglă în cădere liberă este dată de ecuația mișcării rectilinii uniform accelerate: $h = \frac{gt^2}{2}$, accelerația gravitațională este $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.



- Care este timpul de reacție al elevei?
- Dacă un autoturism circulă cu viteza de 36 km/h (10 m/s) și șoferul ar avea același timp de reacție ca cel calculat în experiment, ce distanță ar parcurge autoturismul înainte să înceapă frânarea?

Rezolvare:

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$v = 10 \text{ m/s}$$

$$t_r = ?$$

$$d_r = ?$$

- Distanța parcursă de riglă în cădere se calculează cu ecuația mișcării rectilinii uniform accelerate:

$$h = \frac{gt_r^2}{2} \Rightarrow t_r = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2 \text{ m}}{9,8 \text{ m/s}^2}} \approx 0,2 \text{ s}$$

- Distanța parcursă de autoturism într-un interval de timp egal cu timpul de reacție este:

$$d_r = v \cdot t_r = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,2 \text{ s} = 2 \text{ m}$$

Eleva are un timp de reacție de aproximativ 0,2 s, ceea ce pentru un șofer, care se deplasează cu viteza de 36 km/h, înseamnă o distanță de reacție de 2 m. Experimentul cu rigla măsoară o reacție simplă. În trafic, timpul de reacție poate fi mai mare, deoarece șoferul trebuie să observe, să interpreteze pericolul, să decidă și să acționeze.

...verifică înțelegerea

1. Dacă viteza se dublează, ce se întâmplă cu distanța de reacție? Dar cu distanța de frânare?
2. De ce diferența dintre 50 km/h și 70 km/h este mult mai importantă decât pare la prima vedere?
3. Care factor influențează doar distanța de reacție, nu și distanța de frânare?
4. Un șofer obosit are un timp de reacție mai mare. Ce etapă a opririi influențează?
5. Două mașini circulă cu aceeași viteză, dar una are frâne mai eficiente. Ce diferență apare în procesul de oprire?
6. De ce păstrarea distanței față de vehiculul din față este esențială?

Raza de viraj, stabilitatea la viraj. Forța de frecare statică (aderența) și frecarea dinamică

...provocare

Este adevărat că, atunci când mașina tinde să iasă din curbă, soluția este să învârtim mai mult volanul? Ce se întâmplă în cazul în care carosabilul este umed sau cu gheață?

...de reținut

În realitate, deși volanul este rotit suficient, mașina continuă să se deplaseze aproape drept. Pe carosabil umed sau cu gheață, fenomenul apare mai frecvent.

Pentru a schimba direcția, mașina are nevoie de o forță orientată spre interiorul curbei (fig.1). Această forță este asigurată de frecarea dintre roți și carosabil (fig.3). Dacă frecarea este insuficientă, roțile alunecă, iar rotirea suplimentară a volanului nu mai ajută.

Când un vehicul virează pe un drum orizontal, acesta se deplasează de-a lungul unei traiectorii curbate (fig.1 și 2).

Raza de viraj, r , este raza cercului descris de vehicul în timpul deplasării într-un viraj. Cu cât curba este mai „strânsă”, raza de viraj este mai mică.

Forțele care acționează asupra vehiculului sunt (fig.3):

- greutatea vehiculului;
- reacțiunea normală din partea carosabilului;
- **forța de frecare statică (aderența), $\vec{F}_{fs}$,** dintre anvelope și suprafața drumului, care permite vehiculului să frâneze eficient și să mențină direcția la viraj. O rază de viraj mică (o curbă „strânsă”) necesită o aderență mai mare.

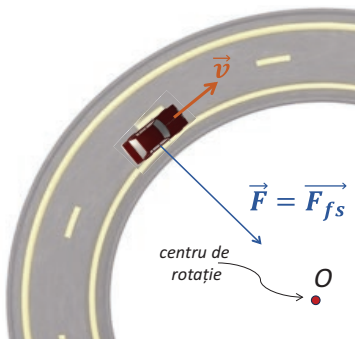


Fig.1. Forța de frecare statică

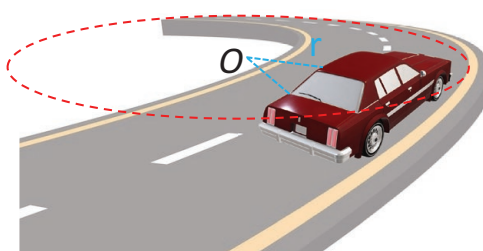


Fig.2. Raza de viraj indică „strângerea” curbei

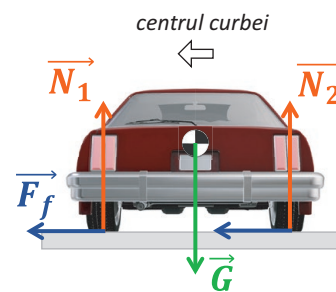


Fig.3. Într-un viraj, forța de frecare dintre carosabil și roți este orientată spre interiorul curbei.

Viteza maximă la care un vehicul poate vira fără a derapa este determinată de forța de frecare statică limită. Expresia vitezei maxime este:

$$v_{\max} = \sqrt{\mu_s g r} \quad (1)$$

viteza maximă (m/s) — $v_{\max}$ — coeficient static de frecare — μ_s —
 accelerația gravitațională (m/s²) — g — raza traiectoriei (m) — r

Factorii care influențează viteza maximă sunt:

- raza virajului: un viraj strâns necesită o viteză mai mică;
- coeficientul de frecare statică dintre anvelope și drum; în realitate acesta poate varia datorită carosabilului umed, noroios sau cu gheață (μ mic), iar în acest caz viteza trebuie redusă.

Observație: viteza maximă sigură a vehiculului nu depinde de masa acestuia, dacă drumul este orizontal.

Frecarea dinamică apare atunci când roțile alunecă pe carosabil (derapaj), la frânări bruște sau viraje luate cu viteză mare, care duc la pierderea controlului vehiculului. Frecarea dinamică este mai mică decât frecarea statică.

Stabilitatea la viraj reprezintă capacitatea unui vehicul de a menține aderența tuturor roților pe sol și a urma traiectoria dorită, prevenind înclinarea excesivă sau derapajul.

Condiția de stabilitate poate fi scrisă astfel:

$$F_{\text{necesară pentru viraj}} \leq F_{\text{maximă de frecare}}$$

(ambele fiind forțe dintre roți și carosabil).

Printre factorii care influențează stabilitatea la viraj se numără:

- viteza vehiculului;
- raza curbei;
- starea carosabilului;
- poziția centrului de greutate (vehiculele înalte au risc mai mare de răsturnare).

Sistemul ESP sau **ESC** (programul electronic de stabilitate sau de control) (fig.4) este un sistem electronic care ajută la menținerea stabilității mașinii în timpul manevrelor bruște sau atunci când drumul este alunecos. În multe țări europene, sistemul este obligatoriu pentru autoturismele noi. Acestea pot ajuta șoferul, dar nu pot anula efectele unei viteze prea mari.

Sistemul ABS (sistemul de frânare antiblocare) (fig.5) este o tehnologie esențială care previne blocarea roților în timpul frânării puternice. El nu permite blocarea instantanee a roților, deoarece atunci acestea ar aluneca pe carosabil (**frecare dinamică**, care este mai mică). În schimb, sistemul modulează frânarea astfel încât roțile să continue să se rotească în mod controlat; astfel, se menține **frecarea statică** (aderența), ceea ce permite păstrarea controlului asupra direcției și, de cele mai multe ori, scurtarea distanței de frânare.

Sistemul ABS ajută la frânare în siguranță, iar sistemul ESP ajută la menținerea stabilității în viraje.

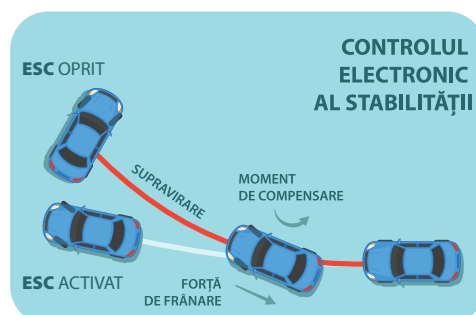


Fig.4. Controlul electronic al stabilității la un vehicul care derapează

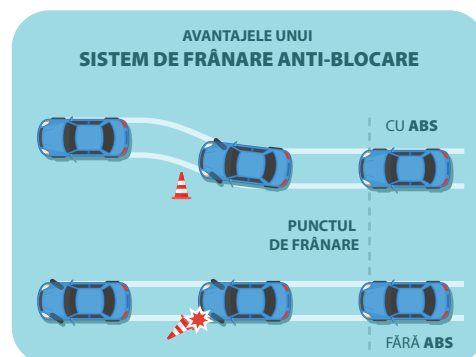


Fig.5. Avantajele unui sistem de frânare anti-blocare



...verifică înțelegerea

1. De ce rotirea suplimentară a volanului nu ajută dacă roțile alunecă?
2. Ce se întâmplă cu stabilitatea vehiculului dacă viteza crește?
3. Ce factori influențează frecarea dintre roți și carosabil?
4. De ce este recomandat să reduci viteza înainte de a intra în curbă, nu în timp ce ești în curbă?

Măsurile de siguranță la impact

...provocare

Ce crezi că este mai periculos într-un accident: viteza mare sau oprirea bruscă?

...studiu de caz

Presupunem că un șofer se deplasează cu un vehicul cu viteza de 90 km/h și lovește un obiect fix (fig. 1). Pentru a înțelege importanța airbagului, dorim să calculăm forța de impact exercitată exclusiv asupra capului șoferului în două situații diferite. Masa estimată a capului unui adult este de 5 kg.

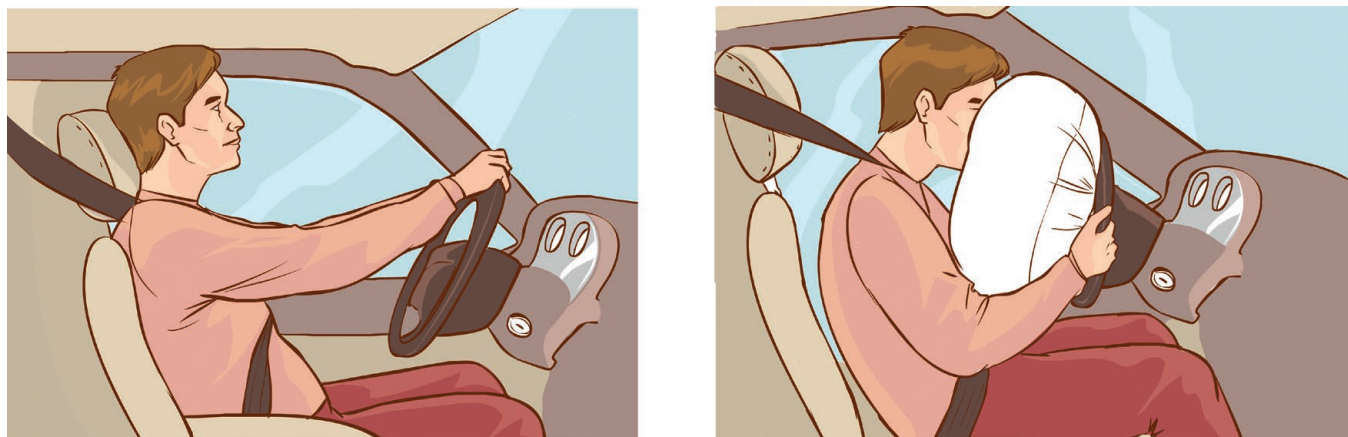


Fig.1. Cum influențează airbagul forța la impact

O viteză de 90 km/h înseamnă că vehiculul se deplasează cu 25 m/s.

Impulsul inițial este:

$$p_0 = m v_0 = 5 \text{ kg} \cdot 25 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 125 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

Impulsul final este:

$$p = 0$$

Variația impulsului pentru pasager este: $\Delta p = 0 - p_0 = -125 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$

În lipsa unui airbag, în momentul coliziunii, capul continuă să se deplaseze prin inerție și se lovește direct de volanul rigid. Oprirea se produce pe o distanță extrem de mică, determinată doar de deformarea minimă a oaselor și a volanului, de aproximativ $d = 3 \text{ cm}$ (0,03 m).

$$\Delta t = \frac{d}{v_m} = \frac{d}{\frac{v_0 + 0}{2}} = \frac{2d}{v_0} = \frac{2 \cdot 0,03 \text{ m}}{25 \text{ m/s}} = 0,0024 \text{ s}$$

Ceea ce înseamnă că timpul necesar ca impulsul capului persoanei să ajungă la zero este de aproximativ de 2,4 ms. Cu acest timp putem calcula forța de impact a capului cu volanul mașinii:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{-125 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{0,0024 \text{ s}} = -52\,083 \text{ N} = -52,1 \text{ kN}$$

Semnul (–) indică faptul că forța încetinește mișcarea capului. O forță de 52 083 N reprezintă o forță mare, echivalentă cu greutatea unui corp de peste 5 t, ce depășește cu mult rezistența oaselor craniene, care se pot fractura la forțe de peste 5-10 kN.

Să presupunem acum că mașina este dotată cu airbag. La impact, acesta se umflă instantaneu. Capul șoferului întâlnește perna de aer la o distanță de 30 cm față de punctul final de oprire, comprimând-o progresiv. Timpul în care impulsul capului ajunge la zero crește de 10 ori datorită distanței mai mari de frânare:

$$\Delta t = \frac{d}{v_m} = \frac{d}{\frac{v_0 + 0}{2}} = \frac{2d}{v_0} = \frac{2 \cdot 0,3 \text{ m}}{25 \text{ m/s}} = 0,024 \text{ s} = 24 \text{ ms}$$

Noua forță medie de impact va fi:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{-125 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{0,024 \text{ s}} = -5208 \text{ N} = -5,2 \text{ kN}$$

Tocmai de aceea **airbagul** a fost conceput, **să reducă forța de impact** asupra pasagerilor prin **mărirea timpului** în care aceștia își reduc viteza la zero.

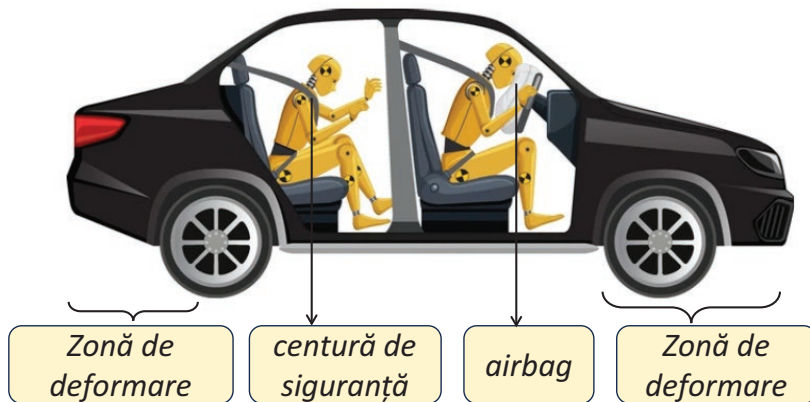
...de reținut

Conform **principiului inerției**, atunci când un vehicul se oprește brusc (în urma coliziunii) pasagerii din interior tind să-și continue deplasarea pe care o avea vehiculul la impact.

Măsurile de siguranță la impact în autovehicule sunt proiectate pentru a proteja pasagerii în timpul coliziunii, reducând forțele exercitate asupra corpului uman. Ele funcționează absorbind energia impactului și menținând pasagerii în poziții sigure.

Autovehiculele devin mai sigure dacă **variația impulsului** are loc pe o **durată mai mare**, astfel încât corpul să poată fi frânat progresiv.

Caracteristicile tipice de siguranță ale unui autovehicul includ:



- **centura de siguranță**

- ▶ previne impactul cu volanul sau parbrizul, acționând ca o forță exterioară necesară pentru a opri corpul;
- ▶ determină oprirea progresivă a corpului; datorită elasticității sale, ea mărește timpul în care corpul se oprește.

- **airbagul**

- ▶ reduce forța de impact prin mărirea timpului de oprire a pasagerului; dacă durata coliziunii crește de un număr de ori, forța scade de același număr de ori.

- **zona de deformare**

- ▶ prelungește durata de impact, reducând solicitările asupra corpului uman;
- ▶ în loc ca energia cinetică să fie transferată direct către pasageri sau să determine mașina să ricoșeze, aceasta va fi absorbită prin lucrul mecanic efectuat pentru a îndoi, rupe și strivi structura metalică a mașinii; caroseria se distruge tocmai pentru a proteja pasagerii vehiculului.

Alte echipamente destinate siguranței la impact sunt: **tetierele** (pentru a preveni „lovitura de bici” la impactul din spate), **sistemele ISOFIX** (pentru scaunele de copii), respectiv **habitaclu** (structura cabinei este din oțel de înaltă rezistență).

...verifică înțelegerea

1. Un elev afirmă: „Airbagul este periculos pentru că lovește pasagerul”.
 - a. Ești de acord cu afirmația lui?
 - b. Argumentează folosind noțiunile de impuls și forță.
2. Ce crezi că este mai eficient pentru protejarea pasagerului: o mașină foarte rigidă sau una care se deformează la impact?
3. Ce se întâmplă cu forța de impact dacă distanța de oprire se dublează?
4. Care dintre următoarele elemente de siguranță crește timpul necesar mașinii pentru a se opri: airbagul, centura de siguranță sau zona de deformare?

PROIECT – Fizica din spatele volanului

Siguranța la volan nu este doar despre reguli, ci și despre limitele fizice ale corpului și ale mașinii. Explorează-le prin următoarele trei provocări.

La finalul acestui proiect, vei putea să:

- **estimezi** distanța reală necesară pentru a opri în siguranță;
- **explici** de ce o anvelopă uzată sau un carosabil umed fac virajele periculoase;
- **analizezi** critic eficiența elementelor de protecție ale unui vehicul modern;
- **adopti** un comportament responsabil în trafic, bazat pe înțelegerea fenomenelor fizice, nu doar pe reguli memorate.

A. Campania „Secunda care face diferența”

- Realizează un poster, un video (educațional) sau o broșură de conștientizare care să includă un *infografic* bazat pe următoarele cerințe:
 - ▶ folosește o metaforă vizuală (alege un obiect mare drept etalon: o balenă albastră, autobuz etc. și folosește-l pentru a-l compara cu distanța de oprire);
 - ▶ demonstrează grafic că dublarea vitezei (50-100 km/h) mărește distanța de frânare de patru ori;
 - ▶ reprezintă vizual faptul că ploaia dublează lungimea frânării față de asfaltul uscat, la aceeași viteză.

B. Studiu de caz: „Anatomia unui accident”

- Urmărește un video de tip crash-test (de exemplu, EuroNCAP/IIHS) și realizează un eseu (1 pagină) sau o prezentare (5-7 slide-uri) care să cuprindă următoarele:
 - ▶ Explică, în termeni de transfer de energie, ce s-ar întâmpla dacă mașina ar fi din material rigid (care nu se îndoaie).
 - ▶ Descrie rolul zonelor de deformare în preluarea șocului și de ce airbagul este periculos dacă nu porți centura de siguranță.
 - ▶ Explică de ce corpul pasagerilor continuă să se miște după ce mașina s-a oprit brusc.

C. Experimentul: „Testul de reacție”

- Accesează link-ul <https://humanbenchmark.com/tests/reactiontime> Apasă pe ecranul albastru până când apare ecranul roșu, iar apoi urmărește indicația de pe ecran. Realizează un jurnal de laborator urmând pașii:
 - ▶ Măsoară-ți timpul de reacție: efectuează 5 încercări în două scenarii:
 - A.** concentrat maxim; **B.** distras (vorbind cu cineva sau ascultând muzică tare).
 - ▶ Completează un tabel asemănător celui de mai jos cu timpul tău de reacție și trage o concluzie despre conducul în oraș vs. autostradă.
 - ▶ Analizează pericolele distragerii în oraș (pietoni) vs. autostradă (viteze mari).

Viteza (km/h)	Viteza (m/s)	Timp de reacție (s)	Distanța de reacție (m)	Distanța de frânare (m)	Distanța de oprire (m)
50					
90					

Criterii de evaluare:

Fiecare proiect va fi evaluat conform următoarei grile (1 punct se acordă din oficiu):

Criteriu	Indicator de performanță	Punctaj
Rigoare științifică	Aplicarea corectă a conceptelor (viteză, inerție, timp de reacție)	3p
Calitatea prezentării	Design îngrijit, creativitate, montaj video sau argumentare logică în eseu	3p
Sinteză și concluzii	Capacitatea de a traduce datele experimentale în reguli de siguranță	3p

La finalul acestui proiect, adaugă produsele create (jurnalul de laborator, posterul, eseu) în PORTOFOLIUL tău de învățare. Colecția va păstra dovezile progresului pe parcursul unității de învățare.

Indicații și răspunsuri

Test inițial

Autoevaluare:

ITEM I					ITEM II					ITEM III. A.	ITEM III. B.	ITEM III. C.
0,3p	0,3p	0,3p	0,3p	0,3p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	2p	2p	1,5p
A	F	A	F	A	d)	b)	d)	c)	c)	6,6 N	990 000 J	200 000 N

Unitatea 1

1. a) 3; **b)** depinde de context; **c)** 3. **2. a)** 1,6 mA; **b)** $(1,6 \pm 0,1)$ mA. **3. a)** 10^{-6} m; 10^4 m; 10^9 m; **b)** distanța D este de 10^5 ori mai mare decât h ; **c)** 0,0000025 m. **4. a)** valoarea 1,20 s este o eroare grosolană, se elimină; abaterile individuale sunt: 0,02 s; 0,01 s; 0,01 s; 0,02 s; **b)** $t = (0,640 \pm 0,015)$ s.

Autoevaluare:

ITEM I				ITEM II				ITEM III				ITEM IV			
1	2	3	4	A	B	C	D	a	b	c	d	a	b	c	d
0,25p	0,25p	0,25p	0,25p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	1p	1p	1p	1p
F	A	F	A	c	b	c	b	3 cifre	0,01	mai mare	mai mică	0,05 cm	1,14%	$(4,30 \pm 0,05)$ cm	*

*Da, deoarece valoarea 4,32 cm face parte din intervalul de incertitudine a măsurătorii tânărului; $L \in [4,25; 4,35]$ cm.

Unitatea 2

1. a). **2. a)** A; **b)** F; **c)** A; **3. A.** a); B. c); C. a). **4.** 720 s. **5.** $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. **6. a)** 10 m/s; **b)** 25 m.

Autoevaluare:

ITEM 1				ITEM 2					ITEM 3				ITEM 4	ITEM 5	
0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,75p	0,25p	0,5p	0,5p	1,5p	1,5p	1p
A	F	A	A	d)	c)	c)	d)	a)	reper, riglă, cronometru	Traectoria	drepte, viteză	viteză, accelerația	$3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	5 s	62,5 m

Unitatea 3

I. F, A, F, F, A, F, F. **III. 1.** 20 m/s^2 . **2. a)** $T = 150 \text{ N}$; **b)** $T = \frac{1}{7} \cdot 200 \text{ N} \cong 171,4 \text{ N}$; **c)** $T = 150 \text{ N}$. **3. a)** $a_1 = 4 \text{ m/s}^2$; $a_2 = 2 \text{ m/s}^2$. **4. a)** $a_2 = 5 \text{ m/s}^2$. **5. a)** $0,6 \text{ m/s}^2$. **6. a)** $T = 600 \text{ N}$; **b)** $T = 600 \text{ N}$; **c)** $T = 612 \text{ N}$; **d)** $T = 570 \text{ N}$. **7. F_f** = 10 N. **8. a)** $F_f = 7,5 \text{ N}$; **b)** $N \cong 25,67 \text{ N}$. **9. F₂** = 40 N. **10. Δl** = 1 cm. **11. F** $\approx 2,05 \cdot 10^{20} \text{ N}$.

Autoevaluare:

ITEM I				ITEM II					ITEM III	ITEM IV. A	ITEM IV. B	ITEM IV. C.	ITEM IV. D.
0,25p	0,25p	0,25p	0,25p	0,4p	0,4p	0,4p	0,4p	0,4p	2p	1p	3p	3p	3p
A	F	A	A	c)	b)	b)	c)	c)	a) egale; opus; b) frecare; c) deformare; d) distanța	$a = 3 \text{ m/s}^2$	a) $R = 15 \text{ N}$; b) $a = 3 \text{ m/s}^2$; c) același sens cu forța rezultantă, adică în sensul mișcării.	a) $G = 30 \text{ N}$; b) $T = 30 \text{ N}$; c) $T = G$.	a) masele corpurilor și distanța dintre ele; b) scade de 4 ori; c) interacțiune la distanță.

Unitatea 4

1. L₁ = L_2 = 0 J. **2.** 50 000 J. **3. a)** 4 m; **b)** 0,1 m/s; **c)** 4 W. **4. a)** $3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$; **b)** 18 000 m; **c)** 200 N. **5. A.** c); B. b); C. b). **6.** 240 000 J; 540 000 J; 300 000 J. **7.** 15 m. **8.** 54 J. **9.** 2 m; nu.

Autoevaluare:

ITEM 1				ITEM 2					ITEM 3				ITEM 4	ITEM 5	
0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	0,5p	1p	1p	1p
A	A	F	F	c)	b)	b)	c)	d)	scalară, forță	negativ	util, consumat	mecanică	375 000	5 000 J	1 250 W

CRISTIAN PRESURĂ (coordonator)
DANIELA BERCHEZ · KÁROLY BOGDAN
GABRIELA DELIU · PETRONELA ANGELA IOJA
ANETA-AURELIA MIHALCSIK · DANIELA ȚEPEȘ

FIZICĂ

Trunchi comun (TC), filiera teoretică, profilul umanist;
filiera vocațională, toate specializările; filiera tehnologică,
toate calificările – clasa a IX-a

