

$$A = F's \cos \alpha$$

$$E_p = mgh$$

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

$$v = \frac{N}{t} \quad \mathbf{10}$$

$$p = \frac{1}{3} m_0 n v^2$$

$$F_{\text{пруж}} = -$$

$$\omega = \frac{\varphi}{t}$$

FIZICĂ

FIZICĂ

10

NIVEL STANDARD

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$T = 2\pi$$

$$v_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$$

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%$$

$$\eta = \frac{A}{Q}$$

$$g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$$

$$C = \frac{q}{\varphi}$$



2018

$$E = mc^2$$

$$Q = \Delta U + A$$

$$pV = \frac{m}{M} RT$$



INSTRUCȚIA SECURITĂȚII PENTRU ELEVI ÎN TIMPUL PETRECERII LECȚIILOR ÎN CABINETUL DE FIZICĂ

1 — Teze generale

- 1.1. În cabinetul de fizică elevii trebuie strict să respecte regulile securității și regulile regimului intern ale instituției de învățământ, orarul orelor de studii, normele stabilite și regimurile de lucru și de odihnă.
- 1.2. Elevii se pot afla în cabinetul de fizică numai în prezența profesorului sau a asistentului de laborator.
- 1.3. Despre fiecare accident, ce a avut loc la lecțiile de fizică, trebuie urgent de anunțat profesorul.
- 1.4. Despre ieșirea din funcțiune și defecțiunile utilajului trebuie imediat de anunțat profesorul.

2 — Cerințele securității în situații extremale

- 2.1. În caz de traumatism, îmbolnăvire ș. a. imediat anunțați despre aceasta profesorul.
- 2.2. În cazul apariției aprinderii neprevăzute, incendiului ș. a. imediat anunțați despre aceasta pe profesor.
- 2.3. În caz de evacuare strict îndepliniți instrucțiunile profesorului.

3 — Cerințele securității înainte de a începe lucrul

- 3.1. Elucidați precis ordinea și regulile petrecerii sigure a experienței.
- 3.2. Eliberați locul de lucru de toate obiectele și materialele netrebuincioase pentru lucru.
- 3.3. Controlați prezența și siguranța conductoarelor de conexiune, a aparatelor și a altor obiecte, necesare pentru executarea însărcinării.
- 3.4. Începeți a executa însărcinarea numai cu permisul profesorului.
- 3.5. Efectuați numai acele însărcinări, care sunt prevăzute în lucrare sau sunt date de către profesor.

4 — Cerințele securității în timpul lucrului

- 4.1. Lucrați numai la locul vostru de muncă.
- 4.2. Fiți atenți și disciplinați, executați precis indicațiile profesorului.
- 4.3. Repartizați aparatele, materialele, utilajul la locul vostru de muncă astfel, ca să fie evitate căderea sau răsturnarea lor.
- 4.4. În timpul petrecerii experiențelor nu admiteți solicitarea limită a aparatelor de măsurat.
- 4.5. Urmăriți starea bună a tuturor fixărilor în aparate și utilaje. Nu vă atingeți de părțile rotative ale mașinilor și nu vă aplecați deasupra lor.
- 4.6. Pentru montarea instalațiilor experimentale folosiți-vă de conducători cu cleme și huse de siguranță cu izolație trainică și fără defecțiuni vizibile.

- 4.7. Nu conectați dispozitivele electrice fără permisul profesorului; nu înlăturați defecțiunile rețelei electrice și a aparatelor electrice de sinestătător.
- 4.8. Montând un circuit electric, evitați intersecția conductoarelor; se interzice utilizarea conductoarelor cu izolație uzată și a întrerupătoarelor de tip deschis.
- 4.9. Sursa de curent conectați-o în circuit în ultimul rând. Circuitul montat conectați-l numai după verificare și permisul profesorului. Existența tensiunii în circuit poate fi verificată numai cu ajutorul aparatelor sau a indicatoarelor de tensiune.
- 4.10. Nu vă atingeți de elementele circuitului, care nu au izolație și se află sub tensiune. Nu efectuați din nou legături în circuite și nu schimbați siguranțele până la deconectarea sursei de alimentare cu curent electric.
- 4.11. Utilizați instrumente cu mânere izolate.
- 4.12. Nu părăsiți locul de muncă fără permisiunea profesorului.
- 4.13. Găsind o defecțiune în dispozitivele electrice, care se află sub tensiune, imediat deconectați sursa de curent și anunțați-l despre deteriorare pe profesor.
- 4.14. Pentru conectarea consumatorilor la rețeaua electrică folosiți-vă de conectarea prin priza de curent.

5 — Cerințele securității după terminarea lucrului

- 5.1. După terminarea lucrului obligatoriu deriticați locul de muncă. Deriticarea efectuați-o numai cu acordul profesorului.
- 5.2. Circuitul electric demontați-l numai după deconectarea sursei de alimentare cu curent electric.

CE ESTE NECESAR DE ȘTIUT

— Despre fenomenul fizic

- 1) criteriile exterioare ale decurgerii acestui fenomen, condițiile când el are loc;
- 2) legătura acestui fenomen cu altele;
- 3) mărimile fizice, care caracterizează fenomenul;
- 4) posibilitățile aplicării practice, procedeele evitării consecințelor dăunătoare

— Despre aparat sau dispozitiv

- 1) menirea;
- 2) construcția;
- 3) principiul de lucru;
- 4) domeniul de aplicare și regulile de folosire;
- 5) avantajele și neajunsurile

— Despre legea fizică

- 1) formularea; legătura între care fenomene stabilește legea;
- 2) expresia matematică;
- 3) fapte experimentale, care au dus la stabilirea legii sau confirmarea justității ei;
- 4) limitele aplicării

— Despre mărimea fizică

- 1) simbolul pentru notare;
- 2) proprietatea, pe care o caracterizează mărimea fizică;
- 3) determinarea (definiția);
- 4) formula, pusă la baza definiției; legătura cu alte mărimi fizice;
- 5) unitățile de măsură;
- 6) procedeele de măsurare

FIZICĂ

10 NIVEL STANDARD

CONFORM PROGRAMEI
COLECTIVULUI DE AUTORI
CONDUS DE LOKTEV V. M.

MANUAL PENTRU CLASA A 10-A
A INSTITUȚIILOR DE ÎNVĂȚĂMÂNT GENERAL
CU PREDAREA ÎN LIMBA ROMÂNĂ/MOLDOVENEASCĂ

DUPĂ REDACTAREA DE LUI V. G. BARIAHTAR,
S. O. DOVGHI

RECOMANDAT DE MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÂNTULUI
ȘI ȘTIINȚEI AL UCRAINE

ЛЬВІВ
ВИДАВНИЦТВО «СВІТ»
2018

УДК [37.016:53](075.3)
Ф50

Перекладено за виданням:

Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.) : підруч. для 10 кл. закл. загал. серед. освіти / [В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. — Харків : Вид-во «Ранок», 2018.

Підручник створено авторським колективом у складі:
В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України від 31.05.2018 № 551)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Рецензенти:

І. М. Гельфгат, учитель фізики комунального закладу
«Харківський фізико-математичний ліцей № 27», учитель-методист,
Заслужений учитель України, кандидат фізико-математичних наук;
А. Б. Трофімчук, завідувач кабінету фізико-математичних предметів
Рівненського обласного інституту післядипломної освіти

Автори й видавництво висловлюють щирю подяку:
М. М. Кірюхіну, президенту Спільки наукових і інженерних об'єднань України,
кандидату фізико-математичних наук,
за слухні зауваження й конструктивні поради;

І. С. Чернецькому, завідувачу відділу створення навчально-тематичних систем знань
Національного центру «Мала академія наук України», кандидату педагогічних наук,
за створення відеороликів демонстраційних і фронтальних експериментів

*Методичний апарат підручника успішно пройшов експериментальну перевірку
в Національному центрі «Мала академія наук України»*

Ілюстрації художника *Володимира Хорошенка*

Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою
Ф50 авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.) :
підруч. для 10 кл. закл. загал. серед. осв. з навч. румун-
ською/молдовською мовами / [В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий,
Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара,
С. О. Довгого ; пер. Р. Г. Рябко. — Львів : Світ, 2018. —
272 с. : іл.

ISBN 978-966-914-154-5

УДК [37.016:53](075.3)

ISBN 978-966-914-154-5 (рум./молд.)
ISBN 978-617-09-4360-6 (укр.)

© Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я.,
Кірюхіна О. О., 2018
© Хорошенко В. Д., ілюстрації, 2018
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2018
© Рябко Р. Г., переклад румунською/молдов-
ською мовами, 2018

Dragi prieteni!

Voi studiați fizica deja al putrulea an. Sperăm, că ați reușit să apreciați valoarea acestei științe miraculoase despre natură, mai mult ca atât — încercați să aplicați cunoștințele obținute, să percepeți și să explicați fenomenele și procesele, ce au loc în jur. Și din nou cu voi este ajutorul vostru — manualul de fizică. Vă amintim particularitățile lui.

Toate paragrafele manualului se încheie cu rubricile: «*Facem totalurile*», «*Întrebări de control*», «*Exercițiu*».



În rubrica «*Facem totalurile*» sunt reprezentate cunoștințe despre principalele noțiuni și fenomene, cu care voi ați făcut cunoștință în paragraf. Așadar, voi aveți posibilitatea mai o dată să atrageți atenția asupra esențialului.



«*Întrebările de control*» vă vor ajuta să stabiliți, dacă ați înțeles materialul studiat. Dacă voi veți putea da răspuns la toate întrebările, atunci totul e în ordine, dacă însă nu, din nou adresați-vă la textul din paragraf.



A descoperi competența sa și a aplica cunoștințele obținute în practică vă va ajuta rubrica «*Exercițiul*». Însărcinările din această rubrică sunt diferențiate după nivelul de dificultate — de la suficient de ușoare, care necesită numai atenție până la creative, rezolvându-le pe care trebuie de demonstrat agerime și perseverență. Numărul fiecărei probleme are culoarea sa (în ordinea creșterii dificultății: albastră, verde, portocalie, roșie și violetă).



Printre probleme sunt și de acelea, care servesc pentru repetarea materialului, pe care voi deja l-ați studiat în cursul de științe ale naturii, matematică sau la lecțiile anterioare de fizică.



Fizica — știință în primul rând experimentală, de aceea în manual sunt prezente *însărcinări experimentale*. Efectuați-le neapărat — și voi mai bine veți înțelege și veți iubi fizica.



Multe lucruri interesante și folositoare le veți afla datorită internet-susținerii. Acestea-s clipuri video, care demonstrează în acțiune un oarecare experiment sau proces fizic; informația, care vă va ajuta la rezolvarea însărcinărilor; însărcinări de antrenare sub formă de test cu verificare computațională; exemple de rezolvare a problemelor.

Materialele propuse la sfârșitul fiecărui capitol în rubricile «*Facem totalurile capitolului*» și «*Însărcinări pentru autoverificare*» vă vor ajuta să sistematizați cunoștințele obținute, vă vor fi de folos în timpul repetării a celor studiate și în timpul pregătirii pentru lucrările de control.

Rubrica «*Fizica în cifre*» servește drept o punte, care leagă realizările noi ale tehnicii cu materialul de studiu din paragraf.

Pentru cei ce vor să afle mai multe despre dezvoltarea științei fizice și a tehnicii în Ucraina și în lume, se vor găsi multe lucruri interesante și de folos în rubricile «*Fizica și tehnica în Ucraina*» și «*Pagina enciclopedică*».

Pentru cei, care deja se gândesc la alegerea viitoarei profesii și tinde să știe mai multe despre perspectivele dezvoltării a pieței forței de muncă, este destinată rubrica «*Profesiile de viitor*».

Călătorie surprinzătoare în lumea fizicii, succese!

TEMELE ORIENTATIVE ALE PROIECTELOR, REFERATELOR ȘI COMUNICĂRILOR, CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE

CAPITOLUL I

Temele proiectelor

1. Studiarea caracteristicilor fizice ale corpului propriu.
2. Dependența forței de rezistență de proprietățile mediului, forma și dimensiunile corpului.
3. Rezonanța: manifestarea și aplicarea ei.
4. Curelele de siguranță în vehicule.

Temele referatelor și comunicărilor

1. Timpul și măsurarea lui. Evoluția ceasornicelor.
2. Contribuția cosmonauților și astronautilor femeii în dezvoltarea spațiului cosmic.
3. Contribuția lui Amalie Emma Noether în dezvoltarea fizicii teoretice.
4. Specificul construcției transportului de mare viteză
5. Mișcarea în sistemele biologice.
6. Frecarea în materialele de construcție friabile.
7. Forța de frecare în tehnică și natură.
8. Cum «funcționează» parașuta.
9. Pentru ce sportivii «răsucesc» mingea.
10. Legile fizicii și mișcările de dans.
11. Pârghiile în natura vie.
12. Caracteristicile hidrodinamice ale sistemului sanguin.
13. Influența sunetului și infrasunetului asupra organismelor, poluarea fonică.
14. Ultrasunetul în medicină.

Temele cercetărilor experimentale

1. Mișcarea de rotație a lichidelor și a corpurilor solide.
2. Dependența distanței de zbor a corpului de direcția și valoarea vitezei inițiale a mișcării lui.
3. Crearea gravității artificiale.
4. Dependența distanței de frânare și a timpului de frânare de masa și viteza corpului.
5. «Sarcina» mănușilor de box și a bandajelor.
6. Proprietățile aerodinamice ale avioanelor din hârtie.
7. Compunerea oscilațiilor armonice, obținerea figurilor Lissajous.
8. Analiza nivelului de zgomot în incinta școlii. Recomandări pentru designeri.

CAPITOLUL II

Temele referatelor și comunicărilor

1. Călătoria în timp conform teoriei lui A. Einstein.
2. De ce avem nevoie de acceleratoare de particule elementare.
3. Povestiri instructive din viața primului cosmonaut al Ucrainei independente L. Cadeniuc.
4. Planete potrivite pentru viață. Cum de ajuns la ele?
5. Energia neagră și materia neagră.
6. Apariția Universului ca rezultat al Marii explozii.

CAPITOLUL III

Temele proiectelor

1. Difuziunea și însemnătatea ei.
2. Încălzirea globală: există oare o amenințare?
3. Umiditatea și temperatura aerului în sălile de clasă, modurile de păstrare a căldurii.

Temele referatelor și comunicărilor

1. Isoprocese. Procesul adiabatic în natură, tehnica, viața de zi cu zi.
2. Proprietățile anormale ale apei.
3. Apă «vie» și «moartă».
4. Fenomenele capilare în sol.
5. De ce apar crăpături pe pereții casei. Cum se poate împiedica apariția lor.
6. Fizica și chimia în procesele de coacere și depozitare a pâinii.
7. Metode de protecție a motoarelor împotriva supraîncălzirii.
8. Procesele termice în corpul uman.
9. Placile bimetalice, aplicarea lor.
10. Compararea oportunității economice de utilizare a automobilelor care au motoare cu ardere internă și a automobilelor electrice.
11. Sfaturile voastre adresate primului ministru: este oare oportună dezvoltarea energiei alternative în Ucraina.
12. Evoluția motoarelor pentru automobile.

Temele cercetărilor experimentale

1. Dependența temperaturii de fierbere de presiunea exterioară, prezența impurităților etc.
2. Creșterea cristalelor și studiarea proprietățile fizice ale acestora.
3. Cercetarea fenomenelor capilare.
4. Dependența vitezei de evaporare a apei de diferiți factori.
5. Creșterea plantelor și umiditatea solului.

CAPITOLUL IV

Temele proiectelor

1. Fenomenele electrostatice și vitalitatea organismelor.
2. Fenomene electrostatice în jurul nostru.
3. Triboelectricitatea și aplicațiile ei.

Temele referatelor și comunicărilor

1. Acțiunea câmpului electrostatic asupra germinăției semințelor, roadei.
2. Metode electrostatice de tratament.
3. Câmpul electric în celulele ființelor.
4. Atenție: tensiune înaltă.
5. Istoria creării paratrăsnetului.
6. Legătura cu pământul a aparatelor electrice de uz casnic.
7. Pământul — un condensator imens.

Temele cercetărilor experimentale

1. Cercetarea interacțiunii corpurilor încărcate.
2. Confecționarea electroscopului. Studierea cu ajutorul lui a corpurilor încărcate.
3. Diferite moduri de vizualizare a liniilor de forță ale câmpului electric.



§ 1. APARIȚIA ȘI DEZVOLTAREA FIZICII CA ȘTIINȚĂ



Până de curând, oamenii nu au putut nici măcar să viseze despre oportunitățile pe care le au acum. Realizări în așa domenii precum robotehnica, inteligența artificială, nanotehnologia, imprimarea 3D, genetica, biotehnologia, astăzi se completează rapid reciproc. Sistemele inteligente, ce sunt deja create sau care se creează doar: case, fabrici, ferme sau chiar și orașe — va ajuta la rezolvarea diferitelor probleme ale omenirii. Este clar, că toate cele menționate nu pot să nu influențeze asupra formării concepției despre lume a unei persoane moderne. În același timp trebuie să ținem minte mereu, că noile descoperiri — nu sunt numai progrese, ci și o responsabilitate enormă.

În lumea modernă — violentă, contradictorie și în același timp interdependentă — e important conștiințizarea că lumea este cognoscibilă, că întâmplarea nu numai deranjează și încurcă planurile noastre, dar și creează noi oportunități; că există repere invariabile; că pe măsura dezvoltării cunoștințelor are loc dărâmarea «limitelor» vechi ale imaginației noastre. Prevedem întrebarea voastră: dar ce au cu aceasta științele naturii? Sperăm, că la sfârșitul clasei a 11-a veți putea să răspundeți la ea singuri. Iar acum numai vom menționa, că toate aceste concluzii derivă din adevărurile descoperite de științele naturii, deoarece legile și principiile lor au un caracter global și, prin urmare, ies ca atare dincolo de limitele științelor.

1

Ce etape a trecut fizica în timpul dezvoltării sale?

Istoria fizicii — o lungă istorie a descoperirilor. Și cu fiecare dintre ele perceperea noastră a naturii se adâncește. După orice descoperire stă o un anumit om sau, mai des, un grup de oameni cu eforturile cărora fizica ca știința a urcat pe o nouă treaptă de dezvoltare. Voi deja cunoașteți multe nume de persoane, ale căror activități au promovat progresul științei fizice. Să încercăm să sistematizăm cunoștințele despre cercetătorii naturii și despre primii descoperitori ai necunoscutului și vom urmări cum au fost acumulate cunoștințele fizice.

ETAPELE PRINCIPALE

De la sfârșitul secolului XIX / începutul secolului XX. Relația dintre proprietățile spațiu-timp cu energia și impulsul corpurilor materiale a fost stabilită de către *A. Einstein* în teoria generală a relativității. Savantul a sintetizat rezultatele lui *I. Newton* privind interacțiunea gravitațională, legând-o de curbura spațiu-timpului.

Bezele mecanicii cuantice la începutul secolului XX au fost puse de către *M. Planck*, *A. Einstein*, *N. Bohr*, *M. Born*.

O dată cu descoperirea de către *A. Becquerel* a radioactivității a început dezvoltarea fizicii nucleare, care a contribuit la apariția unor noi surse de energie — energia atomică și energia fuziunii nucleare. Descoperirile realizate în timpul studierii reacțiilor nucleare, au pus bazele fizicii particulelor elementare.

Imaginiile contemporane despre Marea explozie, găurile negre, dilatarea accelerată a Universului, despre energia neagră sunt legate de lucrările lui *E. Hubble*, *R. Oppenheimer*, *H. Snyder*, *J. Wheeler*, *S. Hawking* și altora.



Ernest Rutherford

Elaborarea structurii atomului ca sistem, care constă dintr-un nucleu de dimensiuni mici, ce are sarcină pozitivă și electronii încărcăți negativ. *E. Rutherford* este considerat «tatăl» fizicii nucleare.

1871–1937



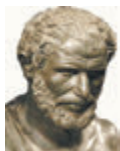
James Maxwell

Crearea teoriei câmpului electromagnetic, care explica toate faptele cunoscute la acel moment și permitea prevederea noilor fenomene.

1831–1879

Fizica contemporană

Promovarea ideii structurii atomare a materiei. Pe cale experimentală această idee a fost confirmată abea la începutul sec. XX.



Democrit



Aristotel

Generalizarea și sistematizarea cunoștințelor în domeniul științelor naturale. Lucrările lui *Aristotel* până la sec. XVI au fost considerate «adevăr incontestabil». Imaginiile filozofului despre undele sonore s-au păstrat și în fizica contemporană.

Formarea fizicii

aprox. 460 —
aprox. 370 de ani î.e.n.

384 — 322 de ani î.e.n.

aprox. 310 —
aprox. 230 de ani î.e.n.

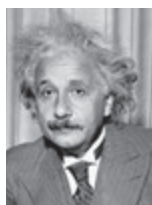
Din timpuri străvechi până la sfârșitul secolului al XVI-lea. Preistoria fizicii — aceasta-i perioada de acumulare a cunoștințelor fizice, punerea temeliei reprezentărilor științifice despre proprietățile lumii înconjurătoare. O influență imensă asupra creării noțiunilor fizice și legităților au fost efectuate de către savanții Greciei antice: *Aristotel*, *Arhimede*, *Aristarh de Samos*, *Democrit*, *Leucipp*, *Pitagora*, *Ptolemeu*, *Euclid*.

Promovarea ideii Sistemului heliocentric (din l. greacă *Helios* — Soarele) a structurii lumii. Explicarea teoretică a acelei idei a apărut aproape 2000 de ani mai târziu.



Aristarh de Samos

DE DEZVOLTARE A FIZICII



Albert Einstein

Unul dintre fondatorii fizicii teoretice contempore; după spusele savantului însuși, adevăratul scop al cercetării lui «întotdeauna a constat în faptul de a obține simplificarea fizicii teoretice și îmbinarea ei într-un sistem unic».

1879–1955



Niels Bohr

Crearea teoriei cuantice a atomului planetar, elaborarea ideilor fizice ale mecanicii cuantice.

1885–1962

Sfârșitul secolului XVII — sfârșitul secolului XIX / începutul secolului XX. Perioada începe cu elaborarea primului tablou fizic (mecanic) al lumii de către *I. Newton* și continuă cu dezvoltarea rapidă a domeniului fizicii, legat de utilizarea motoarelor termice (*J. Watts, C. Carnot*). Studiul fenomenelor electrice și magnetice (*S. Coulon, A. Ampeer, G. Oersted, M. Faraday*) este finalizat de crearea ecuațiilor câmpului electromagnetic de către *J. Maxwell*, care au devenit bază teoretică pentru electrotehnica modernă și comunicațiile radio.

1642–1727



Isaac Newton

Înțelegerea structurii sistemului Solar, formularea ideilor generale despre structura Universului și a legilor fundamentale ale mecanicii, care au determinat dezvoltarea fizicii pentru 300 de ani înainte.

Fizica clasică

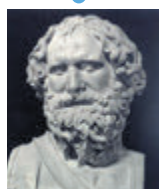
Descoperirea principiului relativității în mecanică, demonstrarea sistemului heliocentric al lumii, crearea telescopului, descoperiri în astronomie, inventarea termometrului etc.



Galileo Galilei

1564–1642

287–212 de ani î.e.n.



Arhimede

Introducerea noțiunii de centru de greutate, construirea teoriei echilibrului pârghiei, determinarea momentului forțelor, descoperirea legilor pluturii corpurilor. Realizările savantului în inginerie — bază pentru multe mecanisme moderne.

Formarea fizicii ca știință

Începutul secolului XVII — anii 80 ai sec. XVII. Dezvoltarea fizicii ca știință este asociată cu numele lui *G. Galileo*, ale cărui experimente au pus bazele mecanicii clasice. Dezvoltarea meșteșugurilor și transportului maritim au stimulat cercetarea, bazată pe experiență. În această perioadă este creat barometrul (*E. Torricelli*), formulată legea gazelor (*R. Boyle, E. Maritotte*), descoperită legea refracției luminii (*V. Snellius, R. Descartes*), distinse fenomenele electrice și magnetice (*W. Hilbert*).

2 Ce întrebări le frământă pe fizicienii contemporani

Practic în fiecare zi apare informație nouă și cunoștințe noi despre lumea, care ne înconjoară și totodată volumul lor este atât de mare, încât uneori ele devin neactuale înainte de a afla noi despre ele (fig. 1.1).

Necătând la volumul mare de cunoștințe acumulate, fizica modernă este încă departe de explicarea tuturor fenomenelor naturii. Până la ora actuală, fizicienii nu pot explica natura materiei negre, proveniența particulelor cosmice de mare energie și multe altele. După părerea fizicianului englez *Stephen Hawking* (1942–2018), «progresul constă nu în înlocuirea teoriei greșite cu cea corectă, ci și în înlocuirea teoriei greșite cu alta greșită, dar precizată».

De zeci de ani savanții tind să creeze o teorie, care ar explica Universul, îmbinând teoriile interacțiunilor fundamentale: tare, slabă, electromagnetică, gravitațională. Unele progrese în această direcție deja sunt atinse: în fizica particulelor elementare este creat *modelul Standard* — o teorie, ce îmbină interacțiunile tare, slabă și electromagnetică ale particulelor elementare.

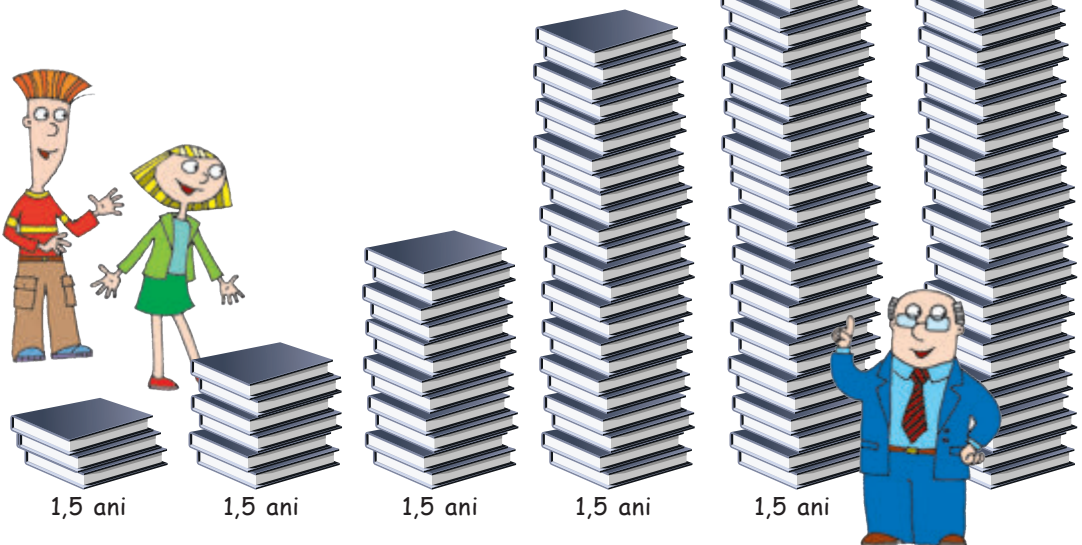


Fig. 1.1. Conform datelor cercetărilor, volumul informației este în continuă creștere. În zilele noastre el se dublează în fiecare 1,5 ani. Un om contemporan într-o lună primește așa o cantitate de informație, cât ar fi primit un om al secolului al XVII pe parcursul vieții. Pentru a ține pasul cu vremurile, trebuie permanent să te ocupi de autoinstruire.

Astăzi, modelul Standard este în bună concordanță cu experiențele și descoperirea recentă a Bosonului lui Higgs este o confirmare strălucită a acestei concordanțe. Cu toate acestea, fizicienii încearcă să depășească acest model și să afle despre chestii, pe care deocamdată nu le pot explica, de exemplu, de ce în lume practic nu există antiparticule și antimaterie. De aceea, acum în cadrul Organizației Europene pentru Cercetare Nucleară (CERN) de la Geneva se desfășoară în mod activ experimente de cercetare a proceselor, care au avut loc în momentul nașterii Universului. Deci, așteptăm descoperiri noi!

Întrebări de control



1. Ce etape de dezvoltare a parcurs fizica ca știință? Care idei s-au dezvoltat în fiecare dintre etape?
2. De ce probleme se preocupă fizica contemporană?
3. Numiți numele învățaților-fizicieni, pe care îi cunoașteți. În ce ramură a fizicii ei au lucrat?
4. Descoperiri din care domeniu al fizicii au permis crearea aparatelor de uz casnic? Dați exemple.



Exercițiul nr. 1

1. În textul § 1 a fost amintit numele unui singur filozov al Greciei antice, care a expus ipoteza despre structura atomică a substanței. Mai care filozofi ai acelor vremuri au lansat această idee?
2. Prin ce a devenit celebru Arhimede ca inginer? Care dintre invențiile lui pot fi văzute astăzi chiar și pe terenurile de joacă?
3. Imaginați-vă că sunteți un manager SMM al unei instituții educaționale, și scrieți un post convingător pe tema «De ce designerul (sau oricare alt specialist contemporan) trebuie să studieze fizica.»
4. Din cauza utilizării incorecte a tehnologiilor, au murit și încă mai pot muri mii de oameni, s-au schimbat și s-ar mai putea schimba în mai grave sortile milioanele. Dați exemple pentru a confirma sau dezmințirea acestei teze. Desfășurați o discuție cu prietenii pe tema «Poate oare progresul tehnico-științific să ducă omenirea la o catastrofă globală». Formulați și notați principalele rezultate ale discuției.
5. Vați întâlnit oare cu informații false pe Internet? Dacă da, atunci ce va ajutat să aflați că informația este falsă? Formulați sfaturile voastre despre aceasta.

Fizica și tehnica în Ucraina

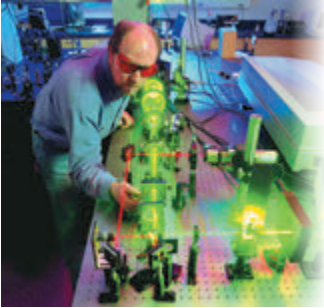


Institutul de fizică teoretică M. Bogoliubov al ANȘ a Ucrainei (Kiev) — centru științific de frunte în probleme fundamentale ale fizicii teoretice, matematică și de calcul, creat în anul 1966. Fondatorul institutului și primul său director a fost fizicianul-teoretician și matematicianul cu renume mondial, academicianul *Nicolai Nicolaevici Bogoliubov*.

Tematica cercetărilor științifice a institutului cuprinde o gamă largă de probleme ale astrofizicii și cosmologiei, fizicii energiilor înalte, teoriei sistemelor nucleare, teoriei cuantice a moleculelor și cristalelor.

În cadrul institutului funcționează un centru științifico-educational pentru elevi și studenți talentați.

§ 2. METODELE PERCEPERII ȘTIINȚIFICE. MĂRIMI FIZICE ȘI MĂSURAREA LOR. INCERTITUDINEA MĂSURĂTORILOR



Prin ce diferă limba fizicii (chiar și a oricărei altei științe exacte) de o limba obișnuită? Limba fizicii este internațională: ea a fost creată de cele mai bune creiere ale tuturor popoarelor, ea este înțeleasă la fel în orice parte a planetei noastre. Limba fizicii este obiectivă: fiecare dintre noțiunile ei are un singur sens, care poate fi schimbat (cel mai adesea — extins) numai datorită experimentelor.

La fel ca și metodele de cunoaștere, limba fizicii a luat naștere din practică. Despre metodele cercetărilor fizice și unele noțiuni ale limbii fizicii o să vă amintiți în acest paragraf.

1 Ce este cercetarea fizică și care sunt metodele ei

Să amintim, de la ce începe activitatea de cercetare a savanților. În primul rând — aceasta-i *observarea* unui anumit fenomen (corp sau material) și chibzuirea asupra esenței lui.

Observarea — este percepția naturii cu scopul obținerii datelor începătoare pentru analiza ulterioară.

Nu întotdeauna observarea duce la concluzia corectă. De aceea, pentru a nega sau demonstra propriile concluzii, învățatul efectuează *cercetări fizice*.

Cercetarea fizică — aceasta-i studierea orientată într-o anumită direcție a fenomenelor și proprietăților naturii prin intermediul mijloacelor fizicii.

Metodele cercetărilor fizice

experimentală	teoretică
<p><i>Experimentul</i> — studierea fenomenului fizic în condițiile, care sunt sub controlul învățatului.</p> <p>În esența sa, fizica este o știință experimentală: majoritatea legilor sale se bazează pe faptele, stabilite pe cale experimentală.</p>	<p>Analiza datelor obținute în rezultatul experimentelor, formularea legilor naturii, explicarea anumitor fenomene și proprietăți pe baza acestor legi și, cel mai important, precizarea și argumentarea teoretică (cu utilizarea pe scară largă a matematicii) a noilor fenomene și proprietăți.</p>

? Ce observări, cercetări teoretice și experimentale ați fi efectuat, pentru a studia strălucirea unui bec de incandescență obișnuit?

Cercetările teoretice sunt efectuate nu cu un corp fizic anume, ci cu analogul său idealizat — **modelul fizic**, care trebuie să ia în considerare o cantitate mică din proprietățile principale ale corpului de studiu. Astfel, când studiem mișcarea unui automobil, noi folosim uneori modelul său fizic — *punctul material* (fig. 2.1, a). Acest model se aplică în cazul, în care dimensiunile corpului nu sunt esențiale pentru descrierea teoretică a mișcării automobilului, adică în modelul «punct material» se ia în considerație numai masa corpului,

dar forma și dimensiunile lui nu se iau în considerație. Dar iată, dacă trebuie de determinat cum influențează asupra mișcării automobilului rezistența aerului, este util de aplicat deja un alt model — el trebuie să ia în considerație și forma, și dimensiunile automobilului (fig. 2.1, b), însă nu va lua în considerație, de exemplu, cât combustibil consumă automobilul. Cu cât mai mulți parametrii respectivi pentru cercetarea sistemului fizic «automobilul» sunt aleși, cu atât mai bine se poate prevedea «comportarea» lui.

? De ce noi niciodată nu vom putea lua în considerație toți parametrii sistemului «automobilul»?

2 Cum de măsurat mărimea fizică

Descriind, de exemplu, mișcarea unui automobil, noi folosim neapărat anumite *caracteristici cantitative*: viteza, accelerația, timpul mișcării, forța de tracțiune, puterea, etc. Din cursul precedent de fizică voi știți, că *măsura cantitativă a unei anumite proprietăți a corpului, a unui anumit proces sau fenomen fizic se numește mărime fizică*.

Valorile mărimii fizice sunt stabilite în timpul măsurătorilor.

Măsurătorile sunt **directe** și **indirecte**.

În cazul *măsurătorilor directe*, mărimea este comparată cu unitatea sa (metrul, secunda, kilogramul, amperul, etc.) cu ajutorul aparatului de măsură, gradat în unități corespunzătoare (fig. 2.2).

? Numiți câteva mărimi fizice, valorile cărora le-ați găsit cu ajutorul măsurătorilor directe. În ce unități se măsoară aceste mărimi? cu care dispozitive?

În cazul *măsurătorilor indirecte*, mărimea fizică se calculează după rezultatele măsurătorilor directe ale altor mărimi legate de mărimea măsurată printr-o anumită dependență funcțională. Astfel, pentru a calcula densitatea medie a corpului ρ , este necesar să se măsoare cu ajutorul balanței masa lui m , folosind, de exemplu, mensura să se măsoare volumul V , iar apoi să se împartă masa la volum:

$$\rho = \frac{m}{V} .$$

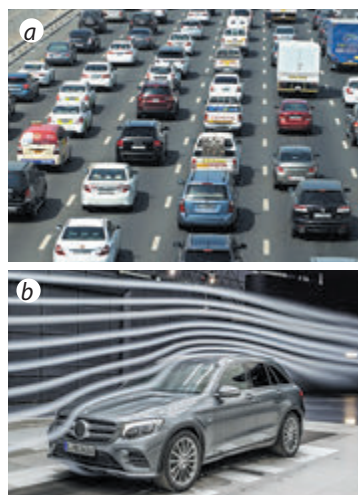


Fig. 2.1. Determinând viteza și timpul mișcării unui automobil, se poate aplica modelul fizic «punctul material» (a); determinând proprietățile aerodinamice ale automobilului, acest model fizic nu poate fi aplicat (b)



Fig. 2.2. Aparate moderne pentru măsurarea directă a temperaturii (a); masei (b); vitezei de mișcare (c)

Unitățile fundamentale în SI

- **kilogram** (1 кг, 1 kg)
unitatea *masei*
- **metru** (1 м, 1 m)
unitatea *lungimii*
- **secunda** (1 с, 1 s)
unitatea *timpului*
- **amper** (1 А, 1 A)
unitatea *intensității curentului*
- **mol** (1 моль, 1 mol)
unitatea *cantității de substanță*
- **Kelvin** (1 К, 1 K)
unitatea *temperaturii*
- **Candela** (1 кд, 1 kd)
unitatea *intensității luminoase*

3 Structura sistemului de unități

Sarcina de a construi un sistem de unități pe bază științifică a fost pusă în fața savanților francezi la sfârșitul sec. al XVIII-lea, după Marea Revoluție Franceză. Ca rezultat a apărut *sistemul metric de unități*. În anul 1960 a fost creat Sistemul **internațional de unități SI**, care ulterior a devenit dominant în lume.

Din punct de vedere istoric, unitățile de măsură a mărimilor fizice erau asociate cu anumite corpuri naturale sau procese. Astfel, 1 metru a fost asociat cu dimensiunea planetei Pământ, 1 kilogram — cu un anumit volum de apă, 1 secundă — cu rotația zilnică a Pământului. Apoi pentru fiecare unitate era creat un **etalon** — *un mijloc (sau un set de mijloace) pentru reproducerea și păstrarea unității de măsură a mărimii fizice*. Etaloanele de bază erau păstrate (și sunt păstrate astăzi) la Biroul Internațional de Măsurii și Greutăți (or. Sevres, Franța).

Astăzi tot mai mult sunt răspândite metodele de construire a sistemelor de unități bazate pe proprietățile radiației și a propagării undelor electromagnetice și pe constantele fizice fundamentale.

Să examinăm *principalele etape ale construirii sistemului de unități pe exemplul metru-lui și kilogramului*.



S-a aplicat până în anii 1899–1960

1 metru Lungimea a 1/10 000 000 parte dintr-un sfert din meridianul Pământului, care trece prin Paris (Franța)

Un segment special calibrat după lungime. Lungimea acestui segment este definită ca 1 metru

1 metru este egal cu drumul, pe care-l parcurge lumina în vid în intervalul de timp egal cu 1/299 792 458 secunde

1 kilogram Masa 1 litru de apă curată luată la temperatura de 4 °C și presiunea de 760 mm c. Hg

Un cilindru din platină și iridiu, diametrul și înălțimea căruia sunt de 39 mm. Masa acestui etalon este determinată ca 1 kilogram

Deocamdată rămâne cilindrul din platină și iridiu, dar se intenționează să fie legat 1 kilogram de constanta lui Planck sau cu numărul lui Avogadro

Creat în anul 1899



Amintim, că pentru comoditatea înregistrării valorilor mari și mici ale mărimilor fizice se folosesc *multiplii și submultiplii unității*.

- **Multiplii unității sunt mai mari decât unitățile de bază de 10, 100, 1000 și de mai multe ori.**
- **Submultiplii unității sunt mai mici decât unitățile de bază de 10, 100, 1000 și de mai multe ori.**

Denumirile unităților multiple și submultiple conțin anumite prefixe. De exemplu, **kilometrul** (1000 m, sau 10^3 m) — unitate multiplă a lungimii, **milimetrul** (0,001 m, sau 10^{-3} m) — unitate submultiplă de lungime (vezi tab. 1).

Tabelul 1

Prefixele pentru formarea denumirilor multiple și submultiple ale unităților

Prefixul	Simbolul	Coefficientul
atto-	a	10^{-18}
femto-	f	10^{-15}
pico-	p	10^{-12}
nano-	n	10^{-9}
micro-	μ	10^{-6}
mili-	m	10^{-3}
centi-	c	10^{-2}
kilo-	k	10^3
mega-	M	10^6
giga-	G	10^9
tera-	T	10^{12}
peta-	P	10^{15}
exa-	E	10^{18}

4 Erorile măsurătoarelor

În timpul măsurării oricărei mărimi fizice de obicei se efectuează trei operații consecutive: 1) alegerea, verificarea și instalarea dispozitivului (dispozitivelor); 2) înregistrarea indicațiilor dispozitivelor; 3) calculul mărimii căutate după rezultatele măsurătoarelor, aprecierea eroarii.

De exemplu, trebuie să fie măsurată pe teren o distanță de aproximativ 50 m. E clar, că pentru aceasta nu trebuie luată o riglă școlară — e mai comod de folosit o ruletă. Toate aparatele au o anumită precizie, de aceea trebuie să faceți cunoștință cu structura ruletei și să stabiliți precizia ei. Distanța de 50 m, de regulă, nu trebuie determinată cu o precizie până la milimetru, de aceea ruleta poate să nu conțină diviziunile corespunzătoare.

Dar dacă pentru repararea robinetului de laborator trebuie de determinat dimensiunea unei șaibe mărunte, atunci e rațional de folosit șublerul (vezi fig. 2.3).

Însă chiar și cu ajutorul celui mai precis aparat nu se poate face măsurători *absolut* exacte. Întotdeauna există **erori (greșeli) ale măsurătorilor** — *abaterile valorii mărimii măsurate de la valoarea ei adevărată*.

Modulul diferenței dintre valorile măsurată ($x_{\text{măs}}$) și cea adevărată (x) a mărimii măsurate se numește eroare absolută a măsurătorii Δx :

$$\Delta x = |x_{\text{măs}} - x|$$

Raportul dintre eroarea absolută și valoarea măsurată a mărimii măsurate se numește **eroare relativă a măsurătorii** ϵ_x :

$$\epsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{măs}}}, \text{ sau în procente: } \epsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{măs}}} \cdot 100\%$$



Fig. 2.3. Șubler. Precizia măsurătorii cu aparatul reprezentat — sutimi de milimetru

Erorile în timpul măsurătorilor pot fi **întâmplătoare** și **sistematice**.

Erorile aleatorii	Erorile sistematice
<p><i>Erorile aleatorii sunt legate de procesul de măsurare: măsurând distanța cu ruleta, este imposibil de așezat ruleta ideal de drept; cronometrând timpul cu cronometrul, este imposibil de-l pornit și oprit momentan ș. a. m. d.</i></p> <p>Pentru ca rezultatele să fie mai precise, măsurătorile se petrec de câteva ori și se determină <i>valoarea medie a mărimii măsurate</i>:</p> $x_{\text{măs}} = x_{\text{med}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N},$ <p>unde x_1, x_2, \dots, x_N — rezultatele fiecăreia dintre N măsurători.</p> <p>În acest caz, <i>eroarea aleatorie absolută</i> Δx_{aleat} poate fi determinată după formula:</p> $\Delta x_{\text{aleat}} = \frac{ x_1 - x_{\text{măs}} + x_2 - x_{\text{măs}} + \dots + x_N - x_{\text{măs}} }{N}$ <p>Dacă măsurarea a fost efectuată <i>o singură dată, atunci vom considera, că eroarea aleatorie este egală cu jumătate din valoarea diviziunii scării dispozitivului</i>.</p>	<p><i>Erorile sistematice sunt legate în primul rând de alegerea dispozitivului: este imposibil de găsit o ruletă cu scară perfect de exactă, pârgii cu brațe ideal de egale etc. Erorile sistematice sunt determinate de clasa de precizie a dispozitivului, de aceea ele deseori sunt numite <i>erori ale dispozitivului</i>.</i></p> <p>În procesul exploatării precizia aparatelor se poate micșora, de aceea ele trebuie verificate periodic la Palatul măsurilor și greutăților (în Ucraina o asemenea instituție este situată la Harkiv).</p> <p>Erorile absolute ale unor aparate, care sunt utilizate în școală, sunt reprezentate în tab. 2. Dacă se folosesc alte dispozitive, vom considera, că eroarea aparatului este egală cu <i>jumătate din valoarea diviziunii scării acestui aparat</i>.</p>
<p><i>Eroarea absolută a măsurătorii directe</i> (Δx) ia în considerare atât eroarea sistematică, cauzată de aparat (Δx_{ap}), cât și eroarea aleatorie (Δx_{aleat}), cauzată de procesul de măsurare: $\Delta x = \Delta x_{\text{ap}} + \Delta x_{\text{aleat}}$.</p> <p><i>Fiți atenți!</i> Formulele indicate sunt mult simplificate. Savanții folosesc formule și metode de calcul ale erorilor cu mult mai complexe.</p>	

Tabelul 2. Erorile absolute ale unor aparate fizice

Aparatul fizic	Valoarea diviziunii scării aparatului	Eroarea absolută a aparatului
Riglă școlară	1 mm	±1 mm
Bandă de măsurat	0,5 cm	±0,5 cm
Șubler	0,1 mm	±0,05 mm
Mensură	1 ml	±1 ml
Cronometru	0,2 s	±1 s în 30 min
Dinamometru școlar	0,1 N	±0,05 N
Termometru de laborator	1 °C	±1 °C

5 Cum se determină erorile măsurătorilor indirecte

Numeroase mărimi fizice nu pot fi măsurate direct. Măsurarea lor *indirectă* are două etape: 1) prin metoda de măsurare directă se măsoară valoarea anumitor mărimi, de exemplu x, y ; 2) după o formulă corespunzătoare se

calculează mărimea căutată f . Cum în acest caz de determinat erorile absolută Δf și relativă ε_f ? Răspunsul la această întrebare îl dă teoria probabilităților.

- Eroarea relativă se determină după anumite formule (vezi tab. 3).
- Eroarea absolută se determină după eroarea relativă:

$$\Delta f = \varepsilon_f \cdot f_{\text{măs}}$$

- Dacă experimentul este efectuat pentru a afla, dacă se confirmă o anumită egalitate (de exemplu, $X = Y$), atunci eroarea relativă a verificării experimentale a egalității $X = Y$ poate fi estimată prin formula:

$$\varepsilon = \left| \frac{X}{Y} - 1 \right| \cdot 100 \%$$

Tabelul 3

Unele formule pentru determinarea erorii relative

Felul formulei (funcției)	Eroarea relativă
$f = x + y$	$\varepsilon_f = \frac{\Delta x + \Delta y}{x + y}$
$f = x - y$	$\varepsilon_f = \frac{\Delta x + \Delta y}{x - y}$
$f = xy$	$\varepsilon_f = \varepsilon_x + \varepsilon_y$
$f = \frac{x}{y}$	
$f = x^n$	$\varepsilon_f = n\varepsilon_x$

6 Cum de scris corect rezultatele

Eroarea absolută a experimentului determină precizia, cu care are sens să se calculeze mărimea măsurată.

Eroarea absolută Δx se rotunjește până la o cifră semnificativă cu supraestimare și rezultatul măsurătorii $x_{\text{măs}}$ — până la mărimea ordinului, care a rămas în eroarea absolută după rotunjire. Rezultatul final pentru valoarea mărimii x se notează sub forma:

$$x = x_{\text{măs}} \pm \Delta x$$

Eroarea absolută — o mărime pozitivă, de aceea $x = x_{\text{măs}} + \Delta x$ — valoarea maximă probabilă, iar $x = x_{\text{măs}} - \Delta x$ — valoarea minimă probabilă a mărimii măsurate (fig. 2.4).

Exemplu. Fie că a fost măsurată accelerația caderii libere (g). După prelucrarea datelor experimentale s-a obținut: $g_{\text{măs}} = 9,736 \text{ m/s}^2$; $\Delta g = 0,123 \text{ m/s}^2$.

Eroarea absolută trebuie rotunjită până la o cifră semnificativă, cu o supraestimare: $\Delta g = 0,2 \text{ m/s}^2$. Atunci rezultatul măsurătorii se rotunjește până la același ordin ca și ordinul erorii, adică până la zecimi: $g_{\text{măs}} = 9,7 \text{ m/s}^2$. Respectiv valoarea reală a accelerației caderii libere este cuprinsă în intervalul de la $9,5 \text{ m/s}^2$ până la $9,9 \text{ m/s}^2$ (fig. 2.5).

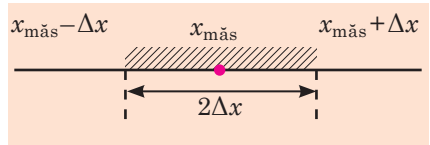


Fig. 2.4. Eroarea absolută determină intervalul, în care este situată valoarea reală a mărimii măsurate

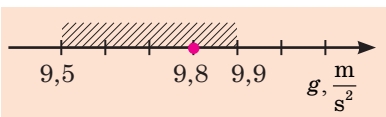


Fig. 2.5. Valoarea tabelară: $g_{\text{tab}} = 9,8 \text{ m/s}^2$ — aparține intervalului $[9,5; 9,9] \text{ m/s}^2$, de aceea se poate spune, că rezultatul experimentului ($g_{\text{măs}} = 9,7 \text{ m/s}^2$) a coincis cu cel tabelar în limitele erorii măsurătorilor



Facem totalurile

• Cercetarea fizică — asta-i studierea orientată a fenomenelor și proprietăților naturii cu mijloace fizice. Există două metode de cercetare fizică: teoretică și experimentală. La baza oricărei cercetări teoretice se află obiectul idealizat — modelul fizic.

• În timpul oricărei măsurători neapărat sunt erori: aleatorii, legate de procesul de măsurare și sistematice, legate de alegerea aparatului de măsurat.

• Eroarea absolută a experimentului determină intervalul, în care este situată valoarea reală a mărimii măsurate și se calculează după formula: $\Delta x = \Delta x_{\text{ap}} + \Delta x_{\text{aleat}}$. Eroarea relativă caracterizează calitatea măsurării, este egală cu raportul dintre eroarea absolută și valoarea medie a mărimii măsurate

și se exprimă în procente: $\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{măs}}} \cdot 100\%$.



Întrebări de control

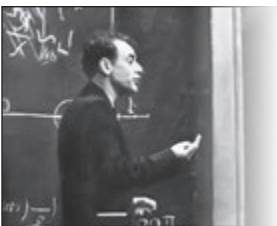
1. Numiți principalele metode ale cercetării fizice. Dați exemple. **2.** Dați exemple de modele fizice. De ce modelul fizic — aceasta-i un obiect idealizat? **3.** Numiți unitățile fundamentale ale SI și mărimile fizice, pentru măsurarea cărora ele servesc. **4.** Ce tipuri de erori ale măsurătorilor voi cunoașteți? **5.** Cum se determină eroarea aleatorie a măsurătorii? **6.** Cum se determină eroarea absolută sistematică? **7.** Ce se numește eroarea relativă a măsurătorii? **8.** Cum corect se rotunjește și se înregistrează rezultatele măsurătorilor?



Exercițiul nr. 2

1. Pentru a demonstra legea conservării energiei mecanice, a fost efectuat un experiment. După datele obținute energia medie a sistemului de corpuri până la interacțiune era egală cu 225 J, iar după interacțiune — 243 J. Estimați eroarea relativă a experimentului.
2. Determinând diametrului unei sârme cu ajutorul șublerului, au fost efectuate măsurători de patru ori. S-au obținut următoarele rezultate: $d_1 = 2,2$ mm; $d_2 = 2,1$ mm; $d_3 = 2,0$ mm; $d_4 = 2,0$ mm. 1) Calculați valoarea medie a diametrului sârmei, eroarea aleatorie a măsurătorii, erorile absolută și relativă ale măsurătorii. 2) Rotunjiți rezultatele obținute și înregistrați rezultatul măsurătorii.

§ 3. MĂRIMI SCALARE ȘI VECTORIALE



L. D. Landau (1908–1968), laureat al premiului Nobel în domeniul fizicii

La conștientizarea faptului, că pentru descrierea naturii trebuie de folosit limbajul matematicii, învățații au ajuns demult. Ce atare anumite compartimente ale matematicii au fost create pentru a descrie natura într-o limbă concisă și accesibilă. Așa a apărut algebra vectorială, necesară pentru cercetările teoretice ale mărimilor, ce au direcție. Pentru determinarea vitezei momentane, lucrului forței variabile, volumului corpurilor de formă neregulată etc., a fost creat calculul diferențial și integral. Pentru descrierea mai intuitivă a multor procese fizice s-au învățat a construi graficele funcțiilor, iar pentru prelucrarea rapidă a rezultatelor experienței au inventat metoda calculului aproximativ. Vom aminti mărimile scalare și vectoriale, fără de care nu ne putem lipsi pe parcursul studierii cursului de fizică pentru clasa a 10-a.

1 Мărimi scalare și vectoriale

Mărimile fizice, care sunt folosite în fizică pentru caracteristica cantitativă a fenomenelor și obiectelor fizice se împart în două clase mari: *mărimi scalare* și *mărimi vectoriale*.

La *mărimile scalare*, sau *scalari* (de la cuv. latin *scalaris* — trepte), aparțin mărimile, care sunt determinate numai de valoare numerică. De exemplu, masa corpului — o mărime scalară și dacă noi spunem că masa corpului este egală cu două kilograme ($m = 2$ kg), atunci determinăm complet această mărime. *A aduna două mărimi fizice scalare înseamnă a aduna valorile lor, exprimate în aceleași unități*. Bineînțeles, că se pot aduna numai scalari omogeni (de exemplu, nu se poate aduna masa cu timpul, iar densitatea cu lucrul etc.).

Pentru determinarea *mărimilor vectoriale* e important de știut nu numai valorile lor, dar și direcțiile. Vector (de la cuv. latin *vector* — purtător) — *acesta-i un segment orientat, adică un segment, care are și lungime și direcție*. Lungimea segmentului orientat se numește *modulul vectorului*. Mărimile vectoriale se notează cu literele alfabetelor grec și latin, deasupra cărora se pun săgeți, sau cu litere aldine.

De exemplu, viteza se notează așa: \vec{v} sau \mathbf{v} ; modulul vectorului vitezei se notează corespunzător v .

Regulile adunării (scăderii) vectorilor diferă de regulile adunării (scăderii) mărimilor scalare.

Suma a doi vectori se determină cu ajutorul regulii paralelogramului sau regulii triunghiului (fig. 3.1, 3.2). Cum se determină suma a câtorva vectori este reprezentat în fig. 3.3, cum se determină diferența a doi vectori este reprezentat în fig. 3.4.

În rezultatul înmulțirii mărimii vectoriale \vec{a} cu o mărime scalară k se obține vectorul \vec{c} (fig. 3.5).

Atrageți atenția! În fizică, modulii mărimilor vectoriale și scalare au — pe lângă valori numerice — și unități, în care ele se măsoară. Unitatea produsului lor se determină ca produsul unității mărimii vectoriale și a unității mărimii scalare. De exemplu, trebuie de aflat deplasarea unui avion, care în decurs de 0,5 ore zboară spre nord cu o viteză de 500 km/h. Vectorul deplasării: $\vec{s} = \vec{v}t$. Deoarece $t > 0$, vectorul deplasării va fi orientat în aceeași direcție ca și vectorul vitezei \vec{v} , iar modulul vectorului deplasării va fi egal cu: $s = vt = 500 \text{ km/h} \cdot 0,5 \text{ h} = 250 \text{ km}$.

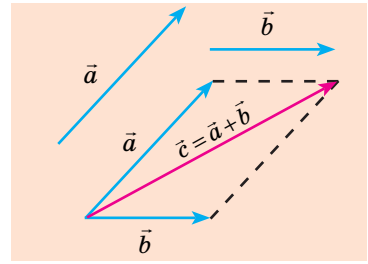


Fig. 3.1. Determinarea sumei a doi vectori \vec{a} și \vec{b} după regula paralelogramului: $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$

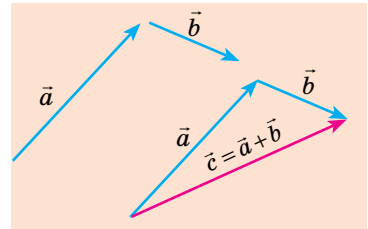


Fig. 3.2. Determinarea sumei a doi vectori \vec{a} și \vec{b} după regula triunghiului: $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$

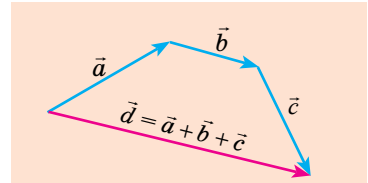


Fig. 3.3. Determinarea sumei a trei vectori \vec{a} , \vec{b} și \vec{c} după regula paralelogramului: $\vec{d} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c}$

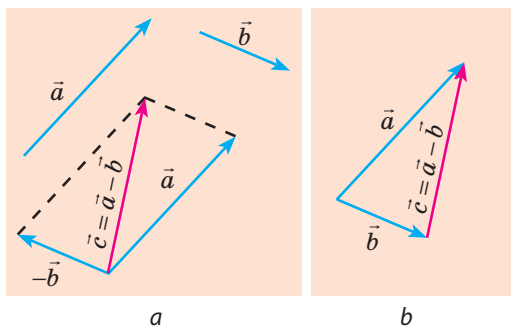


Fig. 3.4. Două metode de determinare a diferenței a doi vectori: *a* — la vectorul \vec{a} se adună vectorul, opus vectorului \vec{b} , adică: $\vec{c} = \vec{a} + (-\vec{b}) \Rightarrow \vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$; *b* — vectorii \vec{a} și \vec{b} sunt amplasați astfel, încât ei să aibă același punct de aplicație, vectorul \vec{c} ce unește extremitatea vectorului \vec{b} cu extremitatea vectorului \vec{a} și este vectorul diferenței vectorilor \vec{a} și \vec{b} , adică $\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$

Vectorii \vec{c} și \vec{a} sunt copreniați, coincid ca direcție, dacă $k > 0$.

Vectorii \vec{c} și \vec{a} sunt orientați opus, dacă $k < 0$.

Fig. 3.5. Determinarea produsului vectorului \vec{a} cu scalarul k : modulul vectorului \vec{c} este egal cu produsul dintre modulul scalarului și modulul vectorului \vec{a} , adică $c = |k|a$

2 Cum de aflat proiecțiile vectorului pe axe de coordonate

E cu mult mai greu de efectuat operații matematice cu vectori, decât cu scalari, de aceea pe parcursul rezolvării problemelor se trece de la mărimi fizice vectoriale la proiecțiile lor pe axe de coordonate.

Fie, că vectorul \vec{a} este situat în planul XOY (fig. 3.6). Coborâm din punctul A (originea vectorului \vec{a}) și punctul B (extremitatea vectorului \vec{a}) perpendiculare pe axa OX . Picioarele acestor perpendiculare — punctele A_1 și B_1 — aceasta-s *proiecțiile punctelor A și B pe axa OX*, iar segmentul A_1B_1 — *proiecția vectorului pe axa OX*. Proiecția vectorului se notează cu aceeași literă ca și vectorul însuși, cu indicarea axei în indicele de jos a literei, de exemplu: a_x . Dacă se vor construi din extremitățile vectorului \vec{a} perpendiculare pe axa OY vom obține segmentul A_2B_2 — proiecția vectorului \vec{a} pe axa OY (a_y).

Semnul proiecției vectorului depinde de direcțiile vectorului și a axei de coordonate. Proiecția vectorului pe axa de coordonate se consideră pozitivă, dacă de la proiecția originii vectorului până la proiecția extremității lui trebuie de se mișcat în direcția axei de coordonate; proiecția vectorului pe axa de coordonate se consideră negativă, dacă de la proiecția originii vectorului până la proiecția extremității lui trebuie de se mișcat în direcția opusă axei de coordonate (vezi fig. 3.6).

În caz general proiecția vectorului se determină prin metode geometrice obișnuite (fig. 3.7, a). În practică deseori avem de afacere cu cazuri, când vectorul este paralel cu axa de coordonate sau perpendicular pe ea. Dacă vectorul este paralel cu axa de coordonate, iar direcția lui coincide cu direcția axei, atunci proiecția lui pe această axă este pozitivă și egală cu modulul vectorului (fig. 3.7, b). Dacă direcția vectorului este opusă direcției axei de coordonate, atunci proiecția lui pe această axă este egală cu modulul vectorului luat cu semnul opus (fig. 3.7, c). Dacă însă vectorul este perpendicular pe axa de coordonate, atunci proiecția lui pe această axă este egală cu zero (fig. 3.7, d).

O proprietate deosebit de importantă a proiecțiilor este aceea, că *proiecția sumei a doi (fig. 3.8) sau câțiva vectori pe axa de coordonate este egală cu*

suma algebrică a proiecțiilor acestor vectori pe axa dată. Anume această proprietate permite înlocuirea în ecuație a mărimilor vectoriale cu proiecțiile lor — mărimi scalare și rezolvarea în continuare a ecuației obținute prin metode algebrice obișnuite.



Facem totalurile

- După proprietățile sale geometrice mărimile fizice se împart în scalare și vectoriale.
- A aduna două mărimi scalare înseamnă a aduna valorile lor. Se pot aduna mărimile scalare exprimate în aceleași unități.
- Mărimile vectoriale au valoare (modul) și direcție.
- Suma vectorilor se determină după regula paralelogramului sau după regula triunghiului.

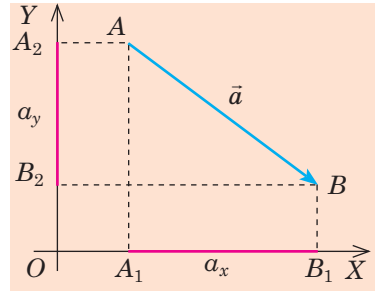


Fig. 3.6. Determinarea proiecțiilor vectorului pe axele de coordonate: a_x — proiecția vectorului \vec{a} pe axa OX , $a_x > 0$; a_y — proiecția vectorului \vec{a} pe axa OY , $a_y < 0$



Întrebări de control

1. Care mărimi fizice se numesc scalare? vectoriale? Dați exemple.
2. Cum se poate afla suma vectorilor? diferența vectorilor? produsul vectorului cu un scalar?
3. Cum se poate afla proiecția vectorului pe axa de coordonate?



Exercițiul nr. 3

1. Se poate oare aduna aria și volumul? vectorul impulsului și energia? vectorul vitezei și vectorul forței? energia și lucrul? De ce?
2. Transcrieți în caiet **fig. 1**. Găsiți pentru fiecare caz suma și diferența a doi vectori.
3. Găsiți proiecțiile vectorilor pe axele de coordonate (**fig. 2**).

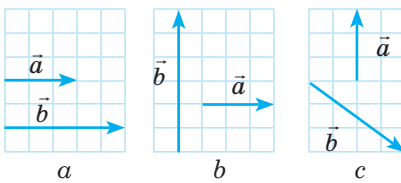


Fig. 1

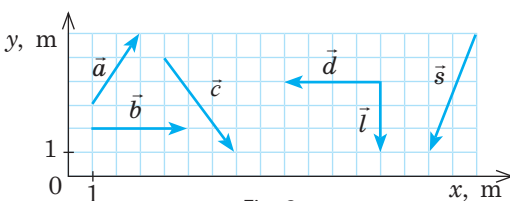
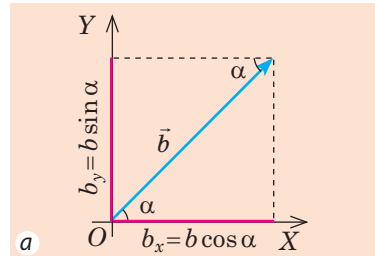
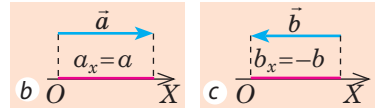


Fig. 2

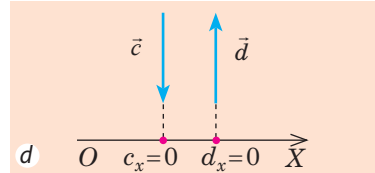


a



b

c



d

Fig. 3.7. Determinarea proiecțiilor vectorului pe axele de coordonate

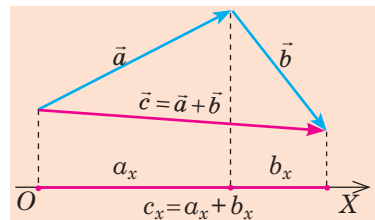


Fig. 3.8. Proiecția sumei vectorilor este egală cu suma proiecțiilor vectorilor, ce se adună: dacă $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$, atunci $c_x = a_x + b_x$

CAPITOLUL I. MECANICA

PARTEA I. CINEMATICA

§ 4. PROBLEMA FUNDAMENTALĂ A MECANICII. ALFABETUL CINEMATICII

Imaginați-vă, că a apărut o situație accidentală, când pe o cale ferată se află două trenuri: trenul de marfă se mișcă cu viteza de 50 km/oră, iar din urma lui la distanța de 1 km se mișcă un expres cu viteza de 70 km/oră. Mecanicul expresului începe să frâneze. Oare este inevitabilă catastrofa? Cât timp are nevoie expresul pentru a se opii? Ce drum va parcurge trenul de marfă în acest timp? Ce distanță minimă trebuie să parcurgă expresul până la oprire? De ce depinde aceasta? Să ne amintim, că la aceste și multe alte întrebări dă răspuns capitolul fizicii, care se numește «Mecanica».

1

Ce studiază mecanica

Mecanica — aceasta-i știința despre mișcarea mecanică a corpurilor materiale și despre interacțiunile, care au loc în acest caz între corpuri.

Problema fundamentală a mecanicii — de a cunoaște legile mișcării mecanice a corpurilor, a interacțiunilor dintre corpuri, de a prevedea comportarea corpurilor pe baza legilor mecanicii, de a determina starea mecanică a corpului (coordonatele și viteza mișcării) în orice moment (vezi [fig. 4.1](#)).

Mecanica are în componența sa câteva capitole, în particular **cinematica** — *capitolul mecanicii, care studiază mișcarea corpurilor și în același timp nu studiază cauzele, care provoacă această mișcare*. Cu alte cuvinte, cinematica nu răspunde la întrebarea de tipul: «De ce sunt necesari anume 2 km, pentru a opri expresul?», — ea se ocupă *numai de descrierea mișcării*. Dar iată *cauzele schimbării mișcării corpurilor se studiază în capitolul mecanicii, care se numește dinamică*.

2

Componentele sistemului de referință

Mișcarea mecanică — schimbarea cu timpul a poziției unui corp (sau a părților corpului) în spațiu în raport cu alte corpuri.

Corpul, în raport cu care este studiată mișcarea tuturor altor corpuri, ce sunt examinate într-o anumită problemă, se numește *corp de referință*. Pentru a determina poziția corpului în spațiu la un moment dat de timp, *de corpul de referință se leagă sistemul de coordonate*, care este dat de una, două sau trei axe de coordonate (sistemul de coordonate unidimensional, bidimensional sau tridimensional corespunzător) și *dispozitivul pentru cronometrarea timpului* (ceasul, cronometrul etc.).



Fig. 4.1. La răscruce nu a avut loc nici un accident, deoarece toți participanții la mișcare au rezolvat corect problema fundamentală a mecanicii

Corpul de referință, sistemul de coordonate legat de el și dispozitivul pentru măsurarea timpului formează **sistemul de referință** (vezi fig. 4.2).

Până când nu este ales sistemul de referință, nu se poate spune, se mișcă corpul sau se află în stare de repaus. De exemplu, oamenii, care stau într-un troleibuz nu se mișcă unul în raport cu celălalt, dar împreună cu troleibuzul se mișcă față de șosea.

? Examinați fig. 4.2. Numiți corpurile sau părțile corpurilor, care efectuează o mișcare mecanică. În raport cu care corpuri ați studiat aceste mișcări?

3 Când dimensiunea corpului poate fi neglijată

Orice corp fizic constă dintr-un număr foarte mare de particule. De exemplu, în 1 cm^3 de apă se conțin peste $3 \cdot 10^{22}$ molecule. Aceasta este de multe ori mai mult decât numărul oamenilor pe Pământ ($7,6 \cdot 10^9$ sau 7,6 mlrd de persoane). Dar pentru a determina poziția corpului în spațiu, este necesar, strict vorbind, să determinăm poziția fiecăruia dintre punctele lui. Deci, cum să se rezolve problema fundamentală a mecanicii? Din cursul anterior de fizică, voi știți, că deseori corpul este imaginar înlocuit cu modelul său fizic — *punctul material*. Punctul material nu are dimensiuni, iar masa lui este egală cu masa corpului.

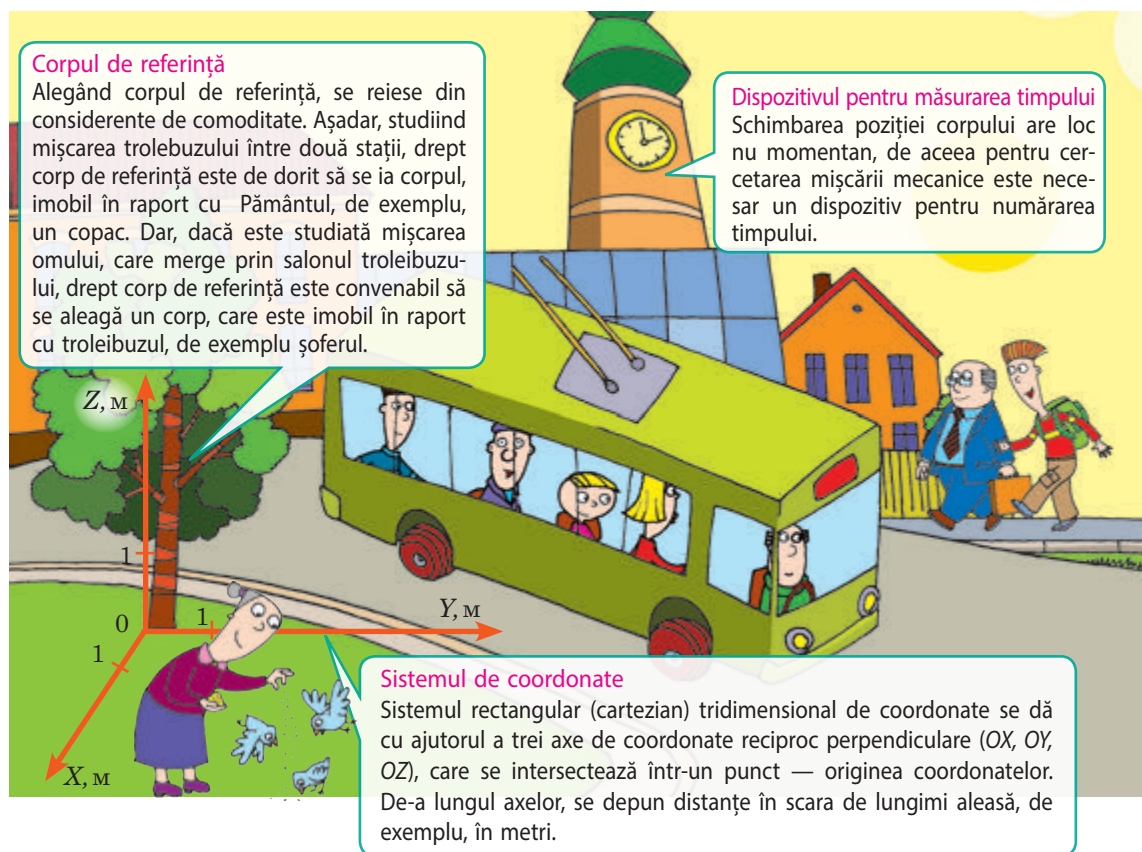


Fig. 4.2. Componentele sistemului de referință: corpul de referință, sistemul de coordonate, dispozitivul pentru măsurarea timpului

Punctul material — acesta-i modelul fizic al corpului, dimensiunile căruia pot fi neglijate în condițiile problemei date

Unul și același corp în condițiile unei probleme poate fi considerat punct material, iar în condițiile alteia — nu poate fi (vezi fig. 4.3). *În continuare, dacă nu vor fi precizări speciale, examinând mișcarea corpului și determinând coordonatele lui, vom considera corpul dat drept un punct material.*

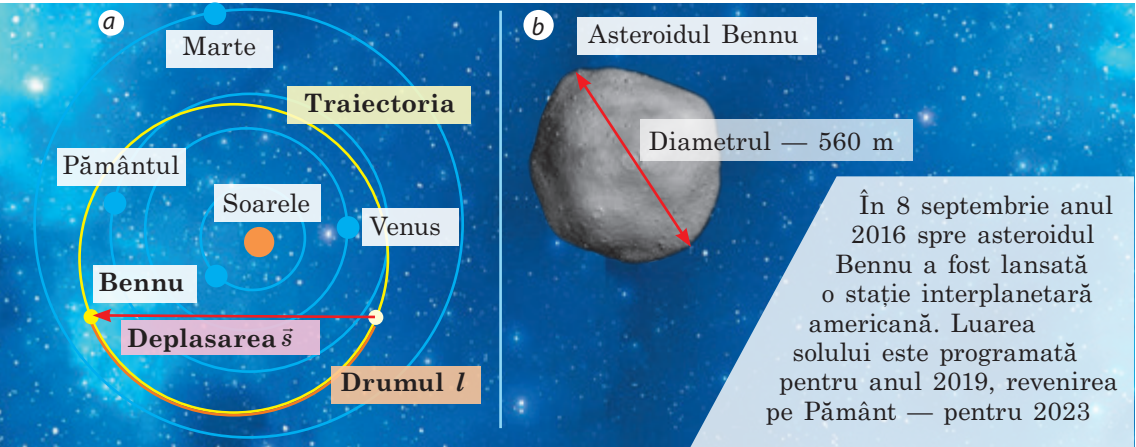


Fig. 4.3. Studiind mișcarea asteroidului Bennu pe orbită, dimensiunile asteroidului pot fi neglijate și el poate fi considerat punct material (a); dimensiunile asteroidului nu pot fi neglijate, planificând aterizarea unui robot pe asteroid (b)

*Linia imaginară, în fiecare punct al căreia consecutiv a fost situat punctul material în timpul mișcării sale se numește **traietorie a mișcării**. De exemplu, traiectoria mișcării asteroidului Bennu este o elipsă (linia galbenă în fig. 4.3, a).*

Dacă se va calcula lungimea porțiunii de traiectorie, pe care a descris-o asteroidul, de exemplu, în trei luni terestre, vom afla drumul l , pe care l-a parcurs asteroidul în acest timp ($l \approx 262$ mln km) (linia portocaliu-roșie în fig. 4.3, a). **Drumul** — aceasta-i mărimea fizică, care este egală cu lungimea traiectoriei sau cu lungimea unei porțiuni de traiectorie.

4 Deplasarea. Proiecția deplasării

Să unim printr-un segment orientat (vector) poziția asteroidului în momentul începutului observării cu poziția lui la sfârșitul observării (vezi fig. 4.3, a). Acest vector — deplasarea asteroidului în intervalul de timp dat.

Deplasarea \vec{s} — acesta-i mărimea vectorială, care se reprezintă grafic sub formă de un segment de dreaptă orientat, care unește pozițiile inițială și finală ale punctului material.

Deplasarea se consideră dată, dacă sunt cunoscute *direcția și modulul deplasării*. Modulul deplasării — aceasta-i lungimea vectorului deplasării.

Unitatea de măsură a deplasării în SI — metrul.

$$[s] = 1 \text{ m (m)}^*$$

* Aici și în continuare în paranteze sunt indicate notațiile internaționale ale unităților în SI.

Vectorul deplasării în caz general nu este orientat în lungul traiectoriei mișcării corpului: drumul parcurs de corp de obicei este mai mare, decât modulul deplasării (vezi fig. 4.3, a). Drumul și modulul deplasării sunt aceiași numai în acel caz, când corpul se mișcă de-a lungul unei drepte în direcția neschimbată.

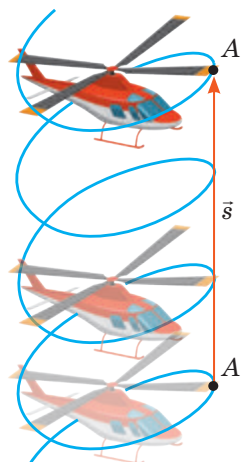
- ❓ Dați exemple de mișcări ale corpului, în care:
- drumul este egal cu modulul deplasării;
 - drumul este mai mare decât modulul deplasării;
 - modulul deplasării este egal cu zero.

Dacă sunt cunoscute deplasarea și coordonatele inițiale ale corpului, atunci se poate determina poziția corpului în oricare moment de timp, adică rezolva problema fundamentală a mecanicii. Însă, după formulele, notate în formă vectorică, efectuarea calculului este destul de dificilă, deoarece în acest caz permanent trebuie să se țină cont de direcția vectorilor. De aceea, pentru rezolvarea problemelor se folosesc proiecțiile vectorului deplasării pe axe de coordonate (fig. 4.4).

5 În ce constă relativitatea mișcării

Traectoria, drumul, deplasarea și, deci și viteza de mișcare a corpului depind de alegerea sistemului de referință — în aceasta constă relativitatea mișcării mecanice.

Convingeți-vă de relativitatea mișcării mecanice: examinați mișcarea punctului A de pe paleta elicei elicopterului în timpul decolării lui verticale, considerând, că în timpul observării elicea elicopterului a efectuat trei rotații (fig. 4.5).



Sistemul de referință «Elicopterul»:

- traiectoria mișcării punctului A — circumferință;
- drumul l — trei lungimi de circumferință $l = 3 \cdot 2\pi R$;
- modulul deplasării $s = 0$.

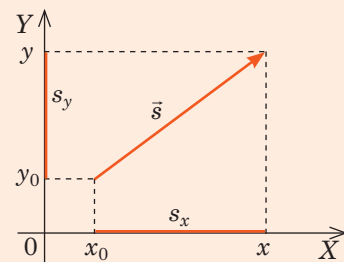
Sistemul de referință «Pământul»:

- traiectoria mișcării punctului A — spirală;
- drumul l — lungimea spiralei;
- modulul deplasării s — înălțimea, la care s-a urcat elicopterul: $s = h$.

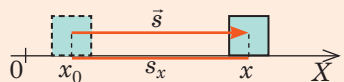
Fig. 4.5. Traectoria, drumul și deplasarea elicopterului în diferite sisteme de referință (pentru însărcinarea din § 4)

- În orice moment de timp coordonatele corpului pot fi determinate după formulele:

$$x = x_0 + s_x; \quad y = y_0 + s_y$$



- $s_x = s$, dacă direcția deplasării coincide cu direcția axei de coordonate:



- $s_x = -s$, dacă direcția deplasării este opusă direcției axei de coordonate:

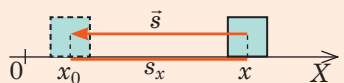


Fig. 4.4. Metoda coordonatelor de determinare a poziției corpului



Ni se pare evident, că timpul mișcării corpului nu depinde de alegerea SR. Adică, *intervalul de timp dintre două evenimente date în toate sistemele de referință are aceeași valoare*. Această afirmație — una dintre cele mai importante axiome ale mecanicii clasice. Și aceasta într-adevăr e așa, dar numai atunci, când viteza mișcării corpului este cu mult mai mică decât viteza de propagare a luminii (mișcarea anume cu astfel de viteze este studiată în mecanica clasică).

Dacă viteza corpului este comparabilă cu viteza de propagare a luminii, atunci timpul pentru acest corp încetinește. Mișcarea cu viteze, care sunt apropiate de viteza de propagare a luminii, sunt studiate în *mechanica relativistă*.

6 Ne amintim felurile de mișcare mecanică

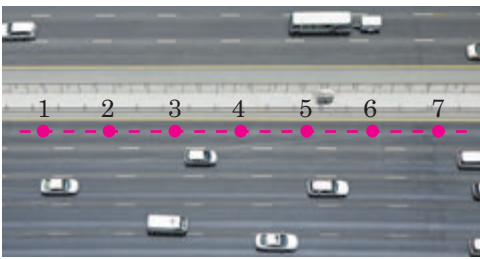
Voi știți, că după *caracterul mișcării* se disting mișcări *uniformă* și *neuniformă*, după *forma traiectoriei* — mișcări *rectilinie* și *curbiline*.

Examinați cu atenție tabelul de mai jos și dați definițiile unor mișcări mecanice: rectilinie uniformă, curbilinie uniformă, rectilinie neuniformă, curbilinie neuniformă. Dați exemple proprii de astfel de mișcări. (Punctele roșii din tabel indică pozițiile corpului peste anumite intervale egale de timp.)

Mișcarea uniformă — mișcarea, în timpul căreia punctul material în orice intervale egale de timp parcurge drumuri egale.

Mișcarea rectilinie

Traietoria mișcării — o linie dreaptă



Mișcarea curbiline

Traietoria mișcării — o linie curbă



Mișcarea neuniformă — mișcarea, în timpul căreia punctul material în orice intervale egale de timp parcurge drumuri diferite.

Mișcarea rectilinie

Traietoria mișcării — o linie dreaptă



Mișcarea curbiline

Traietoria mișcării — o linie curbă





Facem totalurile

- Mecanica — știința despre mișcarea mecanică a corpurilor materiale și despre interacțiunile, care au loc în acest caz între corpuri. Problema fundamentală a mecanicii — de a cunoaște legile mișcării mecanice și a interacțiunilor dintre corpuri, pe baza acestor legi de a prevedea comportarea corpurilor și de a determina starea mecanică a corpurilor în orice moment de timp.
- Mișcarea mecanică — schimbarea cu timpul a poziției unui corp (sau a părților corpului) în spațiu în raport cu alte corpuri. Rezolvând problema despre mișcarea mecanică, neapărat trebuie de ales sistemul de referință: corpul de referință, sistemul de coordonate legat de el și dispozitivul pentru măsurarea timpului.
- Punctul material — acesta-i modelul fizic al corpului, dimensiunile căruia pot fi neglijate în condițiile problemei date. Masa punctului material coincide cu masa corpului.

Linia mișcării punctului material în spațiu se numește traiectorie.

Coordonatele punctului material în sistemul bidimensional de coordonate pot fi determinate după formulele: $x = x_0 + s_x$; $y = y_0 + s_y$.

- Drumul l — acesta-i mărimea fizică, care numeric este egală cu lungimea traiectoriei mișcării punctului material în intervalul de timp dat.

Deplasarea \vec{s} — aceasta-i mărimea vectorială, care se reprezintă grafic sub formă de un segment de dreaptă orientat, care unește pozițiile inițială și finală ale punctului material.

Unitatea de măsură a drumului și a modulului deplasării în SI — metrul (m).

- Traiectoria mișcării, drumul și deplasarea corpului depind de alegerea sistemului de referință — în aceasta constă relativitatea mișcării mecanice.



Întrebări de control

1. Ce studiază mecanica? 2. Care este problema fundamentală a mecanicii?
3. Dați definiția mișcării mecanice. 4. Dați exemple de diferite mișcări mecanice. 5. Numiți componentele sistemului de referință. 6. Ce feluri de sisteme de coordonate cunoașteți? 7. În ce cazuri corpul, ce se mișcă poate fi considerat ca un punct material? Dați un exemplu. 8. Descrieți drumul și deplasarea conform planului caracterizării mărimii fizice (vezi forzațul manualului). 9. În ce constă relativitatea mișcării mecanice? Dați un exemplu.



Exercițiul nr. 4

1. Ce fel de sistem de coordonate (unidimensional, bidimensional, tridimensional) veți alege, descriind astfel de mișcări: ridicarea ascensorului; mișcarea unei luntre pe suprafeța apei; alergarea unui fotbalist pe teren; zborul unui fluture; patinarea pe role de patinaj; coborârea sportivei de pe un deal pe schiuri?
2. Acum stați la masă, citiți manualul. Numiți câteva corpuri de referință, în raport cu care voi vă mișcați. În ce direcție se efectuează această mișcare?
3. De care corp trebuie de legat sistemul de referință, pentru ca drumul și deplasarea voastră în orice moment de timp să fie egale cu zero? Oare va fi comod acest sistem de referință pentru descrierea mișcării voastre?
4. Un automobil se mișcă la o cotitură de drum, care reprezintă jumătate din arcul de circumferință cu raza de 20 m. Determinați drumul și modulul deplasării automobilului în timpul virajului.
5. Dintr-un balon de aer, ce zboară în direcție orizontală, a căzut un mic obiect greu. Care va fi traiectoria mișcării acestui obiect în raport cu balonul? în raport cu un om, care urmărește mișcarea balonului, aflându-se într-o poiană?



6. Traiectoria mișcării punctului de pe obada roții bicicletei în raport cu pământul este o cicloidă (vezi des.). Se consideră, că proprietățile cicloidei pentru prima dată au fost studiate de către G. Galilei. Folosiți surse suplimentare de informații și aflați despre proprietățile «mecanice» ale acestei linii.



Problemă experimentală

Folosind dispozitivul mobil și de programul corespunzător, trasați traiectoria mișcării de la clădirea aleasă de voi până la școală. Determinați drumul, care va fi parcurs în acest caz, direcția și modulul deplasării.



§ 5. VITEZA MIȘCĂRII. VITEZELE MEDIE ȘI MOMENTANĂ. LEGILE COMPUNERII DEPLASĂRIILOR ȘI VITEZELOR



Ați avut prilejul să traversați înot un râu, care curge cu viteză mare? E foarte greu de-l traversat înot astfel, încât să ajungeți pe celălalt mal vizavi de locul unde ați intrat în apă. Dar cineva a încercat să urce cu escalatorul, care se mișcă în jos? De asemenea e dificil. Cu mult mai repede o să urcați, dacă de se mișcat în direcția mișcării escalatorului. În fiecare din exemplele enumerate omul participă în același timp la două mișcări. Cum în acest caz de calculat viteza mișcării veți afla din acest paragraf. Dar mai întâi să ne amintim, ce este viteza.

1

Să ne amintim de mișcarea rectilinie uniformă a corpului

Cel mai simplu fel de mișcare mecanică — *mișcarea rectilinie uniformă*.

Mișcarea rectilinie uniformă — aceasta-i mișcarea mecanică, în timpul căreia corpul în orice intervale de timp egale efectuează deplasări egale.

Din definiția mișcării rectilinii uniforme se pot face următoarele concluzii:

- pentru descrierea acestei mișcări e suficient să se folosească sistemul unidimensional de coordonate, deoarece traiectoria mișcării — o linie dreaptă;
- raportul deplasării \bar{s} către timpul t , în care s-a efectuat această deplasare, pentru o asemenea mișcare este o mărime constantă, deoarece în intervale egale de timp corpul efectuează deplasări egale.

Mărimea fizică vectorială, care este egală cu raportul deplasării \bar{s} a corpului către timpul t , în care a fost efectuată această deplasare, se numește viteza a mișcării rectilinii uniforme a corpului:

$$\vec{v} = \frac{\bar{s}}{t}$$

Direcția vectorului vitezei coincide cu direcția deplasării corpului, iar modulul și proiecția vitezei se determină după formulele:

$$v = \frac{s}{t}; \quad v_x = \frac{s_x}{t}$$

Unitatea de măsură a vitezei în SI — **metru pe secundă**:
 $[v]=1 \text{ m/s (m/s)}$.

Din formula pentru calculul vitezei de mișcare a corpului se poate afla deplasarea corpului în orice interval de timp:

$$\bar{s} = \vec{v}t$$

Ultima formulă o vom scrie pentru proiecții: $s_x = v_x t$ sau pentru moduli: $s = vt$. Deoarece în cazul dat viteza mișcării corpului nu se schimbă cu timpul, deplasarea, pe care o efectuează corpul este direct proporțională cu timpul:

$$s \sim t; \quad s_x \sim t.$$

Pentru rezolvarea problemei fundamentale a mecanicii — determinarea stării corpului în orice moment de timp — vom scrie ecuația coordonatei. Deoarece $x = x_0 + s_x$, dar $s_x = v_x t$, atunci *pentru mișcarea rectilinie uniformă ecuația coordonatei are forma*:

$$x = x_0 + v_x t,$$

unde x_0 — coordonata inițială; v_x — proiecția vitezei corpului; t — timpul observării.

Pentru descrierea mișcării e comod să se folosească graficele (fig. 5.1) — ele de asemenea pe deplin descriu mișcarea corpurilor, ca și formulele corespunzătoare sau descrierea verbală.

? Examinați fig. 5.1. Cu ce viteză se mișcă automobilul? Bicicleta? Care va fi deplasarea lor peste 4 s de observare? Determinați coordonata automobilului peste 8 s de observare. La ce distanță unul de altul vor fi situate automobilul și bicicleta după 4 s de observare?

2 Ce viteză indică spidometrul

Pentru caracterizarea mișcării neuniforme se folosesc mărimile fizice: *viteza medie de drum, viteza medie vectorială, viteza momentană* (vezi tabelul de la pagina 28–29).

Graficul proiecției vitezei — segmentul de dreaptă, paralel cu axa timpului, deoarece viteza mișcării nu variază cu timpul

Deplasarea numeric este egală cu aria dreptunghiului de sub graficul dependenței $v_x(t)$

Graficul proiecției deplasării — segmentul de dreaptă, care trece prin originea coordonatelor, deoarece $s_x \sim t$

Graficul coordonatei — segmentul de dreaptă, ce începe în punctul $(t=0; x=x_0)$, unde x_0 — coordonata inițială

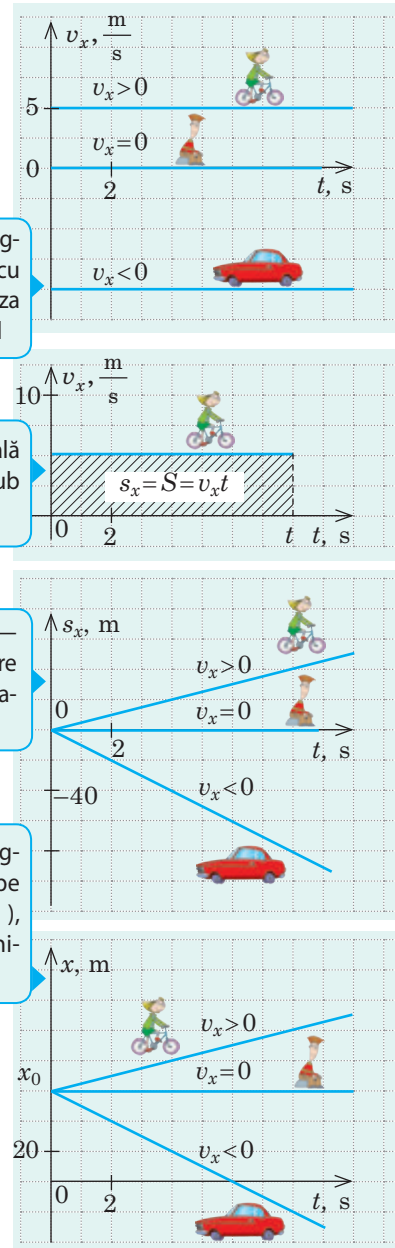
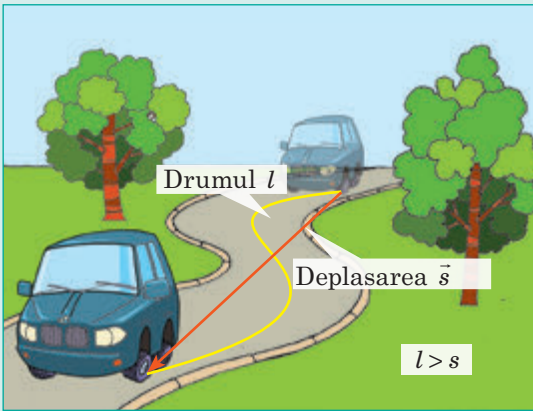


Fig. 5.1. Graficele mișcării rectilinie uniforme. Bicicleta și automobilul se mișcă de-a lungul axei OX : bicicleta — în direcția axei OX , automobilul — în direcție opusă. Turistul stă la marginea drumului

Caracteristica vitezelor medii de drum, medii vectoriale,

Viteza medie de drum	Viteza medie vectorială
Mărime fizică scalară	Mărime fizică vectorială
Este egală cu raportul dintre întreg drumul l și intervalul de timp t , în care acest drum a fost parcurs	Este egală cu raportul dintre deplasarea \vec{s} și intervalul de timp t , în care această deplasare a fost efectuată
$v_{\text{med}} = \frac{l}{t} \quad \frac{\text{Drumul întreg}}{\text{Timpul întreg de observate}}$	$\vec{v}_{\text{med}} = \frac{\vec{s}}{t} \quad \frac{\text{Toata deplasarea}}{\text{Timpul întreg de observare}}$
Nu are direcție	Direcția coincide cu direcția deplasării: $\vec{v}_{\text{med}} \uparrow \uparrow \vec{s}$



Cunoașterea vitezei medii nu permite descrierea întregii mișcări. De exemplu, din motive de securitate în orașele din Ucraina este stabilită viteza medie de mișcare pentru mijloacele de transport de 50 km/h. Bineînțeles, că această restricție se referă la viteza medie măsurată într-un interval de timp mic. Doar, dacă omul la volan timp de 30 min zboară cu viteza de 80 km/h, iar în următoarele 30 min «se târăște» cu o viteză de 20 km/h, viteza medie a lui nu depășește 50 km/h, totodată mișcarea automobilului poate fi considerată nepericuloasă.

În continuare, vorbind despre viteza corpului, vom avea în vedere viteza momentană a lui.

În timpul mișcării rectilinii uniforme viteza momentană tot timpul rămâne neschimbată și coincide cu viteza medie vectorială a mișcării corpului. În oricare alt caz viteza momentană a corpului se schimbă: după direcție — în timpul mișcării curbilinii uniforme; după valoare, uneori — după direcție (direcția se poate schimba în opusă) — în timpul mișcării rectilinii neuniforme; după direcție și valoare în același timp — în timpul mișcării curbilinii neuniforme.

? Ce viteză a mișcării indică spidometrul: medie vectorială? medie de drum? momentană?

3 Cum se determină viteza de mișcare a corpului în raport cu diferite sisteme de referință

Să studiem mișcarea corpului în diferite sisteme de referință (SR). Fie că un asemenea corp va fi câinele, care se mișcă rectiliniu și uniform pe o plută, ce plutește pe râu (fig. 5.2). Evident, că viteza de mișcare a plutei este egală cu viteza curentului de apă. Mișcarea câinelui este urmărită de către o

momentane

Viteza momentană

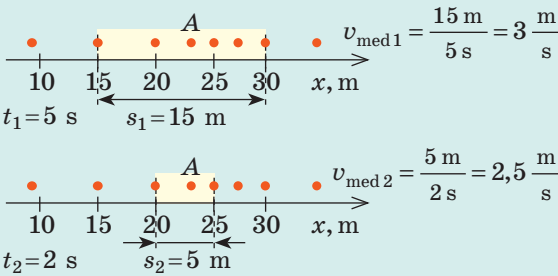
Mărime fizică vectorială

Viteza de mișcare în momentul dat de timp, în punctul dat; viteza medie vectorială, măsurată într-un interval de timp infinit de mic

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} \quad \begin{array}{l} \Delta \vec{s} \text{ — deplasarea într-un interval} \\ \text{de timp foarte mic } \Delta t \text{ (} \Delta t \rightarrow 0 \text{)} \end{array}$$

Direcția coincide cu direcția deplasării în momentul dat: $\vec{v} \uparrow \Delta \vec{s}$

Cu cât e mai mic intervalul de timp, în care se măsoară viteza medie, cu atât mai mult valoarea ei se apropie de valoarea vitezei momentane (în desenul de mai jos — în punctul A):



Timpu dintre pozițiile consecutive ale corpului — 1 s

observatoare și un observator, totodată observatoarea (pescarul) este situată pe mal, iar observatorul (împreună cu câinele) — pe plută. Observatorul și observatoarea măsoară deplasarea câinelui și timpul mișcării lui. Timpul mișcării câinelui pentru ambii observatori este același, dar iată deplasările vor fi diferite. Vom considera, că într-un anumit timp t câinele a alergat, de cealaltă parte a plutei.

Deplasarea \vec{s}_1 , pe care a efectuat-o câinele în raport cu pluta (și pe care a măsurat-o observatorul) după modul este egală aproximativ cu lățimea plutei și este orientată perpendicular pe direcția curentului de apă.

Deplasarea \vec{s} , efectuată de câine în raport cu malul (și pe care a măsurat-o pescarul), este egală după modul cu lungimea segmentului OA și este orientată sub un anumit unghi față de curentul de apă al râului.

Ca atare pluta în acest timp s-a deplasat după curent și a efectuat deplasarea \vec{s}_2 în raport cu malul.

Din fig. 5.2 vedem, că $\vec{s} = \vec{s}_2 + \vec{s}_1$. Vom lega de mal sistemul de coordonate XOY — vom obține *sistemul imobil de referință*. De plută vom lega sistemul de coordonate $X'O'Y'$ — vom obține *sistemul mobil de referință*.

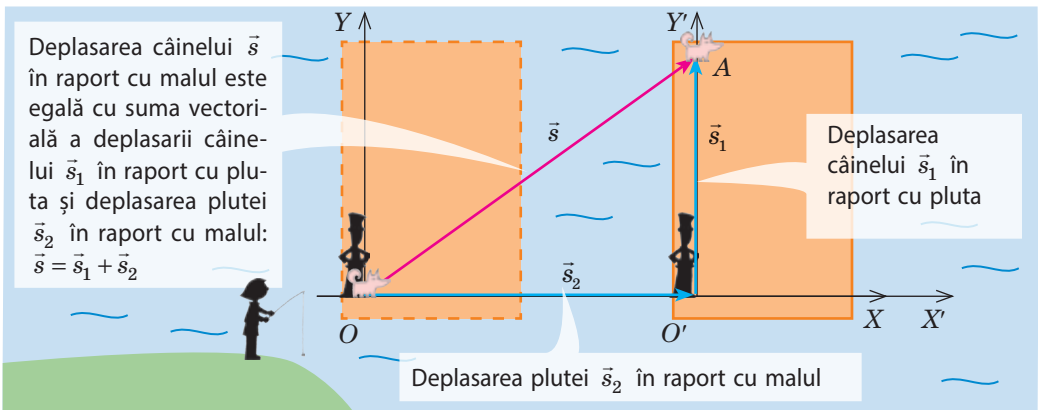


Fig. 5.2. Pentru deducerea legii compunerii deplasărilor și vitezelor

Acum putem formula **legea compunerii deplasărilor**:

Deplasarea \vec{s} a corpului în sistemul de referință imobil este egală cu suma geometrică a deplasării corpului \vec{s}_1 față de sistemul de referință mobil și a deplasării sistemului de referință mobil \vec{s}_2 în raport cu cel imobil:

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$$

Împărțind ambele părți ale ecuației la timpul mișcării corpului $\left(\frac{\vec{s}}{t} = \frac{\vec{s}_1}{t} + \frac{\vec{s}_2}{t}\right)$

și luând în considerare, că $\vec{s}/t = \vec{v}$, obținem **legea compunerii vitezelor**:

Viteza mișcării corpului \vec{v} în sistemul de referință imobil este egală cu suma geometrică dintre viteza mișcării corpului \vec{v}_1 în sistemul de referință mobil și viteza \vec{v}_2 a mișcării sistemului de referință mobil în raport cu cel imobil:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

Atrageți atenția! Deoarece mișcarea și repausul sunt relative, în exemplul reprezentat mai sus drept SR imobil putea fi ales și SR legat de plută. În acest caz SR legat de mal ar fi fost mobil, iar direcția mișcării lui ar fi fost opusă direcției curentului de apă.

4 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. Un pescar traversează râul cu luntrea, menținând-o perpendicular pe direcția curentului de apă. Viteza mișcării luntrei v_1 față de apă — 4 m/s, viteza curentului de apă v_2 — 3 m/s, lățimea râului l — 400 m. Determinați: 1) în cât timp t luntrea ar fi traversat râul; 2) în cât timp t_1 luntrea ar fi traversat râul, dacă nu ar fi fost curentul de apă; 3) modulul deplasării s și modulul vitezei v de mișcare a luntrei în raport cu malul; 4) la ce distanță s_2 mai în jos de la poziția inițială după curentul de apă luntrea va atinge malul opus.

Analiza problemei fizice Vom alege ca imobil SR legat de Pământ, ca mobil — SR legat de apă. Vom efectua un desen explicativ, în care vom reprezenta vectorii vitezei: a mișcării luntrei în raport cu malul (\vec{v}), a mișcării luntrei în raport cu apa (\vec{v}_1), a curentului de apă (\vec{v}_2).

Дано:

$v_1 = 4$ m/s
 $v_2 = 3$ m/s
 $l = 400$ m

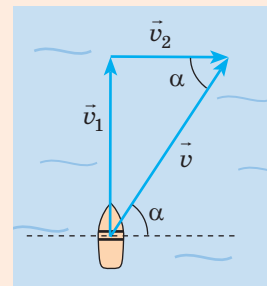
t — ?
 t_1 — ?
 s — ?
 v — ?
 s_2 — ?

Rezolvare

1) În SR legat de apă luntrea a efectuat deplasarea s_1 , care după modul este egală cu lățimea râului: $s_1 = l$. Viteza de mișcare a luntrei în raport cu apa $v_1 = \frac{s_1}{t}$. Așadar, timpul mișcării luntrei:

$$t = \frac{l}{v_1}; \quad t = \frac{400 \text{ m}}{4 \text{ m/s}} = 100 \text{ s.}$$

Vedem, că timpul mișcării luntrei nu depinde de viteza curentului de apă, de aceea, dacă nu ar fi fost curentul de apă luntrea ar fi traversat râul în același timp: $t_1 = t = 100$ s.



2) Modulul vitezei v a mișcării luntrei în raport cu malul vom afla, folosind teorema lui Pitagora:

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}; \quad v = \sqrt{4^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 3^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \sqrt{25 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Luntrea se mișcă uniform, de aceea modulul deplasării s a luntrei în raport cu malul:

$$s = vt; \quad s = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 100 \text{ s} = 500 \text{ m}.$$

3) Cunoscând timpul mișcării luntrei t și viteza curentului de apă v_2 , să detarminăm distanța s_2 , la care luntrea a fost dusă în jos în direcția curentului de apă: $s_2 = v_2 t$; $s_2 = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 100 \text{ s} = 300 \text{ m}$.

Răspuns: $t = t_1 = 1 \text{ min } 40 \text{ s}$; $s = 500 \text{ m}$; $v = 5 \text{ m/s}$; $s_2 = 300 \text{ m}$.



Facem totalurile

- Mișcarea rectilinie uniformă — aceasta-i mișcarea mecanică, în timpul căreia corpul în orice intervale de timp egale efectuează deplasări egale.
- În cazul mișcării rectilinii uniforme:
 - graficul proiecției vitezei $v_x(t)$ — segmentul de dreaptă, paralel cu axa timpului;
 - proiecția deplasării corpului poate fi calculată după formula: $s_x = v_x t$; graficul dependenței $s_x(t)$ — segmentul de dreaptă, care începe în originea coordonatelor;
 - ecuația coordonatei are forma: $x = x_0 + v_x t$.
- Dacă mișcarea nu este uniformă, pentru descrierea ei se folosesc noțiunile: viteză medie vectorială ($\vec{v}_{\text{med}} = \vec{s} / t$); viteză medie de drum ($v_{\text{med}} = l / t$); viteză momentană \vec{v} — viteza medie vectorială într-un interval de timp infinit de mic, viteza de mișcare în momentul dat de timp, viteza de mișcare în punctul dat: $v = \Delta \vec{s} / \Delta t$ ($\Delta t \rightarrow 0$).
- Viteza mișcării corpului \vec{v} în SR imobil este egală cu suma geometrică a vitezei mișcării corpului \vec{v}_1 în SR mobil și a vitezei \vec{v}_2 a mișcării SR mobil în raport cu cel imobil: $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$.



Întrebări de control

1. Care mișcare se numește rectilinie uniformă?
2. Dați caracteristica vitezei în mișcarea rectilinie uniformă.
3. Cum se calculează deplasarea și coordonata corpului, care se mișcă rectiliniu uniform?
4. Ce reprezintă graficul dependenței $v_x(t)$; $s_x(t)$; $x(t)$ în cazul mișcării rectilinii uniforme?
5. Dați definiția vitezei medii vectoriale a mișcării; vitezei medii de drum a mișcării; vitezei momentane a mișcării.
6. Formulați legea compunerii deplasărilor și legea compunerii vitezelor.

Fizica în cifre

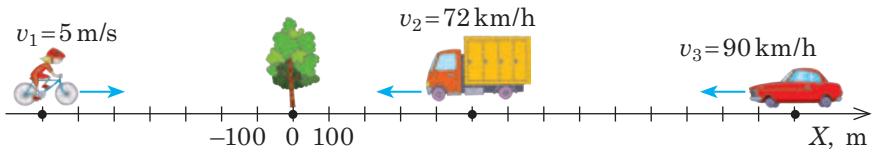
- 1600 km/h — viteza de mișcare a punctelor ecuatorului, cauzată de rotația Pământului în jurul axei sale.
 - Aproximativ 110 000 km/h — viteza de mișcare a Pamantului în jurul Soarelui și, prin urmare, a noastră tuturor.
 - Peste 780 000 km/h — viteza, cu care Sistemul solar (prin urmare și noi toți) zboară în spațiul cosmic față de centrul Galaxiei.
- Așadar, cu ce viteză noi ne mișcăm? Un răspuns unic nu există — totul depinde de sistemul de referință!





Exercițiul nr. 5

1. O barcă cu motor se mișcă cu o viteză de 10 m/s în raport de apă. Viteză curentului de apă -1 m/s. Determinați viteza de mișcare a barcii cu motor în raport cu malul râului în direcția curentului de apă; împotriva curentului.
2. Semincioara înaripată obține o viteză de cădere constantă de 0,3 m/s practic imediat după începerea căderii din vârful copacului. La ce distanță de la rădăcina copacului va cădea semincioara, dacă viteza vântului este orientată în direcție orizontală și egală cu 1 m/s, iar înălțimea copacului este de 50 m? Care este deplasarea semincioarei în raport cu suprafața Pământului?
3. Calul se mișcă în arena cercului după un arc de circumferință cu raza de 6 m, descriind o traiectorie, care reprezintă o jumătate de circumferință. Primul sfert al circumferinței calul îl parcurge în 10 s, iar al doilea sfert — în 20 s. Determinați viteza medie de drum și viteza medie vectorială a mișcării calului pe fiecare porțiune a traiectoriei și pe parcursul întregului timp al mișcării.
4. Folosind desenul, notați ecuațiile mișcării fiecărui mijloc de transport. Determinați timpul și locul întâlnirii autocamionului cu biciclistul, a limuzinei și a biciclistului. Unde și când limuzina va depăși autocamionul? Construiți graficele dependenței $v_x(t)$ și $x(t)$ pentru fiecare corp.



5. Un avionul trebuie să zboare într-un oraș, situat la distanța de 600 km spre nord. Dinspre vest bate vântul cu viteză de 40 km/h. Avionul zboară cu viteză de 300 km/h în raport cu aerul. În ce direcție ar trebui să zboare avionul? Cât timp va dura zborul?
6. Înainte de pornirea trenului a început ploaia. Vânt nu era, iar picăturile de ploaie cădeau vertical. Când trenul a pornit, pasagerii au observat, că ploaia a devenit oblică, deși vremea a rămas fără vânt. Explicați acest fenomen. Determinați viteza de cădere a picăturilor, dacă în timpul mișcării trenului cu viteza de 40 km/h pasageriilor li se părea, că picăturile cad sub unghi de 45° față de verticală.
7. Aflați despre «recordmanii de viteză» în tehnica contemporană și în natura vie. Pregătiți un mesaj sau o prezentare.



Fizica și tehnica în Ucraina



Arhip Mihailovici Liulica (1908–1984) — remarcabil inginer ucrainian sovietic constructor de motoare pentru avioane, academician al Academiei de Științe a URSS. S-a născut în s. Savarca din regiunea Kiev, și-a făcut studiile la Institutul politehnic din Kiev.

Lucrând la Institutul de aviație din Harkiv, A.M. Liulica a creat construcția primului motor turboreactiv cu două conture în URSS. Primul a dezvoltat motoarele turboreactive pentru aviația supersonară. Ulterior, pe avioane cu motoare după construcția lui A.M. Liulica au fost atinse zeci de recorduri mondiale. Sub conducerea lui, a fost creat biroul de proiectare și cercetare, care astăzi îi poartă numele. Pe alea învățaților proeminenți la Institutul politehnic din Kiev este instalat monumentul lui A. Liulica.

i

§ 6. МІСЦАРЕЯ RECTILINIE UNIFORM ACCELERATÁ. ACCELERАЦІЯ



Existá maşini — dragstere, care au o putere mai mare decât avionul «Boeing». Vă imaginaţi, ce viteză poate dezvolta dragsterul într-un timp foarte scurt? Iată câţiva indici ai unuia dintre dragstere: în 0,5 s el a dezvoltat o viteză de 32 m/s, în 1,0 s — 51 m/s, în 3,8 s el a atins viteza maximă — 143 m/s! Să ne amintim, cum se află după aceşti indici distanţa, pe care a parcurs-o dragsterul.

1 Ne amintim mişcarea rectilinie uniform acceleratá

Dacă corpul se mişcă neuniform, viteza mişcării lui permanent se schimbă.

Mărimea fizică vectorială, ce caracterizează viteza variaţiei vitezei mişcării corpului şi este egală cu raportul variaţiei vitezei de mişcare a corpului către intervalul de timp, în care s-a produs această variaţie se numeşte **acceleraţia mişcării corpului**:

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

Din cursul de fizică pentru clasa a 9-a voi ştiţi, că **mişcarea rectilinie uniform acceleratá** — aceasta-i mişcarea cu acceleraţie constantă, adică mişcarea, în timpul căreia viteza mişcării corpului variază la fel în orice intervale de timp egale.

Acceleraţia mişcării rectilinii uniform accelerate se determină după formula:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t},$$

unde \vec{v}_0 — viteza mişcării corpului în momentul începutului mişcării (viteza iniţială); \vec{v} — viteza mişcării corpului peste un anumit interval de timp t .

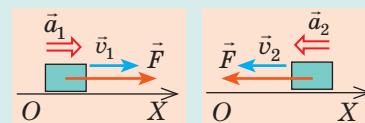
Noi vom folosi formula dată scrisă pentru proiecţii pe axa de coordonate OX :

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$$

Unitatea de măsură a acceleraţiei în SI — **metru pe secundă la pătrat**: $[a] = 1 \frac{m}{s^2} \left(1 \frac{m}{s^2} \right)$.

- *Direcţia acceleraţiei mişcării corpului coincide cu direcţia rezultantei forţelor, care acţionează asupra corpului (vezi fig. 6.1).*

Dacă acceleraţia este orientată în direcţia mişcării corpului, atunci viteza mişcării corpului se măreşte (rezultanta \vec{F} «împinge») şi îi dă viteză corpului).



Dacă acceleraţia este orientată în direcţie opusă mişcării corpului, viteza corpului se micşorează (rezultanta \vec{F} «împiedică» mişcarea corpului şi o încetineşte).

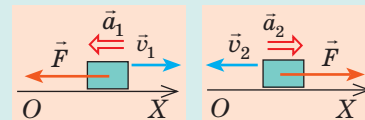


Fig. 6.1. Mărimea sau micşorarea vitezei de mişcare a corpului nu depinde de alegerea direcţiei axei OX , dar depinde de direcţia acţiunii forţei

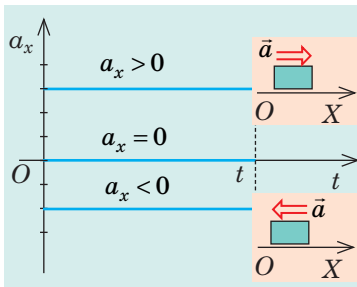


Fig. 6.2. Graficul dependenței $a_x(t)$ pentru mișcarea rectilinie uniform accelerată

- Dacă accelerația corpului este egală cu zero, atunci viteza mișcării corpului nu se schimbă nici ca valoare, nici ca direcție: $\frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} = \mathbf{0} \Rightarrow \vec{v} = \vec{v}_0$, adică *corpul se mișcă uniform rectiliniu*. Astfel, mișcarea rectilinie uniformă — aceasta-i un caz particular al mișcării rectilinii uniform accelerate.

- În timpul mișcării uniform accelerate accelerația corpului este constantă, de aceea graficul dependenței proiecției accelerației de timp (graficul dependenței $a_x(t)$) — un segment de dreaptă, paralel cu axa timpului (fig. 6.2).

2 Viteza mișcării rectilinii uniform accelerate

Din formula pentru determinarea proiecției accelerației $\left(a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t} \right)$ avem pentru *mișcarea rectilinie uniform accelerată* **ecuația proiecției vitezei**:

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

Dacă este dată ecuația proiecției vitezei de mișcare a corpului, atunci este dată și viteza inițială (\vec{v}_0), și accelerația (\vec{a}) a mișcării acestui corp. De exemplu, ecuația proiecției vitezei de mișcare a corpului are forma: $v_x = -5 + 3t$. Aceasta înseamnă: $v_{0x} = -5$ m/s (viteza inițială de mișcare este egală cu 5 m/s, iar direcția ei este opusă direcția axei OX); $a_x = 3$ m/s² (accelerația mișcării este egală cu 3 m/s², iar direcția ei coincide cu direcția axei OX).

Dependența $v_x = v_{0x} + a_x t$ este liniară, de aceea graficul proiecției vitezei — graficul dependenței $v_x(t)$ — acesta-i segmentul de dreaptă, înclinat sub un anumit unghi față de axa timpului (figura 6.3, 6.4).

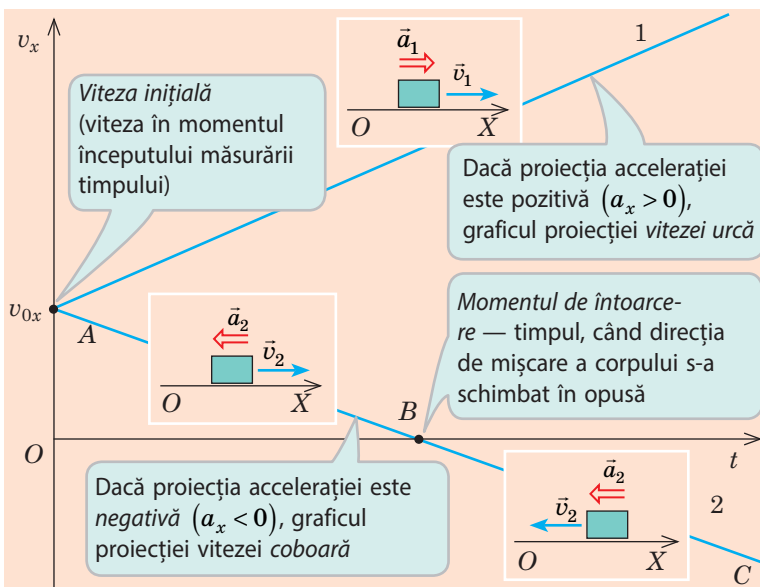


Fig. 6.3. Graficele dependenței $v_x(t)$ pentru mișcarea rectilinie uniform accelerată. Corpul 1 tot timpul își mărește viteza, deoarece $\vec{a}_1 \uparrow \vec{v}_1$. Corpul 2 mai întâi își încetinește mișcarea sa: $\vec{a}_2 \uparrow \vec{v}_2$ (porțiunea AB), apoi se oprește (punctul B), după ce își mărește viteza ($\vec{a}_2 \uparrow \vec{v}_2$), mișcându-se în direcție opusă (porțiunea BC)

Cu cât este mai mare accelerația mișcării corpului, cu atât mai mare este unghiul de înclinare al graficului proiecției vitezei față de axa timpului (vezi [fig. 6.4](#)).

3 Deplasarea în timpul mișcării rectilinii uniform accelerate

Voi deja știți despre **sensul geometric al proiecției deplasării**: *deplasarea unui corp este numeric egală cu aria figurii de sub graficul dependenței proiecției vitezei mișcării corpului de timp*. Noi am demonstrat această afirmație pentru mișcarea uniformă. Să examinăm un exemplu de mișcare uniform accelerată:

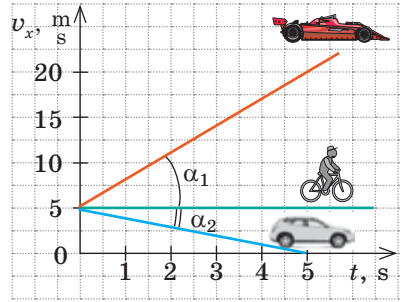
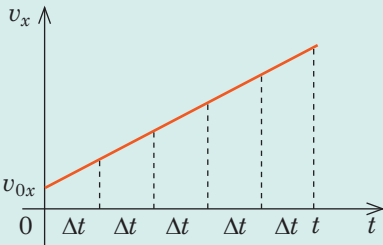
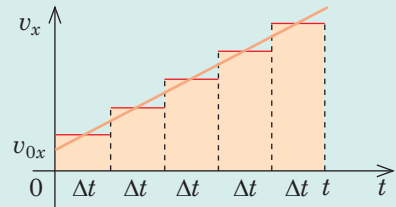


Fig. 6.4. Bolidul se mișcă cu o accelerație mai mare decât automobilul, de aceea $\alpha_1 > \alpha_2$. Accelerația mișcării biciclistului este egală cu zero

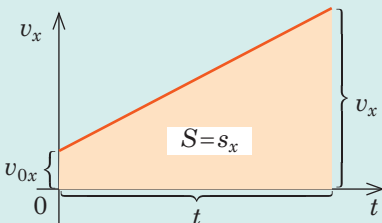
1 Vom împărți întregul timp al mișcării în intervale mici de timp Δt



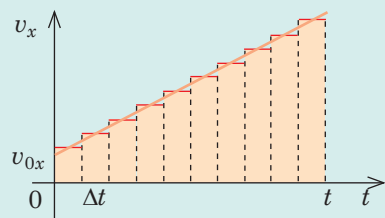
2 Să presupunem, că în decursul fiecărui interval de timp viteza mișcării corpului rămâne constantă. Deplasarea totală în timpul unei asemenea mișcări imaginare este egală cu suma ariilor fâșiiilor cu lățimea Δt , care formează împreună o figură în trepte.



4 În rezultatul micșorării infinite a intervalelor de timp ($\Delta t \rightarrow 0$) figura în trepte «se va transforma» într-un trapez, iar deplasarea numeric va fi egală cu aria acestui trapez.



3 Dacă se vor micșora intervalele de timp Δt , deplasarea, ca și mai înainte, va fi egală cu aria figurii în trepte, care treptat obține forma unui trapez.



Vedem, că în cazul mișcării uniform accelerate proiecția deplasării numeric este egală cu aria trapezului (formula pentru determinarea ariei trapezului voi o cunoașteți din cursul de geometrie):

$$s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} t$$

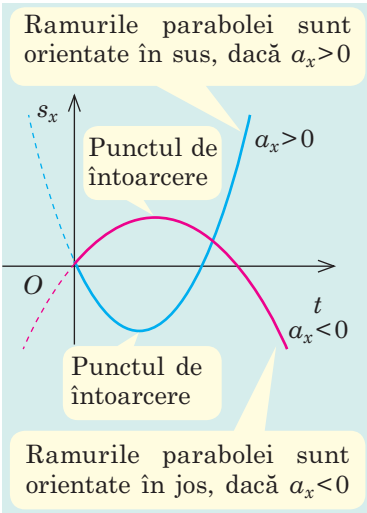


Fig. 6.5. În cazul mișcării rectilinii uniform accelerate graficul dependenței $s_x(t)$ — parabolă, care trece prin originea coordonatelor

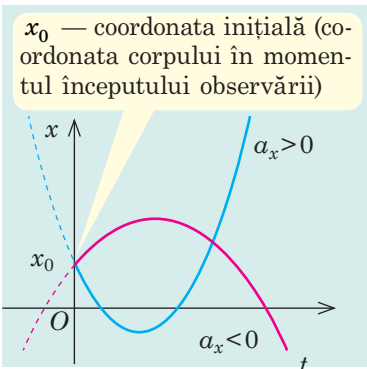


Fig. 6.6. În cazul mișcării rectilinii uniform accelerate graficul dependenței — parabolă

Luând în considerație, că $v_x = v_{0x} + a_x t$, obținem ecuația **dependenței proiecției deplasării de timp** pentru *mișcarea rectilinie uniform accelerată*:

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$$

În timpul mișcării rectilinii uniform accelerate viteza inițială (v_0) și accelerația mișcării corpului (\vec{a}) nu se schimbă, de aceea dependența proiecției deplasării s_x de timpul t este *pătratică*, iar graficul acestei dependențe este o *parabolă* (fig. 6.5), a cărui vârf corespunde punctului de întoarcere (vezi rezolvarea problemei 2 din punctul 4).

În multe probleme nu este vorba despre timpul mișcării corpului și nu trebuie să-l determinăm. În asemenea cazuri pentru calculul mărimilor necunoscute se folosește formula:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$$

? Obțineți ultima formulă de sine stătător, folosind formula $s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2}t$ și definiția accelerației.

Coordonarea corpului în orice fel de mișcare poate fi determinată prin formula $x = x_0 + s_x$, de aceea pentru *mișcarea rectilinie uniform accelerată ecuația coordonatei are forma*:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$$

Adică dependența $x(t)$, precum și dependența $s_x(t)$ este *patrică*, iar graficul acestei dependențe — o parabolă (fig. 6.6).

PROFESIILE DE VIITOR



Dispecerul transportului autonom

construiește, planifică și coordonează mișcarea mijloacelor de transport autonome, efectuează monitorizarea mișcării lor

Astăzi majoritatea accidentelor rutiere au loc din cauza erorilor umane. Aplicarea transportului autonom (conducerea cărora este automatizată și se efectuează fără șofer) poate reduce cantitatea accidentelor, micșora ambutiagele, economisi combustibilul.

Cunoașterea fizicii va ajuta dispecerul să planifice mișcarea transportului auto cu autopilot, să alegeagă cel mai bun algoritm computațional, să asigure siguranța traficului etc.

Algoritmul rezolvării problemelor din cinematică

1. Citiți cu atenție condiția problemei. Aflați, care corpuri iau parte la mișcare, care este caracterul mișcării lor, care parametri ai mișcării sunt cunoscuți.

2. Scrieți condiția prescurtată a problemei. În caz de necesitate transformați valorile mărimilor fizice în unități ale SI.

3. Efectuați un desen explicativ, în care notați axa de coordonate, direcțiile vitezei de mișcare, deplasării, vitezei inițiale și a accelerației mișcării corpului.

4. Din formulele, ce descriu mișcarea uniform accelerată alegeți acelea, care corespund cel mai mult condiției problemei.

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}; v_x = v_{0x} + a_x t;$$

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2};$$

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x};$$

$$s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t.$$

Concretizați formulele alese pentru problema dată.

5. Rezolvați problema la formă generală.

6. Verificați unitatea de măsură, aflați valoarea numerică a mărimii căutate.

7. Analizați rezultatul.

8. Scrieți răspunsul.

4 Ne învățăm a rezolva probleme

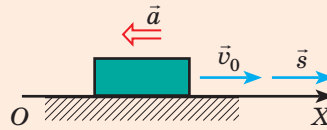
Problema 1. Frâna linuzinei este în stare bună, dacă pe asfaltul uscat la o viteză 28 m/s distanța de frânare a automobilului este de 49 m. Determinați timpul frânării și accelerarea mișcării automobilului.

$v_0 = 28 \text{ m/s}$
 $s = 49 \text{ m}$
 $v = 0$

$t = ?$
 $a = ?$

Rezolvare

Pe desenul explicativ vom orienta axa OX în direcția mișcării automobilului. Automobilul frânează, de aceea $\vec{a} \uparrow \downarrow \vec{v}_0$.



Deoarece în problemă sunt cunoscute v_0 , v și s , pentru determinarea timpului de frânare cea mai

utilă este formula $s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} t$ (1), iar pentru de-

terminarea accelerației — formula $s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$ (2).

Vom concretiza această formulă (vom trece de la proiecții la moduli):

- direcția deplasării și direcția vitezei inițiale coincid cu direcția axei OX , de aceea $v_{0x} = v_0$, $s_x = s$;
- viteza finală este egală cu zero: $v_x = 0$;
- direcția accelerației este opusă direcției axei OX , de aceea $a_x = -a$.

Așadar, din formula (1): $s = \frac{0 + v_0}{2} t = \frac{v_0}{2} t \Rightarrow t = \frac{2s}{v_0}$;

din formula (2): $s = \frac{-v_0^2}{-2a} \Rightarrow a = \frac{v_0^2}{2s}$.

Verificăm unitățile de măsură, aflăm valoarea mărimii căutate:

$$[t] = \frac{\text{m}}{\text{m/s}} = \text{s}, \quad t = \frac{2 \cdot 49}{28} = 3,5 \text{ (s)};$$

$$[a] = \frac{\text{m}^2/\text{s}^2}{\text{m}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, \quad a = \frac{28^2}{2 \cdot 49} = 8 \text{ (m/s}^2\text{)}.$$

Răspuns: $t = 3,5 \text{ s}$; $a = 8 \text{ m/s}^2$.

Problema 2. În fig. 1 este reprezentat graficul dependenței $v_x(t)$ pentru mișcarea corpului de-a lungul axei OX . 1) Descrieți caracterul mișcării corpului. 2) Scrieți ecuația dependenței $s_x(t)$. 3) Construiți graficul dependenței $s_x(t)$.

Rezolvare

1) Graficul dependenței $v_x(t)$ — un segment de dreaptă, iar corpul tot timpul se mișcă de-a lungul axei OX , de aceea mișcarea corpului este rectilinie uniform accelerată. Primele 2 s viteza mișcării corpului s-a micșorat de la 20 m/s până la 0, apoi corpul s-a întors și mai 4 s își accelera mișcarea sa, mișcându-se în direcție opusă.
 2) Pentru mișcarea rectilinie uniform accelerată:

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2, \text{ unde } v_{0x} = 20 \text{ m/s}; \quad a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t} = \frac{0 - 20 \text{ m/s}}{2} = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Așadar, $s_x = 20t - 5t^2$.

3) Graficul dependenței $s_x(t)$ — parabolă, vârful căreia corespunde punctului de întoarcere. Astfel punctul A cu coordonatele $t = 2 \text{ s}$, $s_x = 20t - 5t^2 = 20 \cdot 2 - 5 \cdot 2^2 = 20 \text{ m}$ este vârful parabolei. Această parabolă trece prin punctul O cu coordonatele $(t = 0, s_x = 0)$ și prin punctul simetric lui în raport cu dreapta $t = 2 \text{ s}$ B cu coordonatele $(t = 4 \text{ s}, s_x = 0)$. La sfârșitul observării: $t = 6 \text{ s}$, $s_x = 20t - 5t^2 = 20 \cdot 6 - 5 \cdot 6^2 = -60 \text{ m}$ (punctul C). După patru puncte (O, A, B, C) se poate construi parabola (fig. 2).

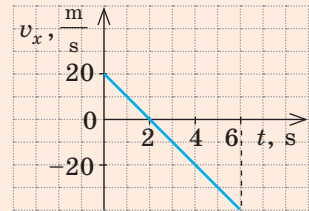


Fig. 1

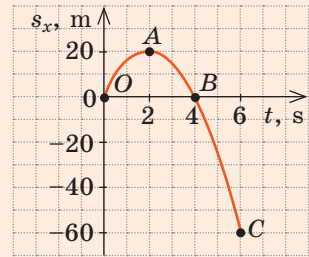


Fig. 2



Facem totalurile

- Mișcarea rectilinie uniform accelerată — aceasta-i mișcarea, în timpul căreia corpul se mișcă rectiliniu cu accelerație constantă.
 - Pentru mișcarea rectilinie uniform accelerată a corpului:
 - accelerația corpului nu variază cu timpul, graficul proiecției accelerației (dependenței $a_x(t)$) — o linie dreaptă, paralelă cu axa timpului;
 - viteza mișcării variază liniar: $v_x = v_{0x} + a_x t$, graficul dependenței $v_x(t)$ — un segment de dreaptă, înclinat față de axa timpului sub un anumit unghi;
 - ecuația proiecției deplasării are forma: $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$, graficul dependenței $s_x(t)$ — o parabolă, vârful căreia corespunde punctului de întoarcere;
 - coordonata corpului se determină din formula $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x}{2}t^2$; graficul coordonatei — parabolă.



Întrebări de control

1. Care mișcare se numește rectilinie uniform accelerată? 2. Caracterizați accelerația ca mărime fizică. 3. Cum se mișcă corpul, dacă direcția accelerației lui: a) coincide cu direcția mișcării? b) este opusă direcției de mișcare? c) dacă accelerația corpului este egală cu zero? 4. Scrieți ecuația dependenței $v_x(t)$ pentru mișcarea rectilinie uniform accelerată. Ce formă are graficul acestei dependențe? 5. Cu ajutorul căror formule, se poate calcula proiecția deplasării? Deduceți aceste formule. 6. Demonstrați, că graficul dependenței $s_x(t)$ este o parabolă. Cum sunt orientate ramurile ei? Cărui moment de mișcare îi corespunde vârful? 7. Scrieți ecuația coordonatei pentru mișcarea rectilinie uniform accelerată. Numiți mărimile fizice, care leagă această ecuație.

Exercițiul nr. 6

Considerați mișcarea corpurilor rectilinie uniform accelerată orientată de-a lungul axei OX .

- Ecuția proiecției vitezei de mișcare a motocicletei este $v_x = 20 - 4t$ (toate mărimile sunt date în unități ale SI). Determinați:
 - proiecția accelerației și viteza inițială a mișcării motocicletei;
 - timpul, când motocicleta se va opri.
- Un biciclist, care se mișcă cu viteză de 2,5 m/s începe să-și mărească viteza și mișcându-se cu o accelerație de 0,5 m/s², atinge o viteză de 5 m/s.
 - Care este deplasarea biciclistului în timpul măririi vitezei?
 - Cât timp a durat mărirea vitezei?
 - Scrieți ecuația proiecției vitezei de mișcare și a proiecție deplasării.
 - Care a fost viteza biciclistului după 2 s după începutul măririi vitezei? Peste ce interval de timp viteza mișcării lui a constituit 4 m/s?
 - Construiți graficele dependenței de timp a proiecției vitezei și proiecției deplasării biciclistului. Reprezentați pe graficul $v_x(t)$ deplasarea biciclistului în primele 3 s de mărire a vitezei; în ultima 1 s de mărire a vitezei.
 - Peste ce interval de timp după începerea măririi vitezei biciclistul va parcurge distanța de 14 m, dacă el se va mișca cu accelerație constantă?

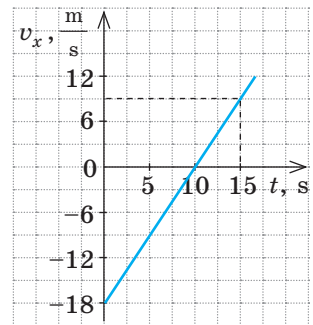


Fig. 1

- În fig. 1 este reprezentat graficul dependenței $v_x(t)$ pentru mișcarea corpului de-a lungul axei lui OX .
 - Descrieți caracterul mișcării corpului.
 - Scrieți ecuația dependenței $s_x(t)$.
 - Construiți graficul dependenței $s_x(t)$.
- Determinați timpul și coordonata întâlnirii motociclistului cu pietonul (fig. 2).
- Compuneți o problemă după datele expuse la începutul § 6 și rezolvați-o.

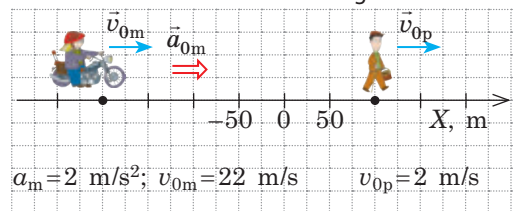


Fig. 2

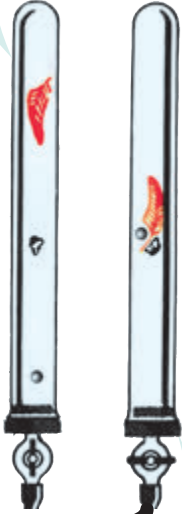
$$a_m = 2 \text{ m/s}^2; v_{0m} = 22 \text{ m/s} \quad v_{0p} = 2 \text{ m/s}$$

§ 7. CĂDEREA LIBERĂ ȘI MIȘCAREA CURBILINIE SUB ACȚIUNEA FORȚEI DE GREUTATE CONSTANTE



«Omul — ghiulea» — numărul de circ cu un astfel de nume a fost prezentat pentru prima dată la Londra în a. 1877. Gimnasta aeriană de 16 ani a fost plasată în tubul «tunului», a fost efectuată o împușcătură, și fata, zburând peste capetele spectatorilor surprinși, a aterizat pe plasa de protecție. «Tunurile» moderne analoage — aceasta-s pistoane pneumatice enorme. Cum ele funcționează, vă propunem să aflați de sinestătător, iar acum să studiem, pe care legi se bazează creatorii unor astfel de atracțioane.

Dacă se va răsturna repede tubul, prima va ajunge la fund bila de oțel, apoi — pluta, iar ultima — pana de pasăre



Dacă din tub se va evacua aerul, atunci toate trei corpuri vor cădea la fund concomitent

Fig. 7.1. Demonstrarea căderii libere a corpurilor în tubul lui Newton

1. Cu mărirea înălțimii \bar{g} se micșorează



3. Aerul împiedică mișcarea corpului

Fig. 7.2. Factorii, care complică descrierea căderii corpurilor

1 Ne amintim despre căderea liberă

Aristotel afirma: cu cât corpul este mai greu, cu atât mai repede el cade pe Pământ. Dar voi știți: așa va fi în cazul, în care mișcarea va avea loc în aer, dar în lipsa aerului toate corpurile — independent de masa, volumul, forma lor — cad pe Pământ la fel (fig. 7.1).

Căderea corpurilor într-un spațiu fără aer, adică căderea doar sub acțiunea forței de greutate se numește **cădere liberă**.

În cazul căderii libere, toate corpurile cad pe Pământ cu aceeași accelerație — *accelerația căderii libere* (\bar{g}).

- Vectorul accelerației căderii libere întotdeauna este orientat vertical în jos.

- Accelerația căderii libere pentru prima dată a fost măsurată de către matematicianul, astronomul și fizicianul olandez *Christian Huygens* (1629–1695) în anul 1656. În apropierea suprafeței Pământului, adică la distanță mică (în comparație cu raza Pământului), ea este practic constantă și egală aproximativ cu $9,8 \text{ m/s}^2$.

2 Căderea liberă a căror corpuri vom studia

Caracterul mișcării reale a corpului în câmpul gravitațional al Pământului e destul de complicat (fig. 7.2), iar descrierea ei depășește limitele programului școlar. De aceea, vom considera un șir de *simplificări*.

- Sistemul de referință legat de un punct de pe suprafața Pământului îl vom considera inerțial (despre sistemele inerțiale veți afla în §9).

- Vom studia mișcarea corpurilor situate în apropierea suprafeței Pământului. Atunci curbura suprafeței Pământului și variația accelerației căderii libere pot fi neglijate, iar *accelerația căderii libere poate fi considerată constantă*: $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Rezolvând probleme, vom considera, că $g = 10 \text{ m/s}^2$, dacă nu este menționat altfel.

- *Vom neglija rezistența aerului.* Această simplificare nu va duce la o deformare serioasă a rezultatului numai atunci, când *corpurile sunt destul de grele, de dimensiuni mici, iar viteza de mișcare a acestora e suficient de mică.* Anume asemenea corpuri vom lua în considerare în continuare.

? Luați o carte, o foaie de hârtie, o radieră, un creion și stabiliți, cum influențează aerul asupra căderii lor.

3 Cum se mișcă corpul aruncat vertical

Urmărind mișcarea corpurilor mici și grele, care sunt aruncate vertical în jos sau vertical în sus sau care cad fără viteză inițială, vedem, că traiectoria mișcării lor este o linie dreaptă. Totodată, aceste corpuri se mișcă cu accelerație constantă.

■ Mișcarea corpului aruncat vertical în sus sau în jos — aceasta-i mișcarea rectilinie uniformă cu o accelerație egală cu accelerația căderii libere:

$$\vec{a} = \vec{g}$$

Vom aminti formulele, care descriu mișcarea rectilinie uniform accelerată, vom ține cont de faptul, că în timpul descrierii mișcării corpului pe verticală vectorii vitezei, accelerației și deplasării sunt proiectați în mod tradițional pe axa OY și vom obține o serie de formule, prin care se descrie căderea liberă a corpurilor (vezi tabelul).

Problema 1. Dintr-un elicopter, care atârână deasupra lacului la o înălțime de 45 m, a fost aruncat un obiect mic și greu. 1) Peste ce interval de timp obiectul va cădea în lac? 2) Care va fi viteza de mișcare a obiectului în momentul atingerii de apă? 3) Determinați raportul deplasărilor obiectului în orice intervale egale de timp Δt .

Analiza problemei fizice. Să efectuăm un desen explicativ (fig. 1). Vom orienta axa OY vertical în jos. Fie că originea coordonatelor coincide cu poziția corpului în momentul începerii căderii. Viteza de mișcare a corpului în acest moment este egală cu zero.

Formulele pentru calculul caracteristicilor cinematice ale căderii libere

Mișcarea uniform accelerată de-a lungul axei OX	Căderea liberă de-a lungul axei OY
Proiecția vitezei mișcării	
$v_x = v_{0x} + a_x t$	$v_y = v_{0y} + g_y t$
Proiecția deplasării	
$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	$s_y = h_y = v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}$
$s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} t$	$s_y = h_y = \frac{v_y + v_{0y}}{2} t$
$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$	$s_y = h_y = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y}$
Ecuația coordonatei	
$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x}{2} t^2$	$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y}{2} t^2$

Se dă:
 $v_0 = 0$
 $s = h = 45 \text{ m}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

t — ?
 v — ?
 $s_1 : s_2 : s_3 \dots$ — ?

Căutarea modelului matematic, rezolvarea
 Vom scrie ecuația proiecției deplasării și proiecția vitezei de mișcare a corpului::

$$s_y = h_y = v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}; \quad v_y = v_{0y} + g_y t.$$

Să concretizăm aceste ecuații (vom trece de la proiecții la moduli). Din fig. 1 vedem:

$$s_y = s = h; \quad g_y = g; \quad v_{0y} = 0.$$

Așadar, avem: $h = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}; \quad v_y = gt.$

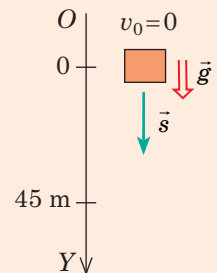


Fig. 1

Verificăm unitățile de măsură, aflăm valoarea mărimilor căutate:

$$[t] = \sqrt{\frac{m}{m/s^2}} = \sqrt{\frac{m \cdot s^2}{m}} = s, \quad t = \sqrt{\frac{2 \cdot 45}{10}} = 3 \text{ (s)}; \quad v = 10 \frac{m}{s^2} \cdot 3 s = 30 \frac{m}{s}.$$

Pentru a răspunde la întrebarea 3, ne vom folosi de sensul geometric al deplasării (fig. 2). Căderea liberă a corpurilor este o mișcare rectilinie uniform accelerată, de aceea graficul dependenței $v_y(t)$ — segmentul de dreaptă, care începe în punctul ($t=0$, $v_y=0$).

Vedem, că în primul interval de timp Δt deplasarea corpului numeric este egală cu aria S_0 a unui triunghi (aria figurii de sub grafic): $s_1 = 1S_0$; în al doilea interval de timp Δt — aria a trei triunghiuri: $s_2 = 3S_0$; în cel de-al treilea interval de timp Δt — aria a cinci triunghiuri: $s_3 = 5S_0$ ș. a. m. d.

Răspuns: $t = 3$ s; $v = 30$ m/s; $s_1 : s_2 : s_3 : s_4 \dots = 1 : 3 : 5 : 7 \dots$.

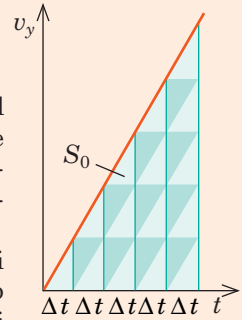


Fig. 2

În timpul căderii libere fără viteza inițială deplasările corpului în intervale consecutive de timp egale se raportă ca numerele impare:

$$s_1 : s_2 : s_3 : s_4 \dots = 1 : 3 : 5 : 7 \dots$$

Această proprietate se referă la orice mișcare rectilinie uniform accelerată a corpului. De exemplu, dacă în prima secundă corpul a parcurs 5 m, în a doua el va parcurge $3 \cdot 5 = 15$ m, în a treia — $5 \cdot 5 = 25$ m, în a patra — $7 \cdot 5 = 35$ m ș. a. m. d.

4 Ce cade mai repede

Să ne imaginăm, că de pe un pod a fost aruncată în direcție orizontală o piatră și în același timp din mâini a fost scăpată a doua piatră. Care piatră va cădea în apă mai repede? Niciuna! Ambele pietre, dacă nu le va încurca nimic, vor cădea în apă în același timp.

Folosind un dispozitiv special și o cameră de telefon mobil, putem confirma cu ușurință această afirmație (fig. 7.3).

Așadar, mișcările corpului în direcție verticală nu-i «încurcă» mișcarea lui în direcție orizontală, și invers. Aici ne-am întâlnit cu manifestarea principiului independenței mișcărilor, conform căruia orice mișcare complicată poate fi considerată ca «suma» a două (sau mai multe) mișcări simple.

Folosind un dispozitiv special și camera de luat vederi a telefonului mobil, se poate ușor aceasta confirma (fig. 7.3).

Impingatorul îi comunică bilei 2 o viteză în direcție orizontală. În același timp bila 1 este eliberată și începe să cadă în direcție verticală

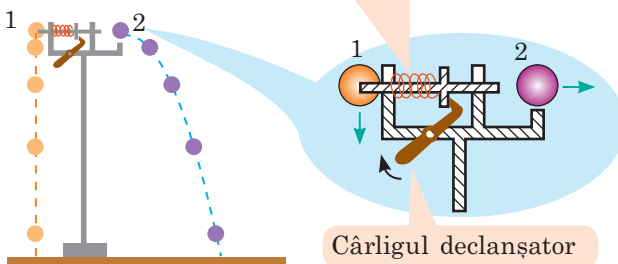


Fig. 7.3. Bila 1, care cade liber fără viteză inițială și bila 2 aruncată orizontal, tot timpul se află la aceeași înălțime și cad pe Pământ concomitent

5 Mișcarea corpurilor aruncate orizontal sau sub un anumit unghi față de orizont

Vom studia mișcarea corpului, caruia în apropierea suprafeței Pământului i se comunică o anumită viteză inițială nu în direcție verticală, folosind principiul independenței mișcărilor. Vom considera, că rezistența aerului este neglijabil de mică, adică mișcarea are loc numai sub acțiunea forței de greutate cu accelerația \vec{g} . O asemenea mișcare este comod să fie studiată ca rezultatul «compunerii» a două mișcări independente (fig. 7.4):

1) *orizontală* — uniformă de-a lungul axei OX (deoarece $g_x = 0$), care este descrisă de ecuațiile:

$$v_x = v_{0x}; \quad x = x_0 + v_{0x}t;$$

2) *verticală* — uniform accelerată (cu accelerația \vec{g}) de-a lungul axei OY , care este descrisă de ecuațiile:

$$v_y = v_{0y} + g_y t; \quad y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y}{2} t^2.$$

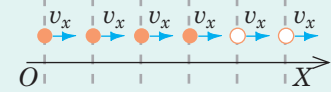
• Determinăm modulul și direcția vitezei de mișcare a corpului într-un punct arbitrar al traiectoriei, folosind teorema lui Pitagora și definiția tangentei (vezi fig. 7.4):

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_x}.$$

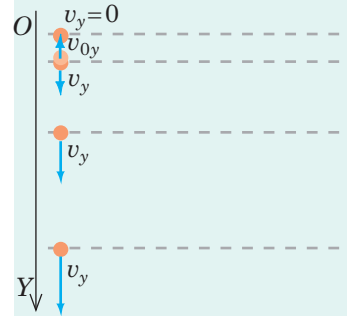
• Dacă din ecuația $x = x_0 + v_{0x}t$ vom aflat și vom înlocui rezultatul obținut în ecuația $y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y}{2} t^2$, vom obține ecuația traiectoriei mișcării corpului, care are forma funcției pătratice: $y(x) = Ax^2 + Bx + C$.

Astfel, traiectoria mișcării corpului, căruia i s-a comunicat o viteză inițială în apropierea suprafeței Pământului este parabolică (fig. 7.5).

Mișcare orizontală — viteza mișcării nu se schimbă



Mișcare verticală — mișcare uniform accelerată cu accelerația \vec{g}



Mișcare compusă

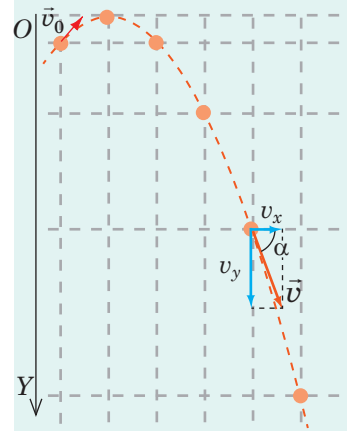


Fig. 7.4. Compunerea mișcărilor verticală și orizontală ale corpului. Poziția corpului este dată peste intervale de timp egale

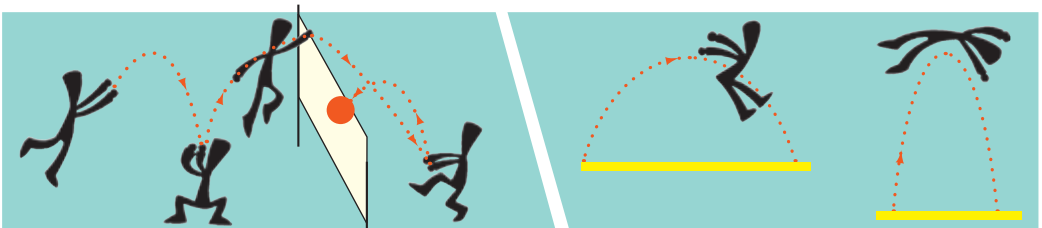


Fig. 7.5. Traiectoriile mișcării corpurilor aruncate orizontal sau sub un unghi față de orizont sunt parabolice, iar curbura lor depinde de modulul și direcția acestei viteze de mișcare a corpurilor

6 Mișcarea corpului aruncat orizontal

Problema 2. Motociclistul, mișcându-se în direcție orizontală pe un drum de munte cu viteza de 15 m/s, nu a frânat înainte de o cotitură, și motocicleta lui a căzut de la înălțimea de 20 m într-un cort de zăpadă. 1) Cât timp a căzut motocicleta? 2) Care eate distanța orizontală de zbor a motocicletei? Cum, după părerea voastră, se va schimba această distanță în situație reală? Rezistența aerului poate fi neglijată.

Se dă:

$$v_0 = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h = 20 \text{ m}$$

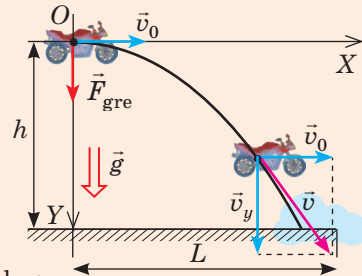
$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$t - ?$

$L - ?$

Rezolvare:

Vom alege sistemul de referință: vom lega originea coordonatelor cu locul unde motocicleta a ieșit de pe șosea, vom orienta axa OY vertical în jos, axa OX — în direcția vitezei inițiale a motocicletei (vezi des.).



În sistemul de referință ales:

mișcarea de-a lungul axei OX — uniformă:

$$v_x = v_{0x}; \quad x = x_0 + v_{0x}t \quad (1)$$

mișcarea de-a lungul axei OY — uniform accelerată:

$$v_y = v_{0y} + g_y t; \quad y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}. \quad (2)$$

Din desen vedem:

$$v_{0x} = v_0; \quad x_0 = 0; \quad x = L$$

$$v_{0y} = 0; \quad y_0 = 0; \quad y = h.$$

De aceea ecuațiile (1) și (2) obțin forma:

$$v_x = v_0; \quad L = v_0 t$$

$$v_y = gt; \quad h = \frac{gt^2}{2}$$

Atrageți atenția! Formulele evidențiate sunt adevărate pentru descrierea mișcării oricărui corp aruncat orizontal.

1) Vom determina timpul căderii motocicletei: $h = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$; $t = \sqrt{\frac{2 \cdot 20 \text{ m}}{10 \text{ m/s}^2}} = 2 \text{ s}$.

2) Vom calcula distanța zborului: $L = v_0 t$; $L = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2 \text{ s} = 30 \text{ m}$.

Să analizăm rezultatul. Evident, că în situație reală distanța zborului va fi mai mică, deoarece mișcarea este împiedicată de aer. Însă e clar, aceasta nu înseamnă, că căderea va fi nepericuloasă. Fiți atenți pe drumuri!

Răspuns: $t = 2 \text{ s}$; $L = 30 \text{ m}$.



Fig. 7.6. După direcția și distanța de zbor a mingii puteți stabili, ce viteză i-a imprimat mingii în timpul loviturii sau aruncării

7 Mișcarea corpului aruncat sub un unghi față de orizont

Citind despre recordurile vitezei de zbor a ghiulelelor sportive, o elevă a hotărât să afle, ce viteză îi imprimă ea unei mingi de fotbal. Pentru aceasta ea a lovit mingea, orientând-o sub un unghi de 45° față de orizont (vezi fig. 7.6). Mingea a căzut pe pământ la distanța de 40 m de la elevă. Efectuând calculele, eleva a aflat, că i-a imprimat mingii o viteză de 20 m/s, iar mingea a urcat la înălțimea celui de-al doilea etaj al școlii. Oare nu a greșit eleva?

? Faceți cunoștință cu rezolvarea unei probleme analoage în formă generală (vezi mai jos). Folosind formulele obținute, estimați calculele fetei, iar după lecții efectuați o experiență asemănătoare și aflați viteza, pe care o imprimați mingii.

Problema 3. Fotbalistul a lovit mingea, imprimându-i o viteză v_0 , orientată sub un unghi α față de orizont. Determinați distanța de zbor și înălțimea maximă a ridicării mingii.

Se dă:

v_0

α

g

L — ?

h_{\max} — ?

Rezolvare:

Vom efectua un desen explicativ (fig. 1): originea coordonatelor o vom lega de punctul de pe suprafața Pământului, unde mingea s-a desprins de gheata fotbalistului; axa OY — vom orienta vertical în sus; axa OX — în direcție orizontală..

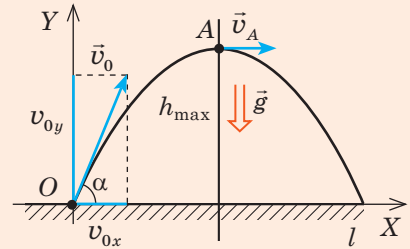


Fig. 1

În sistemul de referință ales:

mișcarea de-a lungul axei OX — uniformă:

$$v_x = v_{0x}, \quad x = x_0 + v_{0x}t, \quad (1)$$

unde $x_0 = 0$, $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$

mișcarea de-a lungul axei OY — uniform accelerată:

$$v_y = v_{0y} + g_y t, \quad y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}, \quad (2)$$

unde $y_0 = 0$, $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$, $g_y = -g$,

de aceea ecuațiile (1) și (2) obțin forma:

$$v_x = v_0 \cos \alpha, \quad x = v_0 \cos \alpha \cdot t \quad \left| \quad v_y = v_0 \sin \alpha - g t, \quad y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{g t^2}{2} \right.$$

Vom afla timpul t_1 a mișcării mingii până la punctul superior al traiectoriei (punctul A) din condiția: $v_y(t_1) = 0$:

$$v_0 \sin \alpha - g t_1 = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Coordonata a mingii în punctul A — aceasta-i înălțimea maximă de ridicare a mingii:

$$h_{\max} = y_A = v_0 \sin \alpha \cdot t_1 - \frac{g t_1^2}{2}.$$

După substituirea lui t_1 obținem formulele pentru determinarea înălțimii maxime de ridicare și a timpului total al mișcării mingii: $h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$; $t = 2t_1 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$.

Distanța de zbor L este egală cu coordonata x a corpului la sfârșitul mișcării ($x = L$):

$$x = v_0 \cos \alpha \cdot t = v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}. \text{ Deoarece } 2 \cos \alpha \cdot \sin \alpha = \sin 2\alpha, \text{ atunci } L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Atrageți atenția! Din ultima formulă rezultă:

- dacă corpul va fi aruncat sub un unghi α , iar apoi sub unghiul $90^\circ - \alpha$, atunci distanța de zbor nu se va schimba, adică corpul va cădea în același punct, mișcându-se după traiectorii diferite (fig. 2);
- distanța maximă de zbor a corpului este atinsă, dacă $\alpha = 45^\circ$ ($\sin 2\alpha = 1$).

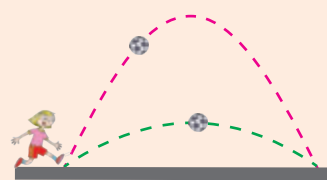


Fig. 2



Facem totalurile

- Căderea corpurilor într-un spațiu fără aer, adică căderea doar sub acțiunea forței de greutate se numește cădere liberă.
- În cazul căderii libere toate corpurile cad pe Pământ cu aceeași accelerație — accelerația căderii libere (\vec{g}). Vectorul accelerației căderii libere întotdeauna este orientat vertical în jos; după modul $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ($g \approx 10 \text{ m/s}^2$).
- Mișcarea corpului aruncat vertical în sus sau în jos — aceasta-i mișcare rectilinie uniformă cu o accelerație egală cu accelerația căderii libere: $\vec{a} = \vec{g}$.
- Traectoria mișcării corpului aruncat orizontal sau sub un unghi față de orizont — parabolică. O astfel de mișcare este studiată ca rezultatul compunerii a două mișcări simple: orizontală — uniformă de-a lungul axei OX și verticală — uniform accelerată (cu accelerația \vec{g}) de-a lungul axei OY. Totodată ecuațiile dependenței vitezei și coordonatei de timp au forma:

$$v_x = v_{0x}, \quad x = x_0 + v_{0x}t; \quad v_y = v_{0y} + g_y t, \quad y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}.$$



Întrebări de control

1. Care mișcare se numește cădere liberă? Care este caracterul acestei mișcări?
2. Cum este orientată accelerația căderii libere și cu ce ea este egală?
3. Scrieți în formă generală ecuația mișcării corpului sub acțiunea forței de greutate.
4. Ce formă vor avea ecuațiile mișcării, dacă corpul este aruncat vertical? orizontal? sub un unghi față de orizont?
5. Care este traectoria mișcării corpului, aruncat vertical? orizontal? sub un unghi față de orizont? Dați exemple.
6. Cum de determinat modulul și direcția vitezei de mișcare a corpului în orice punct al traectoriei?



Exercițiul nr. 7

Neglijăți rezistența aerului. Considerați, că $g = 10 \text{ m/s}^2$.

1. O bilă de metal a fost ridicată la înălțimea de 1,8 m deasupra podelei. La ce înălțime accelerația căderii libere a bilei va fi maximă: la înălțimea de 1,8 m; b) la înălțimea de 1 m; c) în momentul lovirii de podea? La ce înălțime dintre cele menționate viteza mișcării bilei va fi maximă? Determinați această înălțime.
2. O săgeata a fost lansată dintr-un arc vertical în sus, cu viteza de 10 m/s. Se știe, că peste 2 s ea deja cădea în jos cu aceeași viteză. Determinați înălțimea maximă de zbor, drumul și deplasarea săgeții în decursul acestor 2 s.
3. Jetul de apă, fiind orientat sub un unghi de 60° față de orizont a atins înălțimea de 15 m.
 - 1) Aflați: a) viteza de curgere a apei; b) timpul de zbor a porțiunilor din jet; c) distanța de zbor a particulelor jetului.
 - 2) Care va fi distanța de zbor a jetului, dacă el va fi orientat sub un unghi de 30° față de orizont?
 - 3) De ce jetul de apă se dilată?
4. Dintr-un un elicopter, care era situat la înălțimea de 45 m și se misca cu viteza de 10 m/s, a căzut un obiect mic și greu. Peste ce interval de timp obiectul va cădea pe pământ? Care va fi viteza de mișcare a obiectului în acest moment? Rezolvați problema pentru cazurile, când elicopterul: 1) se ridică în sus; 2) se lasă în jos; 3) se mișcă orizontal.

§ 8. MIȘCAREA UNIFORMĂ A PUNCTULUI MATERIAL PE CIRCUMFERINȚĂ



În antichitate luptătorii se foloseau de praștie — o armă simplă, dar foarte interesantă după principiul de acțiune pentru aruncarea pietrelor, bilelor, etc: într-o frânghie (sau o bucată de piele) se punea «ghiuleaua», se rotea frânghia după o traiectorie circulară și la un moment dat se slobozea un capăt — «ghiuleaua» se îndrepta spre țintă. Însă de ce piatra slobozită din praștie nu-și continuă mișcarea sa după circumferință, dar se comportă de parcă ar fi fost aruncată într-o anumită direcție cu viteză foarte mare? Despre aceasta și alte particularități ale mișcării pe circumferință veți afla din acest paragraf.

1 Care sunt particularitățile mișcării curbilinii

Mișcarea pe circumferință — aceasta-i o *mișcare curbilinie*, dar orice mișcare curbilinie e cu mult mai complicată decât cea rectilinie.

- În primul rând, în cazul mișcării curbilinii, variază cel puțin două coordonate ale corpului.

- În al doilea rând, permanent se schimbă direcția vectorului viteză momentană: acest vector coincide întotdeauna cu tangenta dusă la traiectoria mișcării corpului în punctul ce se studiază și este orientat în direcția mișcării corpului (fig. 8.1, 8.2).

- În al treilea rând, mișcarea curbilinie — aceasta totdeauna este o mișcare cu accelerație: chiar dacă modulul vitezei rămâne constant, direcția vitezei permanent se schimbă.

❓ Care poate fi traiectoria mișcării pietrei, pe care luptătorul o sloboade din praștie? În ce moment luptătorul ar trebui să elibereze capătul frânghiei, pentru ca piatra să zboare cât mai departe?

2 Ce este viteza liniară

Mărimea fizică scalară, ce caracterizează mișcarea curbilinie și este egală cu viteza medie de drum, măsurată într-un interval de timp infinit de mic se numește *viteza liniară a mișcării corpului*:

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t}, \text{ dacă } \Delta t \rightarrow 0$$

Deoarece pentru intervale foarte mici de timp modulul deplasării (Δs) se apropie de lungimea porțiunii de traiectorie (Δl) (vezi fig. 8.1), viteza liniară în punctul dat este egală cu modulul vitezei momentane.

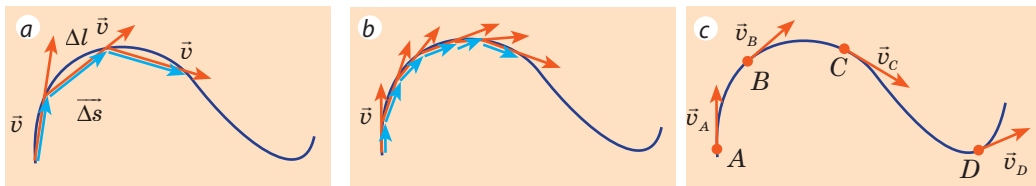


Fig. 8.1. Împărțind traiectoria mișcării corpului în porțiuni din ce în ce mai mici Δl , vedem, că vectorul vitezei se apropie din ce în ce mai mult de tangenta (a, b). În punctul dat, viteza momentană este orientată de-a lungul tangentei la traiectoria mișcării corpului (c)



Fig. 8.2. Vitezele de mișcare ale scânteilor de artificii, stropilor de sub roțile mașinii, piliturii de fier sunt orientate după tangenta la circumferință. Anume în această direcție particulele își continuă mișcarea sa după rupere

Anume viteza liniară noi o avem în vedere, când, de exemplu, caracterizăm mișcarea automobilului la o cotitură, când descriem mișcarea particulei în accelerator, când vorbim despre viteza de zbor a sateliților artificiali ai Pământului ș. a. m. d.

Cu timpul viteza liniară poate să rămână o mărime constantă, sau poate să se schimbe. În dependență de aceasta, în fizică se studiază *mișcarea curbilinie uniformă* (mișcarea cu viteză liniară constantă) și *mișcarea curbilinie neuniformă* (mișcarea cu viteză liniară variabilă).

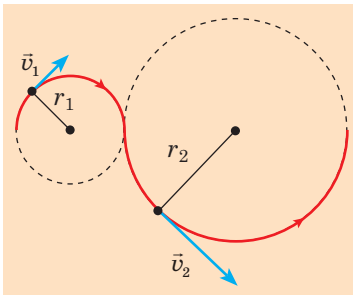


Fig. 8.3. În fiecare punct al traiectoriei circulare viteza mișcării este orientată de-a lungul tangentei la circumferință, care este perpendiculară pe raza circumferinței

În cazul unei mișcări curbilinie uniforme corpul în orice intervalele de timp egale parcurge drumuri egale, de aceea *viteza liniară a corpului poate fi determinată prin formula:*

$$v = \frac{l}{t},$$

unde l — drumul parcurs de corp; t — timpul mișcării.

A descrie mișcarea curbilinie e destul de dificil, deoarece sunt o mulțime infinită de forme diferite de traiectorii curbilinie. De aceea, practic orice traiectorie curbilinie poate fi reprezentată ca o succesiune de arce de circumferință de raze diferite, iar mișcarea curbilinie reprezentată ca o mișcare pe circumferință (fig. 8.3). Vom studia cel mai simplu fel de mișcare curbilinie — *mișcarea uniformă pe circumferință*.

3 Care mărimi fizice caracterizează mișcarea uniformă pe circumferință

Mișcarea uniformă pe circumferință a corpului — aceasta este o asemenea mișcare curbilinie, la care traiectoria mișcării corpului este o circumferință, iar viteza liniară nu se schimbă cu timpul.

Din cursul de fizică pentru clasa a 7-a voi știți, că mișcarea uniformă pe circumferință deseori este o mișcare periodică și, deci, este caracterizată de așa mărimi fizice ca *perioada* și *frecvența*.

Perioada de rotație T — aceasta-i mărimea fizică, care este egală cu intervalul de timp, în care corpul, efectuează o rotație completă: $T = \frac{t}{N}$ (N —

numărul de rotații complete efectuate de corp în intervalul de timp t). Unitatea de măsură a perioadei de rotație în SI — **secunda**: $[T] = 1 \text{ s}$.

Frecvența de rotație n — aceasta-i mărimea fizică, care numeric este egală cu cantitatea rotațiilor complete efectuate într-o unitate de timp: $n = \frac{N}{t}$. Uni-

tatea de măsură a frecvenței de rotație în SI — **rotație pe secundă** $[n] = 1 \frac{r}{s} = s^{-1} \left(\frac{r}{s}, s^{-1} \right)$.

Perioada și frecvența de rotație sunt *mărimi reciproc inverse*: $T = \frac{1}{n}$.

Cunoscând perioada de rotație și raza traiectoriei circulare se poate determina ușor **viteza liniară** v a mișcării uniforme a corpului pe circumferință. Într-adevăr, în timpul unei rotații complete ($t=T$) corpul parcurge distanța, care este egală cu lungimea circumferinței: $l=2\pi r$. Deoarece $v=l/t$, avem:

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (1)$$

În afară de viteza liniară pentru caracterizarea mișcării corpului pe circumferință deseori se folosește *viteza unghiulară*.

Viteza unghiulară — aceasta-i mărimea fizică, care numeric este egală cu unghiul de rotație a razei într-o unitate de timp:

$$\omega = \frac{\varphi}{t},$$

unde ω — viteza unghiulară; φ — unghiul de rotație a razei în intervalul de timp t (fig. 8.4).

Unitatea de măsură a vitezei unghiulare în SI — **radian pe secundă**:

$$[\omega] = 1 \frac{\text{rad}}{s} = 1 s^{-1} \left(\frac{\text{rad}}{s}, s^{-1} \right).$$

În timpul, ce este egal cu o perioadă ($t=T$), raza efectuează o rotație completă ($\varphi=2\pi$), de aceea viteza unghiulară poate fi calculată după formula:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

Din formulele (1) și (2) rezultă, că vitezele unghiulară și liniară sunt legate prin relația:

$$v = \omega r$$

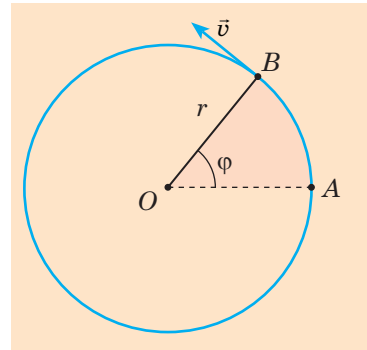


Fig. 8.4. Mișcarea uniformă a corpului pe circumferință: r — raza circumferinței; \vec{v} — vectorul vitezei momentane în punctul B ; φ — unghiul de rotație al razei

4 De ce accelerația în timpul mișcării uniforme a corpului pe circumferință se numește centripetă

Amintim, că orice mișcare curbilinie — aceasta totdeauna este o mișcare cu accelerație, deoarece direcția vitezei momentane permanent se schimbă.

Vom determina direcția accelerației în timpul mișcării uniforme a corpului pe circumferință. Din definiție $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ rezultă, că direcțiile vectorilor accelerației și variației vitezei coincid ($\vec{a} \uparrow \uparrow \Delta \vec{v}$). Deci, vom determina direcția vec-

Vom muta vectorul \vec{v} paralel cu el însuși astfel, încât el să iasă din punctul A, și vom afla diferența dintre vectori $(\vec{v} - \vec{v}_0)$ — vectorul variației vitezei ($\Delta\vec{v}$)

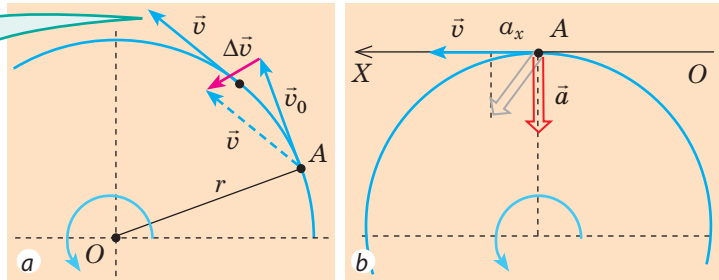


Fig. 8.5. Determinarea direcției accelerației pentru mișcarea uniform accelerată pe circumferință

torului variației vitezei $\Delta\vec{v}$ (fig. 8.5, a). Vedem, că $\Delta\vec{v}$ este orientat spre centrul circumferinței; vectorul accelerației \vec{a} de asemenea este orientat spre centrul circumferinței. Vom demonstra, că vectorul \vec{a} este orientat nemijlocit spre centrul circumferinței, adică de-a lungul razei. Deoarece viteza momentană \vec{v} a mișcării corpului este orientată după tangentă, iar tangenta este perpendiculară pe raza r , atunci trebuie de demonstrat, că $\vec{a} \perp \vec{v}$.

Vom efectua demonstrarea prin metoda contradicției. Considerăm, că vectorul accelerației \vec{a} nu este perpendicular pe vectorul vitezei momentane \vec{v} (săgeata gri în fig. 8.5, b). Însă în acest caz viteza mișcării corpului se va mări, dacă $a_x > 0$, și se va micșora, dacă $a_x < 0$, — deci este vorba despre mișcarea neuniformă, pe când noi examinăm mișcarea uniformă. Astfel, presupunerea noastră a fost greșită. Deci $\vec{a} \perp \vec{v}$.

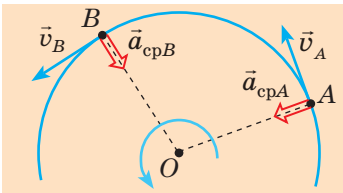


Fig. 8.6. În cazul mișcării uniforme pe circumferință accelerația corpului în punctul dat totdeauna este orientată spre centrul circumferinței (este perpendiculară pe viteza momentană)

În cazul mișcării uniforme a corpului pe circumferință:

- vectorul accelerației este orientat spre centrul circumferinței — anume din această cauză accelerația corpului în timpul mișcării lui pe circumferință se numește accelerație centripetă \vec{a}_{cp} (fig. 8.6);
- modulul accelerației centripete poate fi calculat după formula:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{r}^* ; \quad a_{cp} = \omega^2 r ,$$

unde v — viteza liniară; r — raza circumferinței; ω — viteza unghiulară.



Facem totalurile

- În cazul mișcării curbilinii vectorul vitezei momentane coincide cu tangenta dusă la traiectoria mișcării corpului, direcția vitezei momentane permanent se schimbă, de aceea mișcarea curbilinie — aceasta întodeauna este o mișcare cu accelerație. Mișcarea curbilinie, la care traiectoria mișcării corpului este o circumferință, iar viteza liniară nu se schimbă cu timpul se numește mișcare uniformă pe circumferință.

* Încercați să obțineți această formulă de sinestătător sau folosiți-vă de surse suplimentare de informații.

- În cazul mișcării uniforme a corpului pe circumferință:
 - viteza momentană este perpendiculară pe raza circumferinței, după modul este egală cu viteza liniară și se calculează după formulele: $v = \frac{l}{t}$; $v = \frac{2\pi r}{T}$, unde T — perioada de rotație; r — raza circumferinței;
 - viteza unghiulară numeric este egală cu unghiul de rotație al razei într-o unitate de timp t , se calculează după formulele $\omega = \frac{\varphi}{t}$; $\omega = \frac{2\pi}{T}$ și este legată de viteza liniară v prin relația $v = \omega r$;
 - accelerația este centripetă (\vec{a}_{cp}), adică este orientată spre centrul circumferinței; modulul ei poate fi calculat după formulele: $a_{cp} = \frac{v^2}{r}$; $a_{cp} = \omega^2 r$.



Întrebări de control

1. Poate oare un corp să se miște pe o traiectorie curbilinie fără accelerație? Demonstrați afirmația voastră. **2.** Cum este orientat vectorul vitezei momentane în cazul mișcării curbilinii? **3.** Ce mărimi fizice descriu mișcarea corpului pe circumferință? Dați caracteristicile lor. **4.** Prin ce relație sunt legate vitezele unghiulară și liniară ale mișcării? Deduceți această relație. **5.** Demonstrați, ca în cazul mișcării uniforme pe circumferință accelerația este orientată spre centrul acestei circumferințe. **6.** După ce formule se determină accelerația centripetă?



Exercițiul nr. 8

1. De ce se instalează paveze deasupra roților bicicletei?
2. În figur 1 este reprezentată traiectoria automobilului, care se mișcă cu viteză constantă. În care dintre punctele marcate ale traiectoriei accelerația centripetă este cea mai mare? cea mai mică?

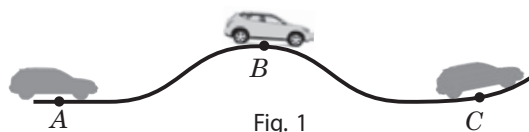


Fig. 1

3. Automobilul se mișcă cu viteza de 36 km/h pe un pod convex cu raza de curbură de 30 m. Cu ce este egală și cum este orientată accelerația mișcării automobilului?
4. Un băiat și o fetiță se mișcă uniform pe cercuri de diferite raze: $r_2 = 1,5r_1$ (fig. 2). De câte ori viteza mișcării băiatului ar trebui să fie mai mare decât viteza fetei, pentru ca ei tot timpul să rămână pe aceeași rază? Cum se vor raporta accelerațiile mișcării lor?
5. Un punct de pe obada roții bicicletei se mișcă cu accelerația de 100 m/s^2 , raza roții — 0,4 m. Cu ce viteză se mișcă bicicleta? Câte rotații pe minută efectuează roata? Considerați, că $\pi^2 = 10$.
6. Minutarul ceasornicului este de trei ori mai lung decât secundarul. De câte ori este mai mare accelerația mișcării secundarului?
7. Cu ce viteză trebuie să zboare un avion deasupra ecuatorului Pământului, ca pentru oamenii din avion Soarele să nu-și schimbe poziția sa pe cer?

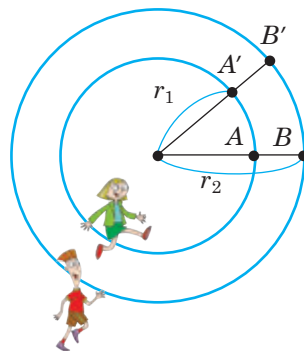


Fig. 2



Problemă experimentală

Determinați accelerația centripetă, vitezele liniară și unghiulară ale mișcării unui punct de pe discul unei microunde (mașinuțe pentru copii, mixerului etc.). Ce măsurători voi trebuie să faceți, pentru a îndeplini această însărcinare?



LUCRARE DE LABORATOR NR. 1

Tema. Determinarea accelerației mișcării corpului în timpul mișcării rectilinii uniform accelerate.

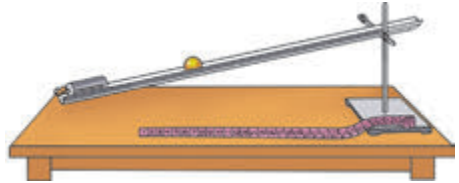
Scopul: de a determina accelerația mișcării bilei, care se rostogolește într-un uluc înclinat.

Utilajul: un uluc de fier sau lemn, bilă, stativ cu mufă și clește, cronometru, bandă de măsurat, un cilindru de metal sau alt corp pentru oprirea mișcării bilei prin uluc.

INDICAȚII LA LUCRARE

II Pregătirea pentru experiment

1. Fixați ulucul în mufa stativului. Coborâți mufa, așezând ulucul sub un unghi nu prea mare față de orizont (vezi desenul).
2. În capătul de jos al ulucului așezați cilindrul metalic.
3. La capătul de sus faceți un semn.



▶ Experimentul

Rezultatele măsurătorilor introduceți-le imediat în tabel.

1. Măsurați distanța s de la semn până la cilindru (această distanță este egală cu modulul deplasării bilei de-a lungul ulucului).
2. Așezați bila în dreptul semnului și măsurați timpul t_1 , în care bila se rostogolește (până la ciocnirea ei de cilindru).
3. Repetați experiența de trei ori.

▶▶ Prelucrarea datelor experimentului

1. Calculați timpul mediu de mișcare a bilei: $t_{\text{med}} = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) / 4$.
2. Calculați valoarea medie a accelerației bilei: $a_{\text{med}} = 2s / t_{\text{med}}^2$.
3. Calculați erorile absolută și relativă ale măsurării (vezi p. 4, 5 § 2):
 - 1) timpului: $\Delta t_{\text{med}} = \frac{|t_1 - t_{\text{med}}| + |t_2 - t_{\text{med}}| + |t_3 - t_{\text{med}}| + |t_4 - t_{\text{med}}|}{4}$; $\varepsilon_t = \Delta t_{\text{med}} / t_{\text{med}}$;
 - 2) modulului deplasării: $\Delta s = \Delta s_{\text{ap}} + \Delta s_{\text{aleat}}$; $\varepsilon_s = \Delta s / s$;
 - 3) modulului accelerației: $\varepsilon_a = \varepsilon_s + 2\varepsilon_t$; $\Delta a = \varepsilon_a \cdot a_{\text{med}}$.
4. Rotunjiți rezultatele și notați rezultatul măsurării accelerației.

Numărul experienței	Deplasarea bilei s , m	Timpul mișcării bilei		Accelerația bilei a_{med} , m/s^2	Eroarea măsurării accelerației		Rezultatul măsurătorii accelerației $a = a_{\text{med}} \pm \Delta a$, m/s^2
		t_i , s	t_{med} , s		relativă ε_a , %	absolută Δa , m/s^2	

□ Analiza experimentului și a rezultatelor lui

Analizați experimentul și rezultatele lui. Trageți concluzia, în care să menționați: 1) mărimea fizică, pe care ați măsurat-o; 2) rezultatul măsurătorii; 3) cauzele erorii; 4) măsurarea cărei mărimi după părerea voastră dă cea mai mare eroare.

+ Însărcinare creativă

Gândiți-vă, de ce factori depinde accelerația, cu care corpul se rostogolește pe planul înclinat. Scrieți planul efectuării experimentului, efectuați-l și faceți concluzia privind corectitudinea presupunerii voastre.

**LUCRARE DE LABORATOR NR. 2**

Tema: Studiarea mișcării corpului pe circumferință.

Scopul: de a determina caracteristicile mișcării uniforme a bilei pe circumferință: perioada de rotație, frecvența de rotație, viteza liniară, accelerația centripetă și modulul rezultantei forțelor, care îi imprimă bilei accelerație.

Utilajul: un stativ cu mufă și vergea, un fir de ață cu lungimea de 50–60 cm, o foaie de hârtie, compas, balanță cu greutateți, cronometru, o bilă metalică, riglă, dinamometru.

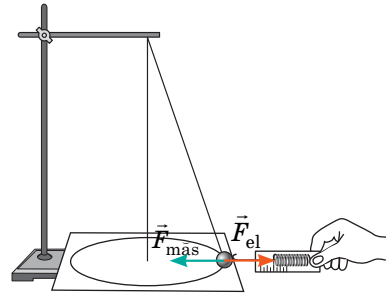
INDICAȚII LA LUCRARE**Pregătirea pentru experiment**

Desenați pe vatman circumferințe concentrice cu razele de 15 și 20 cm.

**Experimentul**

Rezultatele măsurătorilor introduceți-le imediat în tabel.

1. Măsurați masa bilei.
2. Montați instalația (vezi des.).
3. Rotiți pendulul astfel, încât traiectoria mișcării bilei să repete cât mai exact una dintre circumferințele desenate pe vatman. Măsurați intervalul de timp t , în care bila va efectua 5 rotații.
4. Măsurați modulul rezultantei $\vec{F}_{\text{măs}}$ echi — librând-o cu forța elastică \vec{F}_{el} a dinamometrului (vezi des.).
5. Efectuați experimentul analogic pentru cealaltă circumferință.

**Prelucrarea datelor experimentului**

1. Determinați perioada de rotație T , frecvența de rotație n , viteza liniară v a bilei: $T = \frac{t}{N}$; $n = \frac{N}{t}$; $v = \frac{2\pi R}{T}$.
2. Determinați modulul accelerației centripete a bilei: $a_{\text{cp}} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$.
3. Determinați modulul rezultantei forțelor \vec{F} , care-i imprimă bilei în mișcare accelerație centripetă: $F = ma_{\text{cp}}$.
4. Comparați valorile măsurată și calculată ale rezultantei forțelor, determinați eroarea relativă a verificării experimentale a egalității $F = F_{\text{măs}}$ (vezi p. 5 § 2).

Masa bilei m , kg	Raza circumferinței R , m	Timpul mișcării t , s	Numărul de rotații N	Rezultanta $F_{\text{măs}}$, N	Perioada de rotație T , s	Frecvența de rotație n , s ⁻¹	Viteza liniară v , m/s	Accelerația centripetă a_{cp} , m/s ²	Rezultanta F , N

**Analiza rezultatelor experimentului**

Analizați experimentul și rezultatele lui. Formulați concluzia, în care să indicați: 1) mărimile fizice, pe care le-ați studiat; 2) precizia efectuării experimentului și cauzele erorii.

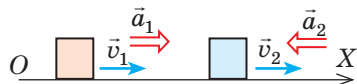
FACEM TOTALURILE CAPITOLULUI I «MECANICA».

Partea I. Cinematica

1. Vați amintiți despre mișcarea mecanică și *principalele mărimi fizice, care caracterizează mișcările rectilinie uniformă și rectilinie uniform accelerată.*

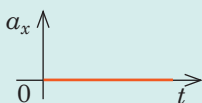
MIȘCAREA RECTILINIE

Viteza și accelerația sunt orientate *de-a lungul* traiectoriei de mișcare a corpului



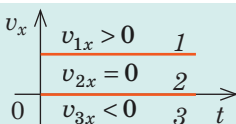
uniformă

Accelerația mișcării corpului: $a=0$



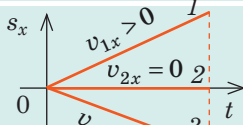
Proiecția vitezei de mișcare a corpului:

$$v_x = \frac{s_x}{t}$$

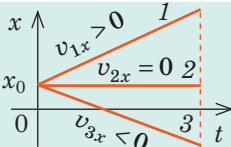


Proiecția deplasării corpului:

$$s_x = v_x t$$



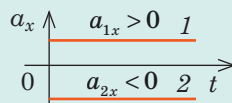
Coordonata corpului: $x = x_0 + v_x t$



uniform accelerată

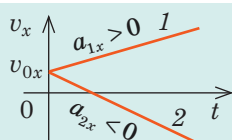
Proiecția accelerației mișcării corpului:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}$$



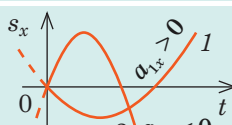
Proiecția vitezei de mișcare a corpului:

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$



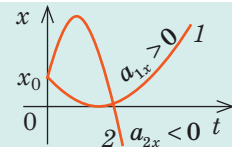
Proiecția deplasării corpului:

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$



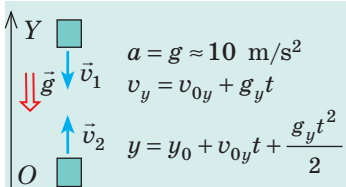
Coordonata corpului:

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

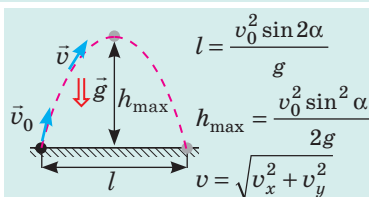
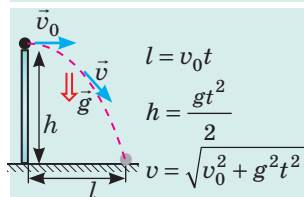


2. Ați aprofundat cunoștințele voastre despre *mișcarea corpului sub acțiunea forței de greutate.*

Mișcarea corpului aruncat vertical



Mișcarea corpului aruncat orizontal sau sub un unghi α față de orizont



3. Ați studiat *mișcarea uniformă a corpului pe circumferință.*

Mișcarea uniformă pe circumferință

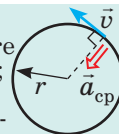
Perioada de rotație: $T = t/N$; $[T] = 1$ s (secundă)

Viteza unghiulară: $\omega = 2\pi/T$; $[\omega] = 1$ rad/s (s^{-1})

Viteza liniară: $v = 2\pi r/T = \omega r$; $[v] = 1$ m/s

Accelerația centripetă: $a_{cp} = v^2/r = \omega^2 r$; $[a_{cp}] = 1$ m/s²

Accelerația centripetă \vec{a}_{cp} este orientată spre centrul circumferinței; viteza \vec{v} — după tangenta la circumferință



PROBLEME PENTRU AUTOVERIFICARE LA CAPITOLUL I. «MECANICA». Partea I. Cinematica

Problemele 1–4 conțin numai un răspuns corect.

- (1 bal) Eleva poate fi considerată drept punct material, când se măsoară: înălțimea ei; b) masa; c) presiunea, pe care ea o exercită asupra podelei; d) distanța, pe care ea o parcurge.
- (1 bal) Corpul, aruncat sub un unghi față de orizont se mișcă numai sub acțiunea forței de greutate. Accelerația mișcării corpului: a) este maximă în momentul începutului mișcării; b) este aceeași în orice moment de timp; c) este minimă în punctul superior al traiectoriei; d) crește în timpul urcării.
- (1 bal) Un automobil se mișcă rectiliniu pe șosea. Care porțiune a graficului (fig. 1) corespunde mișcării cu accelerație maximă după modul, dacă axa OX este orientată de-a lungul șoselei?
a) AB ; b) BC ; c) CD ; d) DE .

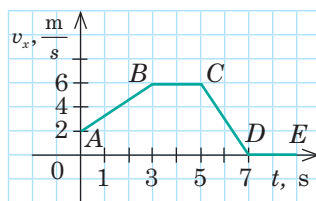


Fig 1

- (2 baluri) Un copil se plimbă cu caruselul, mișcându-se după o circumferință cu raza de 5 m. Care vor fi drumul și deplasarea s a copilului, când discul caruselului efectuează o rotație completă?
a) $l=0, s=0$; b) $l=31,4 \text{ m}, s=0$; c) $l=0, s=5 \text{ m}$; d) $l=31,4 \text{ m}, s=5 \text{ m}$.
- (2 baluri) Un tren de pasageri cu lungimea de 280 m se mișcă cu viteza de 72 km/oră. Pe linia vecină în aceeași direcție se mișcă cu viteza de 36 km/oră un tren de marfă cu lungimea de 700 m. În ce interval de timp trenul de pasageri va trece de-a lungul trenului de marfă?
- (3 baluri) După graficul dependenței proiecției vitezei automobilului (vezi fig. 1) determinați deplasarea și viteza medie de drum a mișcării automobilului în primele 5 s ale observării.
- (3 baluri) Mișcarea corpului este dată de ecuația $x = 0,5 + 5t - 2t^2$ (m). Determinați deplasarea corpului în primele 2 s ale mișcării; viteza mișcării corpului peste 3 s. Considerați, că în sistemul de referință ales corpul s-a mișcat de-a lungul axei OX .

- (3 baluri) Din punctul A, situat la înălțimea de 2,75 m deasupra suprafeței pământului, a fost aruncată vertical în sus o minge cu viteza de 5 m/s. Când mingea a tins punctul extrem de sus, din punctul A cu aceeași viteză a fost aruncată în sus a doua minge. Determinați înălțimea, la care se vor întâlni mingile.

- (4 baluri) Cascadorul sare de pe un acoperiș în altul (acoperișurile sunt situate la aceeași înălțime). Care ar trebuie să fie cea mai mică viteză a mișcării cascadorului, dacă distanța dintre acoperișuri constituie 4,9 m? Ce înălțime maximă va atinge în acest caz cascadorul?
- (4 baluri) Un corp se mișcă de-a lungul axei OX cu viteza inițială de 4 m/s. Folosind graficul (fig. 2): 1) scrieți ecuația coordonatei; 2) construiți graficul dependenței $v_x(t)$.

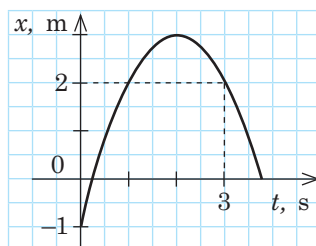


Fig. 2

Confrunțați răspunsurile voastre cu cele indicate la sfârșitul manualului. Notați însărcinările, pe care le-ați efectuat corect și calculați suma balurilor. Împărțiți această sumă la doi. Numărul obținut va corespunde nivelului reușitei voastre la învățatură.



Însărcinările de antrenare cu verificare computațională le veți găsi pe resursul electronic de învățământ «Învățământul interactiv».

PARTEA II. DINAMICA ȘI LEGILE CONSERVĂRII

§ 9. SISTEME DE REFERINȚĂ INERȚIALE. LEGEA ÎNTÂI A LUI NEWTON



Galileo Galilei
(1564–1642)



De ce bila își mărește viteza? De ce se accelerează? De ce se oprește? Cum se va mișca bila, dacă unghiul de înclinare va fi micșorat până la zero? La sfârșitul sec. XVI *Galileo Galilei*, studiind mișcarea diferitelor corpuri pe planul înclinat, a efectuat o experiență imaginară și a ajuns la concluzia despre existența fenomenului inerției (de la cuv. latin *inertia* — inactivitate).

1 Ne amintim legea inerției

Ce este «natural» pentru corp — mișcarea sau repausul? Filozoful Greciei Antice Aristotel afirma, că repausul, doar pentru ca corpul să se miște, trebuie să se acționeze asupra lui într-un anumit fel, dar dacă acțiunea va înceta, corpul se va opri. Se pare, că experiența noastră de zi cu zi confirmă această părere. Însă oare într-adevăr așa e?

? De ce se vor opri corpurile (fig 9.1) dacă nu vor fi împinse, trase etc.? Se vor opri oare corpurile, dacă va dispărea rezistența asupra mișcării lor?

Sperăm, că ați răspuns corect la întrebări și ați ajuns la părerea, pe care la rândul său a afirmat-o și demonstrat-o cu ajutorul experimentului imaginar G. Galilei: «Viteza imprimată corpului se va păstra, dacă sunt înlăturate cauzele exterioare ale accelerării sau încetinirii mișcării». Prin urmare, «natural» pentru corp este nu numai starea de repaus, ci și de mișcare rectilinie uniformă.

Legea inerției lui Galilei: corpul se mișcă rectiliniu uniform sau se află în stare de repaus, dacă asupra lui nu acționează alte corpuri sau acțiunile altor corpuri sunt compensate.

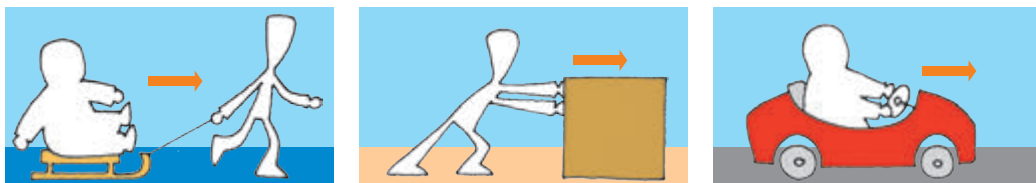


Fig. 9.1. Pentru însărcinarea din § 9

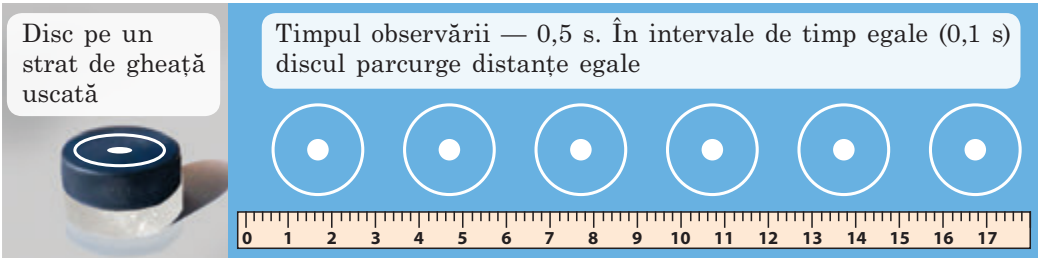


Fig. 9.1. Cu cât este mai mică frecarea (rezistența opusă mișcării corpului), cu atât mai mult mișcarea orizontală se apropie de mișcare după inerție

Corpul, asupra căruia nu acționează alte corpuri și câmpuri se numește *izolat* (liber), iar *mișcarea corpului izolat — mișcare după inerție*. În realitate, practic este imposibil să se creeze condiții, când asupra corpului nu acționează nimic, de aceea *mișcarea după inerție se numește mișcare rectilinie uniformă în lipsa sau în cazul compensării acțiunilor altor corpuri și câmpuri asupra corpului* (fig. 9.2).

2 Ce postulează legea întâi a lui Newton

Fenomenul păstrării de către corp a stării de repaus sau de mișcare rectilinie uniformă în condiția, când asupra lui nu acționează alte corpuri și câmpuri sau acțiunile lor sunt compensate, se numește fenomenul inerției.

În același timp, starea de mișcare și starea de repaus depind de alegerea *sistemului de referință* (SR). Dar oare în orice SR se observă fenomenul inerției? Din cursul de fizică pentru clasa a 9-a știi bine, că nu în orice.

Sistemul de referință, în raport cu care se observă fenomenul inerției, se numește sistem de referință inerțial.

Imaginați-vă, că ședeți într-un cupeu de tren, care își mărește viteza, frânează, face o cotitură etc. Bineînțeles, că SR legat de tren, va fi inerțial numai atunci, când trenul se mișcă rectiliniu uniform; în toate celelalte cazuri el va fi neinerțial, deoarece în raport cu el fenomenul inerției nu se observă (fig. 9.3).

? Pe care desen (vezi fig. 9.3, a–c) se arată, că trenul își mărește viteza? frânează? se mișcă rectiliniu uniform?

Deseori ca inerțial se alege SR strâns legat de un punct de pe suprafața Pământului. Dar acest sistem poate fi considerat inerțial doar convențional,

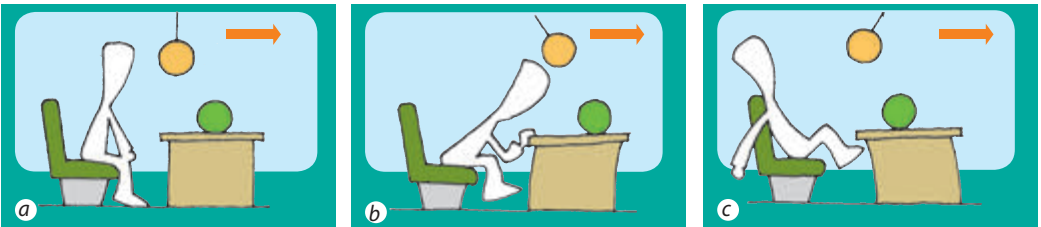


Fig. 9.3. SR legat de tren va fi inerțial numai atunci, când trenul se află în stare de repaus sau se mișcă rectiliniu uniform în raport cu Pământul (a); în toate celelalte cazuri acest SR este neinerțial (b, c)

Dacă corpul își păstrează starea de repaus sau de mișcare rectilinie uniformă în raport cu, de exemplu, Pământul, atunci și în raport cu SR, care se mișcă în raport cu Pământul cu viteză constantă, corpul de asemenea își va păstra starea de repaus sau se va mișca rectiliniu uniform.

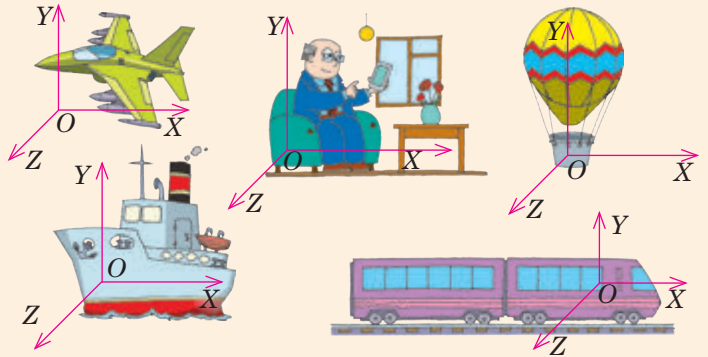


Fig. 9.4. Orice SR (legat de avion, tren etc), dacă el se mișcă în raport cu SR inerțial (aici — este legat de casă) rectiliniu uniform de asemenea este inerțial

deoarece Pământul se rotește în jurul axei sale. Pentru măsurători mai exacte se folosește SR legat de Soare și stelele îndepărtate.

Dacă noi cunoaștem cel puțin un SR inerțial (de exemplu, SR legat de o casă în fig. 9.4), atunci putem găsi multe altele (vezi fig. 9.4).

Legea inerției a lui G. Galilei a devenit primul pas în stabilirea legilor fundamentale ale mecanicii clasice. Formulând legile fundamentale ale mișcării corpurilor, I. Newton a numit această lege prima lege a mișcării. În fizica modernă **legea întâi a mecanicii lui Newton** se formulează astfel:

Există astfel de sisteme de referință, în raport cu care corpul își păstrează starea de repaus sau mișcare rectilinie uniformă, dacă asupra lui nu acționează nici o forță sau dacă aceste forțe se compensează.

În așa o formulare legea întâi a lui Newton:

- postulează existența SR inerțiale (afirmă că ele există);
- permite să se aleagă din toate SR existente SR inerțiale;
- conține legea inerției (condițiile de mișcare rectilinie uniformă a corpului).



Fig. 9.5. Prin nici o experiență mecanică nu se poate constata, se mișcă vagonul rectiliniu uniform sau se află în stare de repaus. Pasagerul și pasagera pot stabili aceasta doar, dacă se uită pe geam

3 Principiul relativității a lui Galilei

Studiind mișcarea corpurilor în diferite sisteme de referință inerțiale, G. Galilei a ajuns la concluzia, care se numește **principiul relativității lui Galilei**:

În toate sistemele de referință decurgerea fenomenelor și proceselor mecanice are loc la fel pentru aceleași condiții inițiale (fig. 9.5).

Galilei scria: «Dacă noi, stând în camera unei nave, vom efectua orice experiențe, atunci nici înseși experiențele. nici rezultatele lor nu se vor deosebi de cele, care s-ar fi petrecut pe mal. Și doar urcând pe punte, vom vedea: se dovedește, că nava noastră se mișcă rectiliniu uniform ...».



Facem totalurile

- Лега інертїей: корпуй се мїшцїа рецїлїнїу унїформ сау се афлїа їн старе де репаус, дачїа асуфра луй ну ацїонеазїа алте корпурї сау ацїунїле алтор корпурї сунт компенсате.
- Лега інтїа а луй Ньютон: ехїстїа астфел де сїстеме де реферїнță, їн рапорт ку каре корпуй їшї пїастрезїа стареа де репаус сау мїшцаре рецїлїнїе унїформїа, дачїа асуфра луй ну ацїонеазїа нїцї о форță сау дачїа ацесте форțe се компенсеазїа. Астфел де SR се нумесц інертїале.
- Са інертїале де обїцей се фолосесц SR легае де Пїамїнт. Орїце SR, каре се мїшцїа їн рапорт ку SR інертїал рецїлїнїу унїформ де асемenea есте інертїал. Ѓн тоате SR інертїале децургереа феноменелор șї процеселор мецанїке аре лок ла фел пентру ацелеаșї кондїтїї їнїтїале.



Ѓнтребїри де конترول

1. Ѓн це кондїтїї корпуй їшї пїастрезїа вїтеза мїшцїрїї сале? Даїї ехемпле.
2. Формулаїї лега інертїей.
3. Каре SR се нумесц інертїале? неїнертїале? Даїї ехемпле.
4. Формулаїї лега інтїа а луй Ньютон. Це афїрмїа еа?
5. Есте оаре посїбїл са, афлїнду-не їнтр-ун SR інертїал, сїа афлїам, ку аїудорул ехперїенțелор мецанїке, дачїа ацест сїстем се мїшцїа сау се афлїа їн старе де репаус?



Ехерцїїул нр. 9

1. Даїї ехемпле де корпурї, каре се афлїа їн старе де репаус їн рапорт ку Пїамїнтул. Це форțe ацїонеазїа асуфра ацестор корпурї? Це путеїї спуне despre ацесте форțe?
2. Каре SR дїн целе репрезентате їн **фїг. 1** с-ар путеа сїа фїе інертїале? Каре SR сїгур сунт неїнертїале? Аргументаїї-вїа рїспунсул.

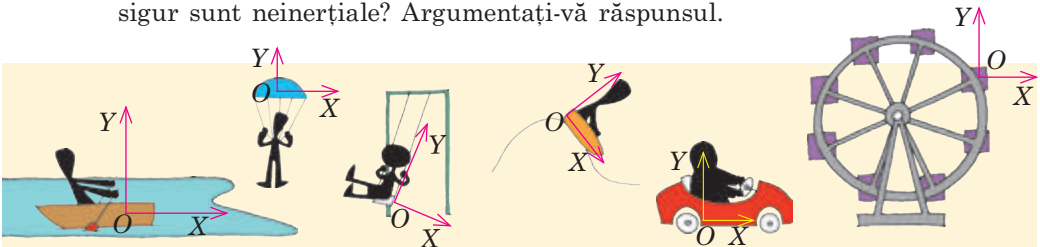


Fig. 1

3. Де ла вїрфул уней стїнцїе абрупте ку їнїлїтеа де 20 м, с-а рупт ун фрагмент. Цїдереа фрагментулїе есте urmїрїтїа де цїтре о турїстїа, каре стїа пе стїнцїа șї ун пасажер ал навей, каре се мїшцїа ку вїтеза де 15 м/с. Пентру SR1, лега де турїстїа, șї пентру SR2 лега де пасажерул навей, дертїнїаїї деplasarea șї тїмпул цїдереї фрагментулїе, аццелераїїа șї вїтеза мїшцїрїї луй їн моментул цїдереї.
4. Фолосїїї-вїа де сурсе суплїментаре де їнформаїїї șї афлаїїї, каре органе де сїмțїл їнформезїа їн cea маї маре парте пе ом despre ацееа, цїа ел се афлїа їнтр-ун SR неїнертїал.



5. Ѓн **фїг. 2** сунт репрезентате корпурї șї форțele, каре ацїонеазїа асуфра лор (1 пї-трїаțел — 2 N). Афлаїїї дїрецїїа șї модулул резултантеї форțелор, каре ацїонеазїа асуфра фїецїрїу корп.

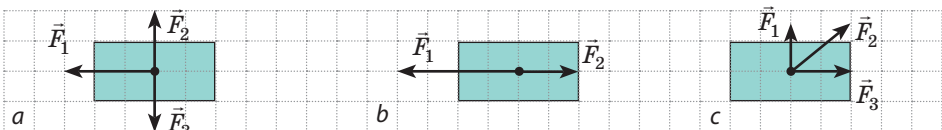
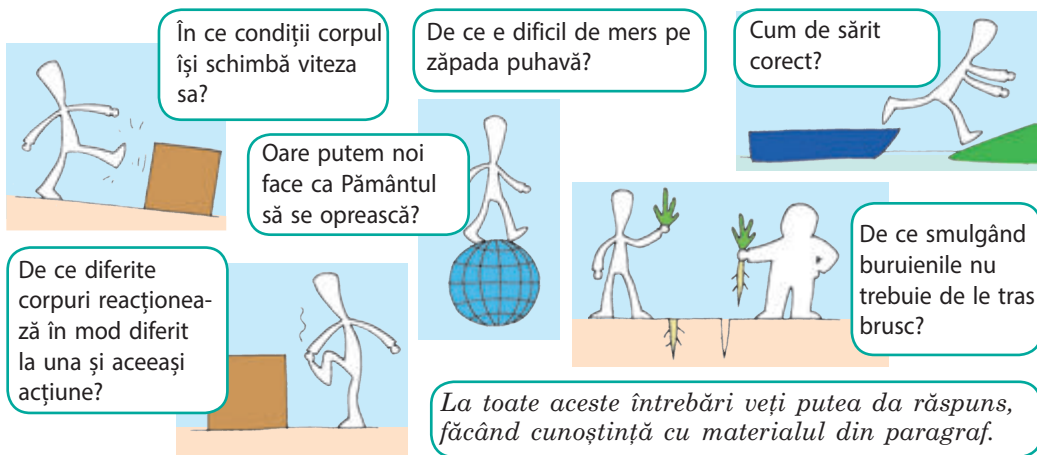


Fig. 2

§ 10. FORȚA. MASA. LEGILE A DOUA ȘI A TREIA A LUI NEWTON



1 Ne amintim forța

Imaginați-vă: luându-vă avânt cu o bicicletă sportivă voi ați încetat să rotiți pedalele. La urma urmei bicicleta neapărat se va opri — viteza mișcării ei se va micșora treptat până la zero. Dar iată timpul opririi bicicletei și deci și accelerația ei depind esențial de aceea, apăsați voi oare totodată pe frână. Adică unul și același corp în rezultatul *diferitei acțiuni (interacțiuni) obține o accelerație diferită*. În urma acțiunii diferite corpul poate la fel în mod diferit să-și schimbe forma și dimensiunile — să se deformeze.

Măsura cantitativă a oricărei interacțiuni este forța.

Forța \vec{F} — aceasta-i mărimea fizică vectorială, care este măsura interacțiunii corpurilor, în rezultatul căreia corpul obține accelerație sau se deformează.

Unitatea de măsură a forței în SI — newton.

$$[F] = 1 \text{ N (N)}.$$

1 N este egal cu forța, care, acționând asupra corpului cu masa de 1 kg îi imprimă accelerația de 1 m/s².

În fizică de asemenea se numește forță însăși acțiunea unui corp asupra altuia. De exemplu, se poate spune: asupra mingii acționează forța elastică, — cu toate că în realitate asupra mingii acționează mâinile jucătorului de volei, acțiunea cărora este caracterizată de forța elastică.

Rezultatul acțiunii forței \vec{F} depinde de modulul acestei forțe F , direcția ei și punctul de aplicare (dacă corpul nu este punct material) (fig. 10.1).

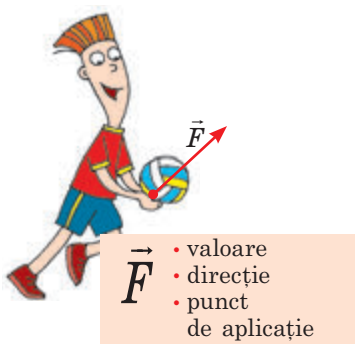


Fig. 10.1. Dacă, jucând volei loviți mingea, atunci puteți accelera mișcarea ei, opri, schimba direcția sau răsuci — aceasta depinde de direcția, punctul de aplicație și forța loviturii

? Dați câteva exemple simple (mișcare, sport, gătitul etc.), când trebuie să vă gândiți, ce forță (mai mare sau mai mică) trebuie să aplicați și unde să o îndreptați.

2 De ce corpurile reacționează în mod diferit la una și aceeași acțiune

Variația vitezei de mișcare a corpului depinde nu numai de forța, care acționează asupra corpului: dacă vom aplica asupra mingi de tenis și greutatea pentru aruncare aceeași forță, atunci viteza de mișcare a greutății se va schimba mai puțin sau pentru aceeași variație a vitezei va avea nevoie de mai mult timp. Adică *diferitor corpuri le este propriu să reacționeze în mod diferit la una și aceeași acțiune.*

Proprietatea corpului, care constă în faptul, că pentru variația vitezei de mișcare a corpului sub acțiunea forței e nevoie de un anumit timp, se numește **inerție**.

Cu cât corpul este mai inert, cu atât mai mică accelerație obține el în urma aceleiași acțiuni. În exemplul de mai sus, nucleul este mai inert decât mingea, deoarece în urma aceleiași acțiuni el își schimbă viteza mișcării sale mai lent decât mingea. Proprietățile inerte ale corpului sunt caracterizate de *masa inertă a corpului*.

Orice corp are de asemenea proprietatea de a interacționa gravitațional cu alte corpuri. Această proprietate este caracterizată de *masa gravitațională a corpului*. *Masă inertă a corpului este egală cu masa lui gravitațională*, de aceea în continuare vom vorbi simplu despre *masa corpului*.

Masa m — mărimea fizică, care este măsura inerției și măsura gravitației corpului.

Unitatea de măsură a masei în SI — kilogramul: $[m]=1$ kg (kg).

A măsura masa corpului înseamnă a o compara cu masa etalonului, adică cu masa corpului, masa căruia e acceptată drept unitate. Una din cele mai răspândite metode de măsurare directă a masei corpului — cântărirea (masa — măsura gravitației, de aceea corpurile, care au mase egale, sunt atrase spre Pământ la fel, și deci la fel apasă asupra suportului).

Cântărirea — una dintre cele mai comode metode de măsurare a masei, dar neuniversală. Cum, de exemplu, de măsurat masa moleculei sau masa Lunii, doar aceste corpuri nu pot fi puse pe cântar? În așa cazuri se folosește faptul, că masa — aceasta-i măsura inerției. Dacă asupra a două corpuri cu masele m_1 și m_2 acționează forțe la fel, atunci *masele acestor corpuri pot fi comparate, dacă se va determina accelerațiile obținute de corpuri în urma acțiunii acestor forțe:*

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

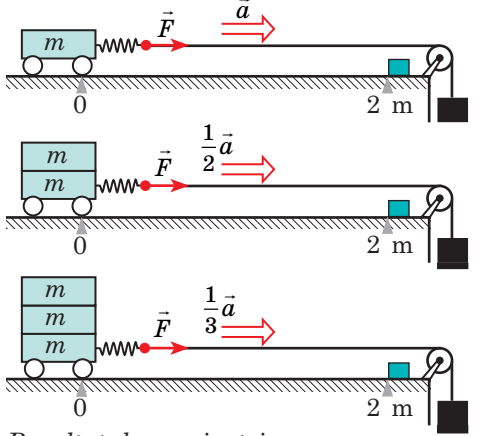
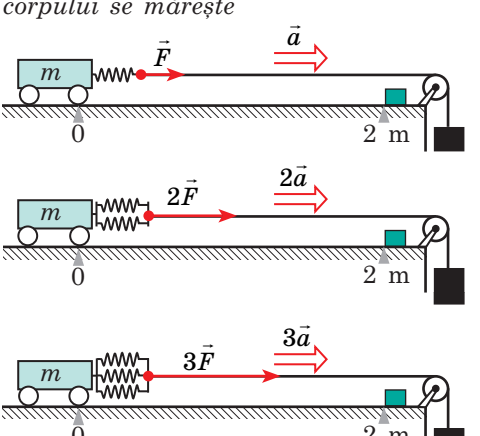
❓ Încercați să demonstrați ultima afirmație, bazându-vă pe legea a doua a lui Newton, cu care v-ați familiarizat anul trecut de învățământ. Dacă nu se va primi, reveniți la această întrebare după examinarea punctului 3 § 10.

Principalele proprietăți ale masei

- Masa corpului — o mărime invariantă: ea nu depinde nici de alegerea sistemului de referință, nici de viteza de mișcare a corpului.*
- În mecanica clasică masa corpului — o mărime aditivă: masa corpului este egală cu suma maselor tuturor particulelor, din care este compus corpul, iar masa sistemului de corpuri este egală cu suma maselor corpurilor, ce formează sistemul.*
- În mecanica clasică este satisfăcută legea conservării masei: pe parcursul oricăror procese în sistemul de corpuri masa totală a sistemului rămâne neschimbată; masa corpului nu variază în timpul interacțiunii lui cu alte corpuri.*

3 Legea a doua a lui Newton

Vom pune un cărucior ușor pe o suprafață orizontală solidă și-l vom trage cu ajutorul greutății. Masa greutății pentru fiecare experiment vom alege astfel, încât alungirea resorturilor în timpul mișcării căruciorului să fie la fel. Măsurând timpul t , în decursul căruia căruciorul parcurge, de exemplu, distanța $s=2$ m, vom determina accelerarea mișcării căruciorului ($a=2s/t^2$):

Experiențe la confirmarea legii a doua a lui Newton	
<p><i>Masa corpului (căruciorului) se mărește; forța, ce acționează asupra corpului este aceeași</i></p>  <p><i>Rezultatul experienței:</i> accelerația, pe care o obține corpul este invers proporțională cu masa acestui corp: $a \sim \frac{1}{m}$.</p>	<p><i>Masa corpului (căruciorului) este aceeași; forța, ce acționează asupra corpului se mărește</i></p>  <p><i>Rezultatul experienței:</i> accelerația, pe care o obține corpul este direct proporțională cu forța aplicată corpului: $a \sim F$.</p>
Deci, $a \sim \frac{F}{m}$.	

Având în vedere, că unitatea de măsură a forței se alege astfel, încât coeficientul de proporționalitate în expresia $a \sim F/m$ este egal cu 1, vom formula **legea a doua a lui Newton**:

Accelerarea, pe care o obține corpul în urma acțiunii forței, este direct proporțională cu această forță și invers proporțională cu masa corpului:

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

• *Legea a doua a lui Newton scrisă sub forma $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$, se adevărește numai în sistemele de referință inerțiale.*

• De cele mai multe ori asupra corpului acționează concomitent câteva forțe. Dacă corpul poate fi considerat drept punct material, atunci aceste forțe pot fi înlocuite cu una singură — rezultanta. *Rezultanta este egală cu suma geometrică a forțelor, ce acționează asupra corpului: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$ (fig. 10.2), de aceea legea a doua a lui Newton poate fi scrisă în felul următor:*

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n}{m}, \text{ sau } \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m\vec{a}$$

- *Direcția accelerației mișcării totdeauna coincide cu direcția rezultantei forțelor, care acționează asupra corpului: $\vec{a} \uparrow \vec{F}$.*

- Dacă forțele, ce acționează asupra corpului sunt compensate, adică *rezultanta este egală cu zero* ($\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \vec{0}$), atunci corpul nu-și va schimba viteza mișcării sale nici ca valoare, nici ca direcție: $\vec{a} = \vec{0}$ (fig. 10.3), deci se va mișca rectiliniu uniform sau se va afla în stare de repaus.

- Corpul se mișcă rectiliniu uniform numai atunci, când *rezultanta forțelor, aplicate corpului nu variază cu timpul*.

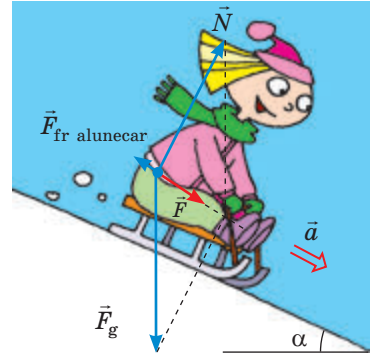


Fig. 10.2. Forța \vec{F} — rezultanta forței de greutate \vec{F}_g , forței de reacțiune normală a reazemului \vec{N} și a forței de frecare de alunecare $\vec{F}_{fr\text{ alunecare}}$. Forța \vec{F} — cauza accelerației \vec{a} fetei

4 Legea a treia a lui Newton

«Pentru acțiune întotdeauna există o reacțiune egală și opusă, altfel: acțiunile a două corpuri unul asupra altuia sunt egale și orientate în direcții opuse» — așa I. Newton a formulat a treia și ultima a sa «axiomă a mișcării».

? Ce manifestări a celei de a treia «axiome a mișcării» vedeți acum în jur? cu care v-ați «întâlnit» în decursul zilei? pe parcursul săptămânii trecute?

Forțele întotdeauna apar în perechi: dacă corpul A acționează asupra corpului B cu forța \vec{F}_1 , atunci neapărat este prezentă forța \vec{F}_2 «inversă», care acționează asupra corpului A din partea corpului B, totodată forța \vec{F}_2 este egală ca modul cu forța \vec{F}_1 și opusă ei ca direcție: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Însă manifestarea acestor forțe (sau a uneia dintre ele) nu întotdeauna este vădită. De exemplu, când un măr a căzut din pom, s-a sfărâmat și a boțit iarba, vedem și «acțiunea» și «interacțiunea». De asemenea, e bine vizibilă acțiunea Pământului asupra mărului (marul a căzut), dar iată reacțiunea (atracția Pământului spre măr) nu vom observa.

Vom sublinia: «acțiunea» și «reacțiunea» — aceasta întotdeauna sunt forțe de aceeași natură, ele întotdeauna sunt orientate în lungul unei drepte (fig. 10.4) — și vom formula **legea a treia a lui Newton** sub forma:

Corpurile interacționează cu forțe, ce au aceeași natură, sunt orientate în lungul unei drepte, sunt egale ca modul și opuse ca direcție:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

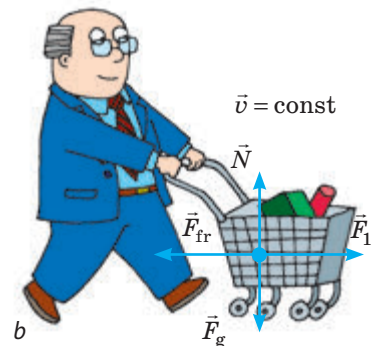
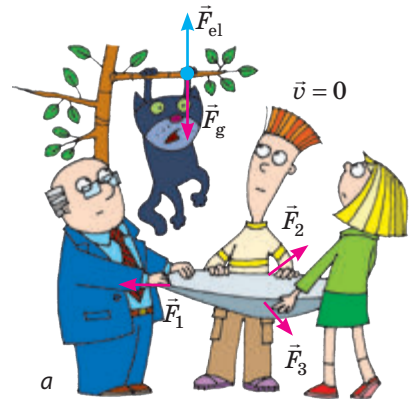


Fig. 10.3. Dacă rezultanta forțelor, aplicate corpului este egală cu zero, atunci corpul se află în stare de repaus (a) sau se mișcă cu viteză constantă (b)



Fig. 10.4. Forțele, ce apar în timpul interacțiunii, au aceeași natură, sunt orientate în lungul unei drepte, sunt egale ca modul și opuse ca direcție

5 Ar fi putut oare Munchausen să se scoată din mlaștină de cosiță

La orice interacțiune dintre două corpuri apare o pereche de forțe egale ca modul și opuse ca direcție. Și e foarte bine, că *aceste forțe nu au o rezultantă, deoarece ele sunt aplicate la corpuri diferite și, de aceea ele nu se pot echilibra (compensa) una pe alta*, altfel noi am fi fost condamnați la repaus sau la o mișcare rectilinie uniformă continuă.

O chestie cu totul diferită, când punctele, la care este aplicată perechea de forțe sunt părți ale unui corp (unui sistem de puncte materiale). În acest caz, suma vectorială a tuturor forțelor interioare ale sistemului este egală cu zero ($\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$ — se adună perechile de forțe egale ca modul și opuse ca direcție), de aceea *forțele interioare nu-i imprimă corpului o accelerație* (datorită forțelor interioare corpul nu poate nici să se miște din loc, nici să se oprească, nici să-și schimbe direcția mișcării). *Pentru ca corpul să obțină accelerație, sunt necesare forțe exterioare.*



Deci ar fi putut oare baronul Munchausen, eroul faimoasei lucrări a lui R.E. Raspe, să se scoată din mlaștina de păr? Dar cum ar fi putut?



Facem totalurile

• Forța \vec{F} — aceasta-i mărime fizică vectorială, care este măsura acțiunii asupra corpului din partea altor corpuri, în rezultatul căreia corpul obține accelerație sau (și) se deformează. Unitatea de măsură a forței în SI — newton (N). Dacă asupra punctului material acționează concomitent câteva forțe, ele pot fi înlocuite cu rezultanta (\vec{F}): $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$.

• Legea fundamentală a dinamicii — legea a doua a lui Newton: accelerația, pe care o obține corpul în urma acțiunii forței, este direct proporțională cu această forță și invers proporțională cu masa corpului: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$. Această lege se adevărește numai pentru SR inerțiale.

• Legea a treia a lui Newton — aceasta-i legea interacțiunii: corpurile interacționează cu forțe, ce au aceeași natură, sunt orientate în lungul unei drepte, sunt egale ca modul și opuse ca direcție: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Perechea de forțe, ce apar în timpul interacțiunii a două corpuri nu se echilibrează una pe alta, deoarece sunt aplicate la corpuri diferite.

Întrebări de control



1. Caracterizați forța și masa ca mărimi fizice. 2. Dați definiția inerției. 3. Pe care proprietăți ale corpului se bazează fiecare dintre metodele de măsurare a

masei? **4.** De ce factori depinde accelerația mișcării corpului? **5.** Formulați legea a doua a lui Newton. **6.** Cum se scrie legea a doua a lui Newton, dacă asupra corpului acționează câteva forțe? **7.** Formulați legea a treia a lui Newton. Dați exemple de manifestare a ei. **8.** Când perechea de forțe, ce apare în urma interacțiunii a două corpuri, se echilibrează una pe alta?



Exercițiul nr. 10

1. Datorită inerțialității se poate face economie de combustibil pentru automobil. Cum și de ce aceasta este posibil?
2. Oare se va mișca căruciorul (vezi des.), dacă magnetii sunt destul de puternici? Argumentați răspunsul.
3. O bilă de biliard sub acțiunea a două forțe reciproce perpendiculare de 0,81 și 1,08 N obține accelerația de 5 m/s^2 . Determinați masa bilei.
4. Începând cu 1 ianuarie anul 2018 în Ucraina a intrat în vigoare legea, care limitează viteza mișcării autovehiculelor în orașe de 50 km/h, în timp ce anterior a fost de 60 km/h. De câte ori forța de lovire în caz de accident rutier va fi mai mică, dacă drumul, pe care-l parcurge mijlocul de transport până la oprire, va rămâne același?
5. Dați răspunsuri la întrebările puse la începutul § 10.
6. Explicați afirmația: «Inerțialitatea — aceasta-i proprietate a corpului, inerția — aceasta-i fenomen al naturii».
7. Un băiat cu masa de 60 kg sare de la o înălțime de 1,8 m. Cu ce forță picioarele băiatului se vor lovi de pământ, dacă el: 1) nu și-a îndoit genunchii și timpul opririi a constituit $0,1 \text{ s}$? 2) a îndoit genunchii, în urma cărui fapt timpul opririi s-a mărit de 10 ori?
8. *Problemă clasică.* Calul trage carul. Conform legii a treia a lui Newton: cu ce forță calul trage carul, cu aceeași forță sania trage calul. De ce atunci carul se mișcă după cal și nu invers?
9. Inventați câteva probleme simple la aplicarea legilor a doua și a treia a lui Newton. Perfectați și rezolvați problemele obținute. Folosiți-vă de surse suplimentare de informații, pentru ca datele din condițiile problemelor să fie reale.



Problemă experimentală

Propuneți câteva experiențe privind verificarea legii a treia a lui Newton. Peteceți aceste experiențe.

Fizica și tehnica în Ucraina



Oleg Constantinovici Antonov (1906–1984) — remarcabil constructor ucrainean sovietic de avioane, constructor principal de avioane a URSS, academician al AȘ a RSSU și AȘ a URSS. O. C. Antonov — unul dintre fondatorii planorismului sovietic. El a creat peste 50 de tipuri de plane, pe care au fost instalate numeroase recorduri mondiale. Cu toate acestea, O.C. Antonov a obținut un renume mondial ca constructor de avioane sigure de pasageri și de transport.

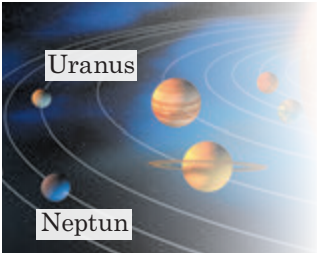
Din a. 1946, O.C. Antonov — constructor general al biroului de cercetare și de construcție, care astăzi poartă numele de întreprinderea de stat «Antonov».

Sub conducerea lui O.C. Antonov sunt elaborate avioanele de transport An-8, An-12, An-22, An-26, An-32, An-72, avioanele multifuncționale An-2, An-14, avioane de pasageri An-10, An-24 și altele. Avioanele de transport An-124 «Ruslan» și An-225 «Mriya» sunt astăzi de neînlocuit pentru transportul mărfurilor voluminoase.

ANȘU a stabilit un premiu în numele lui O.C. Antonov pentru realizări remarcabile în domeniul mecanicii tehnice și ingineriei aeronautice.



§ 11. CÂMPUL GRAVITAȚIONAL. FORȚA DE GREUTATE. PRIMA VITEZĂ COSMICĂ



Șase din cele opt planete ale Sistemului Solar au fost descoperite datorită observărilor asupra cerului înstelat. Anume așa în a. 1781, astronomul englez John Herschel a descoperit Uranus. Însă, planeta «se comporta» ciudat: orbita ei nu corespundea calculelor bazate pe legea atracției universale. Învățații au presupus, că în apropiere există o altă planetă, care influențează asupra mișcării lui Uranus și au început să o caute... cu ajutorul matematicii.

A reușit să calculeze orbita planetei noi englezul *John Adams* și francezul *Urban Leverrier*. La 23 august a. 1846 astronomul german Johann Galle a îndreptat telescopul în locul, menționat de către Le Verrier, și ... a văzut planeta! Neptun – a opta planetă a Sistemului Solar – a devenit primul obiect cosmic, descoperit «la vârful creionului». Despre legea, care a permis să fie făcută această descoperire, o să vă amintiți în acest paragraf.



«Luna ar fi căzut pe Pământ ca o piatră, cum numai subit ar fi dispărut forța sa de zbor».

Plutarh

(anii apr. 46 – apr. 127)



«Gravitația este atracția reciprocă a tuturor corpurilor. Dacă Pământul și Luna nu ar fi fost menținuți în orbite de către forța lor portantă, atunci Pământul și Luna s-ar fi îmbinat ... Dacă n-ar fi existat gravitația Pământului, oceanele s-ar fi pornit spre Lună».

J. Kepler (1571–1630)



«Până în prezent, eu am explicat fenomenele și refluxurile mărilor noastre pe baza forței de greutate, dar nu am indicat pricinile atracției însăși».

I. Newton (1643–1727)



«În timpul nostru atracția pe nimeni nu-l surprinde – ea a devenit un fenomen neînțeleles obișnuit».

E. Mach (1838–1916)

1 Cum se determină forța atracției universale

Interacțiunea gravitațională – asta-i interacțiunea, care este proprie tuturor corpurilor din Univers și care se manifestă în atracția lor reciprocă unul către celălalt.

Interacțiunea gravitațională se realizează cu ajutorul **câmpului gravitațional**, care există în jurul oricărui corp: stea, planetă, om, moleculă etc.

Vom obține *legea atracției universale*, reieșind din logica raționamentelor lui Newton, căruia îi aparține cinstea descoperirii acestei legi.

1. Datorită interacțiunii gravitaționale Pământul îi imprimă oricărui corp din apropierea suprafeței lui accelerația $g = F/m$ (legea a doua a lui Newton). Cu toate acestea, această accelerație nu depinde de masa corpului – aceasta este posibil, dacă forța interacțiunii gravitaționale este direct proporțională cu masa corpului ($F \sim m$).

2. Două corpuri cu masele m_1 și m_2 interacționează cu forțe ce au moduli egali (legea a treia alui Newton): $F_1 = F_2 = F$ (fig. 11.1). Deci, *forța de interacțiune gravitațională dintre două corpuri este direct proporțională cu produsul maselor acestor corpuri*:

$$F \sim m_1 \cdot m_2. \quad (1)$$

3. Analizând mișcarea Lunii în jurul Pământului și bazându-se pe legile lui Kepler (legile mișcării planetelor în jurul Soarelui), Newton de asemenea a demonstrat, că *forța atracției gravitaționale dintre două corpuri este invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele*: $F \sim \frac{1}{r^2}$ (2).

Îmbinând concluziile (1) și (2), I. Newton a obținut **legea atracției universale**:

Orice două corpuri se atrag unul de altul cu o forță, care este direct proporțională cu produsul maselor acestor corpuri și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (3)$$

unde G – *constanta gravitațională* (coeficient de proporționalitate, același pentru toate corpurile din Univers).

Ca și orice lege, legea atracției universale are anumite *limite de aplicație* (fig. 11.2).

Deja în sec. XX s-a constatat: când câmpurile gravitaționale sunt atât de puternice, că accelerează corpurile până la viteze de ordinul vitezei luminii, sau când particulele, ce zboară în apropierea corpurilor masive, încă la distanță de la aceste corpuri au viteza mișcării, comparabilă cu viteza luminii, atunci forța atracției gravitaționale nu poate fi calculată după legea atracției universale.

La formă generală gravitația se descrie de teoria generală a relativității.

2 Cum se măsoară constanta gravitațională

Constanta gravitațională G – una dintre constantele fundamentale în fizică. După datele actuale, valoarea constantei gravitaționale constituie:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

Din formula (3) rezultă: $G = \frac{F r^2}{m_1 m_2}$. Adică, dacă

$r=1$ m, iar $m_1 = m_2 = 1$ kg, atunci G numeric este egal cu F .

Constanta gravitațională este numeric egală cu forța atracției universale a două puncte materiale cu masa de 1 kg fiecare, care sunt situate la distanța de 1 m una de alta. În aceasta și constă sensul fizic al constantei gravitaționale.

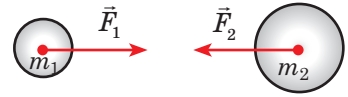
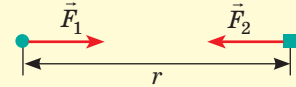


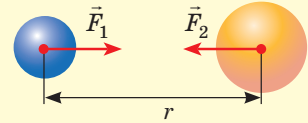
Fig. 11.1. Forțele, cu care corpurile se atrag unul de altul sunt egale ca modul și opuse ca direcții

Legea atracției universale se adevărește în următoarele cazuri:

- dacă ambele corpuri sunt puncte materiale



- dacă ambele corpuri au o formă sferică cu distribuție sferică a substanței



- dacă unul dintre corpurile, care interacționează este o bilă, dimensiunile și masa căreia sunt cu mult mai mari decât dimensiunile și masa altui corp

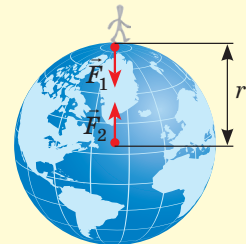
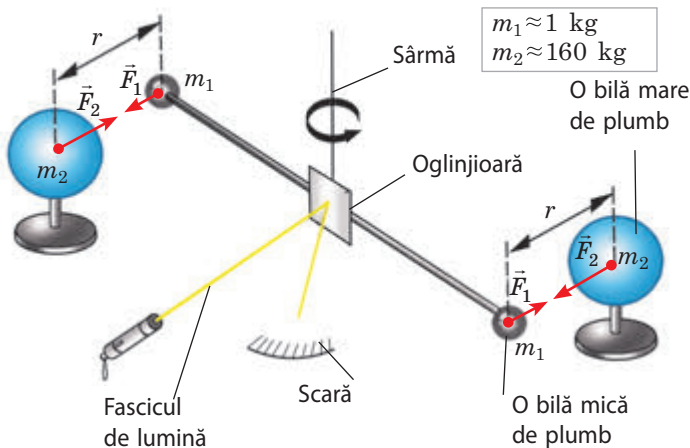


Fig. 11.2. Limitele aplicației legii atracției universale



1. În rezultatul atracției bilelor firul se răsuțește. Unghiul de răsucire se înregistrează pe scară după rotația fascicului luminos, care se reflectă de la oglindă.
2. După unghiul de răsucire a firului se determină forța F a atracției gravitaționale.
3. Se măsoară distanța r dintre centrele bilelor.
4. Cunoscând masele m_1 și m_2 ale bilelor, se determină constanta gravitațională:

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

Fig. 11.3. Schema unuia dintre primele experimente ale lui H. Cavendish

? A măsura constanta gravitațională e destul de dificil: atracția gravitațională dintre corpuri devine vizibilă numai în cazul masei foarte mari cel puțin al unuia dintre corpuri.

Determinați cu ce forță se atrag, de exemplu, bilele cu masa 1 kg fiecare, situate la distanța de 1 m una de alata, și veți înțelege, de ce noi nu observăm atracția gravitațională a altor corpuri, în afară de atracția Pământului.

Pentru prima dată constanta gravitațională a fost măsurată de către savantul englez *Henri Cavendish* (1731–1810) în anul 1798 cu ajutorul balanței de torsiune (fig. 11.3).

3 Cum «de cântărit» Pământul

Experiența lui Cavendish se mai numește «cântărirea Pământului». Deci, să aflăm, cum se poate măsura masa Pământului și în general a oricărei planete. Pentru aceasta să ne amintim de forța de greutate.

Forța de greutate \vec{F}_g — aceasta-i forța, cu care Pământul (sau alt corp astronomic) atrage la sine corpurile, ce se află pe suprafața lui sau în apropierea lui.

Forța de greutate este orientată vertical în jos și aplicată în punctul, care este numit *centrul de greutate al corpului* (vezi § 14).

- Conform legii atracției universale modulul forței de greutate, care acționează asupra corpului cu masa m din partea Pământului poate fi calculat după formula:

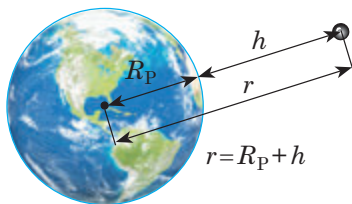


Fig. 11.4. Distanța r de la centrul Pământului până la corp este egală cu suma dintre raza Pământului R_p și înălțimea h , la care este situat corpul

$$F_g = G \frac{m M_p}{(R_p + h)^2}$$

Aici M_p — masa Pământului; $R_p + h$ — distanța de la centrul Pământului până la corp (fig. 11.4).

- Conform legii a doua a lui Newton:

$$F_g = mg,$$

unde g — accelerația căderii libere la înălțimea h .

Egalând părțile drepte ale acestor expresii, vom obține *formula pentru calculul accelerației căderii libere*:

$$g = G \frac{M_P}{(R_P + h)^2}$$

Analizând ultima formulă, se pot face un șir de concluzii:

1. Accelerația căderii libere nu depinde de masa corpului (acest fapt a fost demonstrat de către G. Galilei).

2. Accelerația căderii libere scade în cazul ridicării corpului deasupra suprafeței Pământului (o variație vădită are loc la ridicarea la zeci și sute de kilometri).

3. Dacă corpul este situat pe suprafața Pământului ($h=0$) sau în apropierea ei ($h \ll R_P$), atunci accelerația căderii libere se calculează după formula:

$$g_0 = G \frac{M_P}{R_P^2}$$

În apropierea suprafeței Pământului accelerația căderii libere este cunoscută ($g_0 = 9,8 \text{ m/s}^2$), deci, putem determina masa Pământului:

$$M_P = \frac{g_0 R_P^2}{G}$$

Vom menționa, că din cauza rotației Pământului, precum și pentru că forma Pământului este un *geoid*, accelerația căderii libere depinde de latitudinea geografică a terenului (fig. 11.5).

4 Ce este prima viteză cosmică și cum ea poate fi calculată

Să ne imaginăm, că noi împușcăm dintr-un tun cu proiectilele în direcție orizontală, *mărind cu fiecare împușcătură viteza de mișcare a proiectilului*. Proiectilele se vor mișca după parabolă și de fiecare dată vor cădea tot mai departe. Dacă ne vom imagina, că Pământul e plat, atunci cu aceasta experiența noastră poate fi terminată, însă Pământul are forma unei sfere, de aceea cu fiecare împușcătură el din ce în ce mai mult «se va duce» de sub proiectil (fig. 11.6).

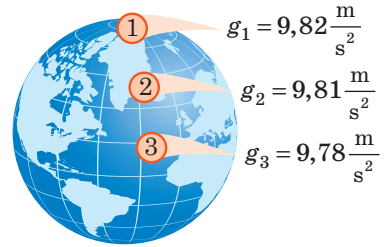


Fig. 11.5. Modulul accelerației căderii libere la ecuator este puțin mai mic decât la poli

Accelerația căderii libere într-o anumită localitate poate să difere de valorile ei medii la latitudinea dată. Cauzele — în neomogenitatea structurii scoarței terestre, prezenței munților și depresiunilor; în densitatea diferită a minereurilor, ce se conțin în adâncurile Pământului. Astfel, micșorarea accelerației căderii libere deseori ne mărturesește despre prezența în subsol a turbei, petrolului, gazului; mărirea — despre zăcăminte de minereuri de metale.

Metoda căutării bogățiilor de minereuri folositoare după determinarea exactă a accelerației căderii libere se numește *prospecțiune gravimetrică*.

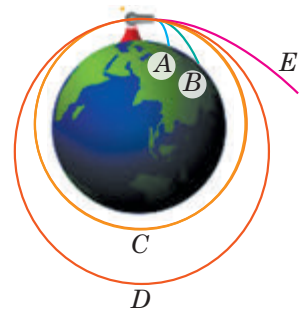


Fig. 11.6. Mișcarea corpului sub acțiunea forței de greutate (conform desenului lui I. Newton): proiectilele A și B cad pe Pământ, proiectilul C iese pe orbită circulară, D — pe eliptică, proiectilul E zboară în spațiul cosmic

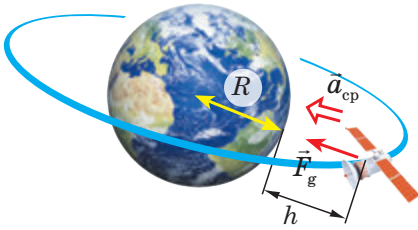


Fig. 11.7. Asupra satelitului, ce se mișcă în jurul planetei pe o orbită circulară la înălțimea h deasupra suprafeței planetei, acționează forța de greutate \vec{F}_g , care-i imprimă satelitului accelerație centripetă \vec{a}_{cp}

Acum să ne imaginăm, că noi i-am comunicat proiectilului așa o viteză de mare, încât el a zburat în jurul Pământului și s-a întors la locul împușcăturii. Totodată proiectilul nu se va opri, ci în continuare se va mișca cu viteză constantă, «înfășurând cercuri» în jurul planetei. Altfel spus, noi vom obține *un satelit artificial al Pământului*.

Viteza, care trebuie comunicată corpului, pentru ca el să se miște după o orbită circulară se numește prima **viteză cosmică**.

Prima viteză cosmică v se poate calcula, considerând că anume forța de greutate îi imprimă corpului accelerație centripetă (fig. 11.7).

Din legea a doua a lui Newton: $F_g = ma_{cp}$, unde $F_g = G \frac{mM}{(R+h)^2}$; $a_{cp} = \frac{v^2}{R+h}$.

Deci, $\frac{GM}{R+h} = v^2$. De aici vom obține *formula pentru calculul primei viteze cosmice a mișcării satelitului la înălțimea h deasupra suprafeței planetei*:

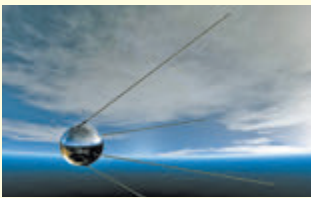
$$v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}} \quad (1).$$

Pentru cazurile din apropierea suprafeței Pământului ($h \approx 0$) formula (1) va avea forma: $v = \sqrt{\frac{GM_P}{R_P}}$ (2). Formula (2) poate fi considerabil simplificată, dacă

ne vom aminti, că în apropierea suprafeței Pământului $g_0 = G \frac{M_P}{R_P^2}$, adică

$GM_P = g_0 R_P^2$. Înlocuind ultima expresie în formula (2), definitiv avem: $v = \sqrt{g_0 R_P}$.

Deoarece $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, a $R_P = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$, atunci $v = \sqrt{9,8 \cdot 6,4 \cdot 10^6} = 7,9 \cdot 10^3 \text{ (m/s)}$ — *prima viteză cosmică în apropierea suprafeței Pământului*.



În 4 octombrie anul 1957 Uniunea Sovietică a lansat pe orbită primul satelit artificial al Pământului — PS1 (cel mai simplu satelit). De elaborarea PS1 s-au ocupat *S.P. Coroliov, M.V. Keldiș, M.K. Tihonravov* și alți savanți renumiți.

PS1 reprezenta o sferă mică, cu diametrul de numai 58 cm și o masă de 83,6 kg, echipată cu patru antene cu lungimea de 2,4 și 2,9 m pentru transmiterea semnalului. Satelitul s-a separat de la a doua treaptă a rachetei-purtător la 315 secunde de la pornire și aproape imediat a început să transmită semnalul, care era audiat nu numai de specialiști, ci și de amatorii de radio din aproape toate țările. Din acest moment a început numărătoarea erei cosmice a omenirii. «Acea lumină mică, care se mișca ventiginos de la o margine la altă margine a cerului ... a făcut omenirea nemuritoare» — scria scriitorul american Fanast Ray Bradbury.

În decursul celor 92 de zile de zbor, satelitul a efectuat 1440 de rotații în jurul Pământului, după ce a ars în atmosferă.

Traectoria mișcării satelitului pe harta cerului înstelat a fost cartografiată pentru prima dată de către observatorii Laboratorului de cercetări spațiale al universității de stat din Ujgorod.



Facem totalurile

• Interacțiunea, care este proprie tuturor corpurilor din Univers și se manifestă prin atracția lor reciprocă unul către celălalt se numește gravitațională, iar însuși fenomenul atracției reciproce — atracție universală sau gravitație.

• Legea atracției universale: orice două corpuri se atrag unul de altul cu o forță, care este direct proporțională cu produsul maselor acestor corpuri și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele: $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, unde $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$ — constanta gravitațională.

• Forța, care caracterizează interacțiunea gravitațională a corpurilor cu Pământul (sau cu alt corp astronomic) se numește forță de greutate. Forța de greutate este orientată vertical în jos și este aplicată în centrul de greutate al corpului.

Modulul forței de greutate poate fi calculat după formula: $F_g = G \frac{mM_P}{(R_P + h)^2}$; $F_g = mg$.

• Viteza v , care trebuie comunicată corpului, pentru ca el să se miște lângă planetă după o orbită circulară se numește prima viteză cosmică: $v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$.



Întrebări de control

1. Dați exemple de interacțiune gravitațională. **2.** Demonstrați, că forța atracției universale este direct proporțională cu produsul maselor corpurilor. **3.** Formulați și scrieți legea atracției universale. **4.** Care este sensul fizic al constantei gravitaționale? Cine și cum a aflat valoarea ei? **5.** Care sunt limitele aplicației legii atracției universale? **6.** Dați definiția forței de greutate. După care formule ea se calculează și cum ea este orientată? **7.** Cum se poate calcula accelerația căderii libere? De ce factori depinde ea? **8.** De ce corpul aruncat orizontal poate așa și să nu cadă pe Pământ? **9.** Dați definiția primei viteze cosmice. Obțineți formula pentru calculul ei.



Exercițiul nr. 11

- Corpului din apropierea suprafeței Pământului i-ați comunicat o viteză de 8 km/s. Se va întoarce oare la voi corpul, ocolind Pământul? Argumentați-vă răspunsul.
- Evaluați forța interacțiunii gravitaționale dintre voi și vecinul sau vecina de bancă. Explicați, de ce se propune anume să se «evalueze», dar nu să se «calculeze».
- Cum se va schimba forța de atracție dintre două bile, dacă una dintre ele va fi înlocuită cu alta, cu o masă de trei ori mai mare? se va mări distanța dintre ele de trei ori?
- De câte ori accelerația căderii libere la înălțimea de $6R_P$, este mai mică decât la suprafața Pământului?
- Determinați masa Soarelui, considerând, că orbita Pământului este o circumferință și că raza orbitei terestre este egală cu $1,5 \cdot 10^{11}$ m (1 unitate astronomică).
- Determinați perioada de rotație și raza orbitei circulare a primului satelit artificial al Pământului.
- Folosiți-vă de surse suplimentare de informații și aflați date despre viața și activitatea remarcabilului învățat ucrainean sovietic în domeniul construcției de rachete și a cosmonauticii S.P. Coroliov (vezi [des.](#)).



Serghei Coroliov (din dreapta) și prima femeie-cosmonaut din lume Valentina Tereșcova, 1963

§ 12. FORȚA ELASTICĂ. GREUTATEA CORPULUI



Primul cosmonaut din lume, I. A. Gagarin, își amintea: «Eu am simțit, că o forță de neînvingătoare mă apăsa tot mai mult în fotoliu. Și cu toate că el era amplasat astfel, încât să reducă la minim influența enormei greutate, care a năvălit asupra corpului meu, era dificil să miști cu mâna și cu piciorul». Despre aceea, cum și de ce apar suprasarcinile, în ce condiții corpul se află în stare de imponderabilitate, veți afla din acest paragraf.

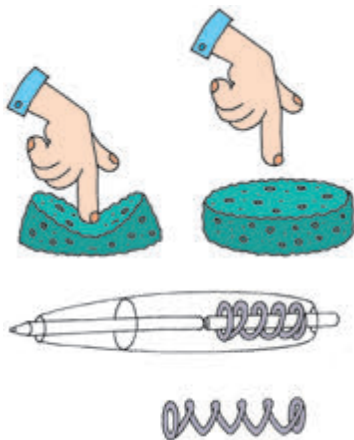


Fig. 12.1. După încetarea acțiunii a forței de elasticitate corpul își restabilește forma și dimensiunile sale

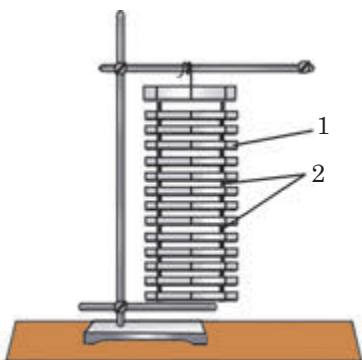


Fig. 12.2. Modelul mecanic al corpului solid: plăci paralele (1), ce imită straturile de molecule, legate prin arcuri (2), ce imită interacțiunea dintre molecule

1 Ne amintim despre deformație

Apăsăm pe butonul pixului — arcul din interiorul pixului se va comprima și lungimea arcului se va micșora; strângem în mână o bucată de plastilină — forma ei se va schimba; apăsăm cu degetul un burete — în același timp se va schimba și forma și dimensiunile buretelui.

Schimbarea formei și (sau) a dimensiunilor corpului se numește **deformație**.

Dacă se va opri comprimarea arcului, apăsarea buretelui, adică se va înlătura acțiunea forțelor exterioare, și arcul și buretele își vor restabili complet forma și dimensiunile lor, adică nu vor mai fi deformați (fig. 12.1). Dar forma bucății de plasticină nu se va restabili — plasticina nu o «ține minte» și va rămâne deformată.

Deformațiile, care dispar complet după încetarea acțiunii forțelor exterioare asupra corpului se numesc **elastice**; deformațiile, care se păstrează se numesc **plastice**.

Cauza apariției atât a deformației elastice cât și a celei plastice constă în aceea, că sub acțiunea forțelor aplicate corpului, diferitele părți ale lui sunt deplasate una față de cealaltă. După caracterul deplasării părților se disting deformații de *compresiune*, *alungire*, *alunecare*, *încovoiere*, *răsucire*. Ne vom opri asupra deformației elastice de compresiune și alungire. Pentru aceasta, ne vom folosi de modelul mecanic al corpului solid (fig. 12.2).

Vom apăsa pe modelul mecanic al corpului solid din partea de sus cu mâna: plăcile superioare vor începe să se deplaseze în jos, cele

inferioare vor rămâne practic imobile, și în rezultat modelul își va schimba dimensiunile lui — se va deforma. Aproximativ asemănător în timpul comprimării corpului solod se deplasează în direcția acțiunii forței straturile de molecule ale lui, în rezultatul cărui fapt dimensiunile corpului se micșorează. O astfel de deformație se numește *deformație de compresiune* — pe ea o suportă picioarele meselor și scaunelor, temeliiile clădirilor (vezi fig. 12.3, a).

Dacă însă vom întinde corpul, straturile de molecule se vor împrăștia și corpul de asemenea își va schimba dimensiunile sale. Așa o deformație este numită *deformație de alungire* — ea este în cabluri, lanțurile dispozitivelor de ridicare, dispozitivele de cuplare dintre vagoane ș. a. (vezi fig. 12.3, b).

Mărimea fizică, care este egală cu variația lungimii corpului în timpul deformației de alungire sau compresiune se numește **alungire** Δl (sau x):

$$\Delta l = l - l_0,$$

unde l — lungimea corpului deformat; l_0 — lungimea inițială a corpului (fig. 12.4).

2 Când ia naștere forța elastică

Dacă voi îndoiți creanga unui copac, comprimați esponderul, întindeți coarda arcului, adică deformați aceste corpuri, simțiți rezistența lor: din partea acestor corpuri începe să acționeze forța, care tinde să restabilească acea stare a corpului, în care corpul s-a aflat până la deformație. Această forță se numește *forță elastică* (fig. 12.5).

Forța elastică \vec{F}_{el} — aceasta-i forța, care ia naștere în timpul deformației corpului și tinde să reîntoarcă corpul în starea nedeformată.

Studiind deformația tijelor subțiri lungi, savantul englez Robert Hooke (1635–1703) a stabilit legea care ulterior a primit denumirea de **legea lui Hooke**:

În cazul deformațiilor elastice mici de alungire sau compresiune forța elastică este direct proporțională cu alungirea corpului:

$$\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$$

Semnul «-» înseamnă, că forța elastică este orientată în direcție opusă alungirii.

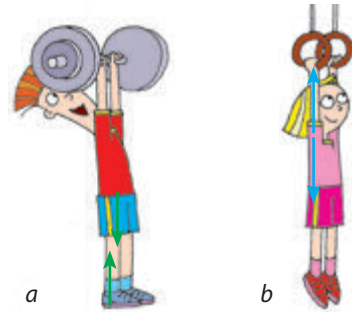


Fig. 12.3. Oasele, mușchii, ligamentele omului suferă deformații de compresiune (a) și deformații de alungire (b)

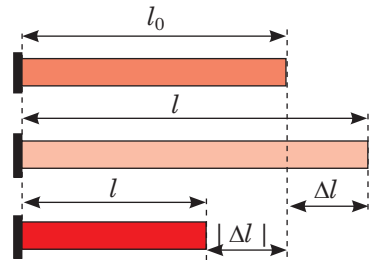


Fig. 12.4. Deformațiile de compresiune și alungire a tijei; Δl — alungirea tijei

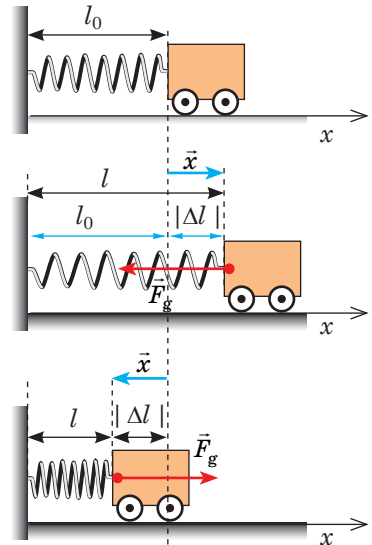


Fig. 12.5. Forța elastică \vec{F}_{el} totdeauna tinde să readucă corpul în starea nedeformată. Aici \vec{x} — vectorul alungirii

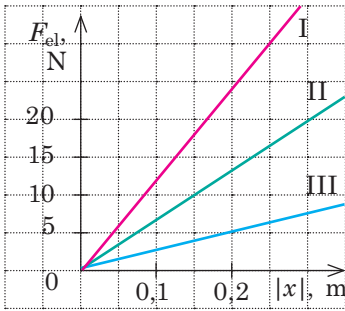


Fig. 12.6. În cazul deformațiilor elastice mici graficul dependenței forței elastice de modulul alungirii corpului — o linie dreaptă

Legea lui Hooke poate fi scrisă și pentru moduli:

$$F_g = k|x| = k|\Delta l|,$$

unde $x = \Delta l$ — alungirea.

Deoarece forța elastică este direct proporțională cu alungirea corpului, graficul dependenței $F_{el}(|x|)$ — o linie dreaptă (fig. 12.6).

Coefficientul de proporționalitate k se numește **rigiditatea** corpului (tijeii, barei, șnurului, resortului*). Rigiditatea corpului poate fi determinată, folosind legea lui Hooke:

$$F_g = k|x| \Rightarrow k = \frac{F_g}{|x|}.$$

Unitatea de măsură a rigidității în SI — **newton pe metru**: $[k] = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$.

- **Rigiditatea** — aceasta-i caracteristică a corpului, de aceea ea nu depinde nici de forța elastică, nici de alungirea corpului.
- **Rigiditatea depinde**: de proprietățile elastice ale materialului, din care este confecționat corpul; de forma și dimensiunile lui (vezi § 35).

? După graficele din fig. 12.6 determinați rigiditățile corpurilor I–III. Puteți oare imediat, neefectuând calculele, să determinați care corp are o rigiditate mai mare?

3 Care este natura forței elastice

Se știe, că toate corpurile sunt compuse din atomi (molecule, ioni), iar aceștia la rândul său — din nucleu, care are sarcină pozitivă, și nor electronic, sarcina căruia este negativă. Între componentele încărcate ale particulelor substanței există forțe de atracție și respingere electromagnetică.

Dacă corpul nu este deformat, atunci forțele de atracție sunt egale cu forțele de respingere. În cazul deformației poziția reciprocă a atomilor (moleculelor, ionilor) în corp se schimbă. Dacă distanța dintre ei se mărește, atunci forțele electromagnetice de atracție devin mai mari, decât forțele de respingere și particulele se atrag una spre alta. Dacă distanța dintre particule se micșorează, atunci devin mai mari forțele de respingere. Cu alte cuvinte, particulele substanței «tind» să se întoarcă în starea de echilibru. Astfel, *forța elastică* — *rezultatul interacțiunii electromagnetice ale particulelor substanței*.

4 Unele tipuri de forțe elastice. Greutatea corpului

De obicei forța elastică se notează cu simbolul \vec{F}_{el} . Însă există forțe elastice, pentru notarea cărora se folosesc simboluri aparte.

Dacă corpul este amplasat pe un suport, atunci suportul se deformează (încovoie). Deformația suportului provoacă apariția forței elastice, care

* Sârma, din care este confecționat resortul, suferă deformație de răsucire, însă forța elastică, ce apare în timpul alungirii și comprimării resortului, se supune legii lui Hooke.

acționează asupra corpului *perpendicular pe suprafața suportului*. Această forță se numește **forță de reacțiune normală a suportului** și se notează cu simbolul \vec{N} (fig. 12.7).

Dacă corpul va fi suspendat de o suspensie (ață, garou, cablu), atunci suspensia se va deforma (se va întinde) și va acționa asupra corpului cu o anumită forță de elasticitate, orientată de-a lungul suspensiei — **forța de tensiune a suspensiei** \vec{T} (fig. 12.8).

Toate corpurile în urma atracției gravitaționale comprimă sau încovoie suportul sau întinde suspensia. Forța, care caracterizează o astfel de acțiune a corpurilor se numește **greutate** și se notează cu simbolul \vec{P} .

În fig. 12.9, 12.10 este arătat, cum apare această forță, dacă corpul este situat în apropierea suprafeței Pământului și acționează asupra *suportului orizontal* sau a *suspensiei verticale*.

În astfel de cazuri, în conformitate cu legea a treia a lui Newton greutatea corpului este egală cu forța de reacțiune normală a suportului sau cu forța de tensiune a suspensiei și este orientată în sens opus acestora: $\vec{P} = -\vec{N}$; $\vec{P} = -\vec{T}$. Anume astfel de cazuri de apariție a greutatei corpului vom examina în continuare.

Atrageți atenția! Dacă corpul se află în stare de repaus sau de mișcare rectilinie uniformă, atunci greutatea corpului este egală ca modul cu forța de greutate ($\vec{P} = m\vec{g}$) și coincide cu ea ca direcție. Într-adevăr, în acest caz, forța de greutate și forța de reacțiune normală a suportului (sau forța de tensiune a suspensiei) sunt compensate, de aceea ele sunt egale ca modul și opuse ca direcție: $\vec{N} = -m\vec{g}$ ($\vec{T} = -m\vec{g}$); deoarece $\vec{P} = -\vec{N}$ ($\vec{P} = -\vec{T}$), avem: $\vec{P} = m\vec{g}$. Dar, spre deosebire de forța de greutate, care este aplicată corpului, *greutatea corpului este aplicată suportului sau suspensiei*.

Greutatea corpului și forța de greutate diferă și după natura sa: forța de greutate — aceasta-i o forță gravitațională, iar natura *greutății corpului* — este *electromagnetică*.

5 În ce condiții variază greutatea corpului

Nouă ni se pare, că în stare de imponderabilitate se află doar cosmonauții pe orbită, iar suprasarcină suferă doar piloții în timpul executării figurilor și cosmonauții. Însă aceasta nu e așa.

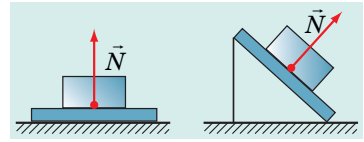


Fig. 12.7. Forța de reacțiune normală a suportului este orientată perpendicular pe suprafața suportului

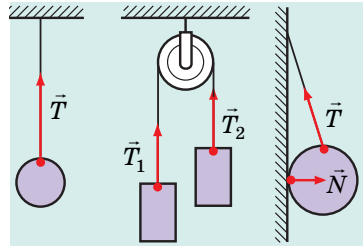


Fig. 12.8. Forța de tensiune a suspensiei este orientată de-a lungul suspensiei

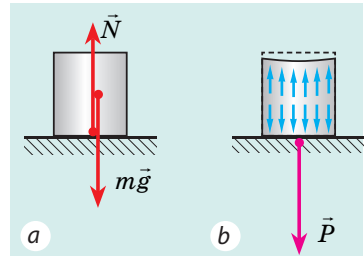


Fig. 12.9. Acțiunile forței de greutate și a forței de reacțiune a suportului cauzează deformația de compresie (a). Corpul, tinzând să revină în starea nedeformată, apasă asupra suportului cu forța de elasticitate \vec{P} (b)

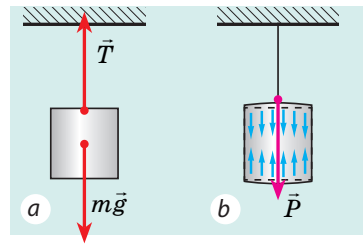


Fig. 12.10. Acțiunile forței de greutate și a forței de tensiune a suspensiei cauzează deformația de întindere (a). Corpul, tinzând să revină în starea nedeformată, întinde suspensia cu forța de elasticitate \vec{P} (b)

? Examinați **fig. 12.11** și trageți concluzii, în ce parte este orientată accelerația mișcării corpului, când corpul este supus suprasarcinii? simte micșorarea greutății corpului său? Cu ce este egală accelerația atunci, când corpul este în stare de imponderabilitate?

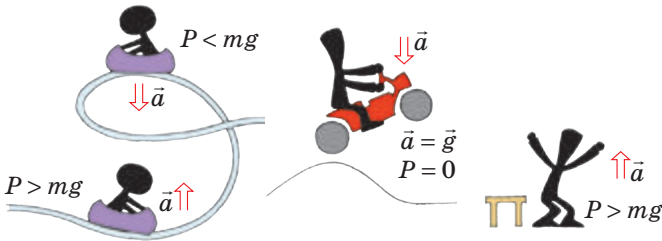


Fig. 12.11. Cu toții din când în când simțim suprasarcini ($P > mg$), simțim micșorarea greutății ($P < mg$) sau suntem în stare de imponderabilitate ($P = 0$)

Mărirea greutății (suprasarcina)	Micșorarea greutății
<p>Vom examina corpul, care se află pe un suport și împreună cu el se mișcă în câmpul gravitațional al Pământului cu accelerația \vec{a}. Asupra corpului pe verticală acționează două forțe: forța de greutate $m\vec{g}$ și forța de reacțiune normală a suportului \vec{N}. Vom lega sistemul de coordonate cu Pământul și vom orienta axa OY vertical în sus. Conform legii a doua a lui Newton: $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$. Vom scrie această ecuație pentru proiecțiile pe axa OY pentru două cazuri.</p> <p>1. <i>Accelerația este orientată vertical în sus OY:</i></p> <p>$OY: -mg + N = ma \Rightarrow$ $\Rightarrow N = mg + ma = m(g + a)$. Conform legii a treia a lui Newton $P = N$. În fine avem: $P = m(g + a)$.</p> <p><i>Greutatea corpului, care se mișcă cu accelerația, orientată vertical în sus, este mai mare decât greutatea acestui corp în stare de repaus.</i> Când există suprasarcină, nu numai corpul apasă mai tare asupra suportului, dar și unele părți aparte ale corpului apasă mai tare una asupra celeilalte.</p>	<p>2. <i>Accelerația este orientată vertical în jos OY:</i></p> <p>$OY: -mg + N = -ma \Rightarrow$ $\Rightarrow N = mg - ma = m(g - a)$. Conform legii a treia a lui Newton $P = N$. În fine avem: $P = m(g - a)$.</p> <p><i>Greutatea corpului, care se mișcă cu accelerația, orientată vertical în jos, este mai mică decât greutatea acestui corp în stare de repaus.</i> Dacă în acest caz accelerația mișcării corpului este egală cu accelerația căderii libere ($\vec{a} = \vec{g}$), atunci greutatea corpului este egală cu zero și corpul nu acționează asupra suportului.</p>

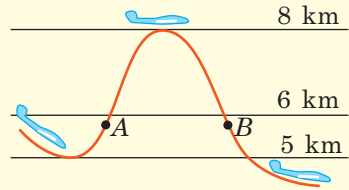
6 Cum să simți starea de imponderabilitate

Starea corpului, în care greutatea corpului este egală cu zero, se numește **stare de imponderabilitate**.

În stare de imponderabilitate asupra corpului acționează numai forța de greutate (corpul cade liber), și invers: *dacă corpul se mișcă numai sub acțiunea forței de greutate, el se află în stare de imponderabilitate.*

În stare de imponderabilitate nu numai corpul nu acționează asupra suportului, dar și unele părți aparte ale corpului nu acționează una asupra celeilalte; cosmonautul pe orbită (amintiți-vă: pe orbită nava cosmică se mișcă numai sub acțiunea forței de greutate) nu simte greutatea sa, un corp scăpat din mâinile lui nu cade nicăieri. Cauza acestor fenomene constă în aceea, că forța de greutate îi imprimă fiecărui corp și oricărei părți a lui aceeași accelerație.

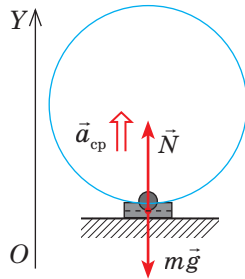
Pentru a simți starea de imponderabilitate e suficient numai de sărit. Dar iată pentru antrenarea cosmonauților se folosește acel fapt, că corpul aruncat sub un unghi față de orizont sub acțiunea forței de greutate se mișcă după o parabolă. Dacă în straturile superioare ale atmosferei de orientat un avion după o traiectorie ascendentă («de-l aruncat») sub un unghi față de orizont) și de oprit motoarele, atunci un anumit timp toate corpurile în el se vor afla în stare de imponderabilitate.



7 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. Un avion efectuează «bucla Nesterov», descriind în plan vertical o circumferință cu raza de 250 m. De câte ori greutatea pilotului în partea inferioară a traiectoriei este mai mare decât forța de greutate, dacă viteza avionului este de 100 m/s?

Analiza problemei fizice. Avionul se mișcă după o circumferință, așadar, pilotul are accelerație centripetă constantă. Vom efectua desenul explicativ, în care vom reprezenta forțele, care acționează asupra pilotului, și direcția accelerației lui. Vom alege sistemul de coordonate unidimensional, pe care-l vom lega de un punct de pe suprafața Pământului, axa OY o vom orienta vertical în sus.



Se dă: $r = 250 \text{ m}$
 $v = 100 \text{ m/s}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$
 $\frac{P}{F_g} \text{ — ?}$

Rezolvare. După legea a doua a lui Newton: $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}_{cp}$.
 Pentru proiecții pe axa OY :
 $-mg + N = ma_{cp} \Rightarrow N = m(a_{cp} + g)$.
 După legea a treia a lui Newton $P = N$, de aceea $P = m(a_{cp} + g)$. În fine avem:

$$\frac{P}{F_g} = \frac{m(a_{cp} + g)}{mg} = \frac{a_{cp} + g}{g}, \text{ unde } a_{cp} = \frac{v^2}{r}.$$

Verificăm unitățile de măsură, aflăm valoarea mărimilor căutate: $[a_{cp}] = \frac{(\text{m/s})^2}{\text{m}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{m}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$,

$$a_{cp} = \frac{100^2}{250} = 40 \text{ (m/s}^2\text{)}; \quad \frac{P}{F_g} = \frac{40 \text{ m/s}^2 + 10 \text{ m/s}^2}{10 \text{ m/s}^2} = 5.$$

Analiza rezultatului. Greutatea pilotului este de 5 ori mai mare decât forța de greutate — acesta e un rezultat real.

Răspuns: $P/F_g = 5$.

Algoritmul rezolvării problemelor la mișcarea corpului sub acțiunea mai multor forțe

1. Citiți condiția problemei. Aflați ce forțe acționează asupra corpului, care este caracterul mișcării lui (se mișcă acest corp cu accelerație sau rectiliniu uniform).

2. Scrieți condiția prescurtată a problemei. Dacă este necesar, treceți valorile mărimilor fizice în unitățile SI.

3. Faceți un desen explicativ, în care să marcați forțele, care acționează asupra corpului, și direcția accelerației de mișcare a corpului.

4. Alegeți un sistem de referință inerțial. Numărul axelor de coordonate și direcția acestora, alegeți reeșind din condiția problemei.

5. Scrieți ecuația legii a doua a lui Newton în formă vectorială și pentru proiecții pe axele de coordonate. Scrieți formulele pentru calculul forțelor. Obținând sistemul de ecuații, rezolvați-l. Dacă în problemă există condiții suplimentare, folosiți-le.

6. Verificați unitatea de măsură, aflați valoarea numerică a mărimii căutate.

7. Analizați rezultatul. Scrieți răspunsul.



Facem totalurile

• Se numește deformație schimbarea formei și (sau) a dimensiunilor corpului. Dacă după încetarea acțiunii forțelor exterioare asupra corpului deformația dispăre complet, atunci aceasta este o deformație elastică; dacă deformația se păstrează, aceasta este o deformație plastică.

• Forța, care ia naștere în corp în cazul deformației lui și tinde să reîntoarcă corpul în starea nedeformată se numește forță elastică. Forța elastică are o natură electromagnetică, și ea poate fi calculată după legea lui Hooke: $\vec{F}_g = -k\vec{x}$, unde k rigiditatea corpului. Legea lui Hooke se adevărește numai în cazul deformațiilor elastice.

• Greutatea corpului \vec{P} — aceasta-i forța, cu care în urma atracției gravitaționale corpul apasă asupra suportului sau întinde o suspensie. Dacă suportul este orizontal sau suspensia este verticală, atunci conform legii a treia a lui Newton greutatea corpului este egală ca modul cu forța de reacțiune normală a suportului (forță de tensiune a suspensiei): $\vec{P} = -\vec{N}$ ($\vec{P} = -\vec{T}$).

♦ Dacă corpul se află în stare de repaus sau se mișcă rectiliniu uniform, atunci greutatea corpului este egală ca modul cu forța de greutate $P = mg$.

♦ Dacă corpul se mișcă cu accelerație, orientată vertical în sus, acest corp suferă suprasarcină (greutatea corpului este mai mare decât greutatea acestui corp în stare de repaus): $P = m(g + a)$.

♦ Dacă corpul se mișcă cu accelerație, orientată vertical în jos, greutatea corpului este mai mică decât greutatea acestui corp în stare de repaus: $P = m(g - a)$.



Întrebări de control

1. Ce este deformația? Care este pricina apariției ei? **2.** Ce feluri de deformații cunoașteți? Care deformații se numesc elastice? plastice? Dați exemple. **3.** Dați definiția forței elastice. Care este natura ei? **4.** Formulați legea lui Hooke. Care sunt limitele aplicației ei? **5.** De ce depinde rigiditatea corpului? Care este unitatea de măsură a rigidității în SI? **6.** Care forță se numește forță de reacțiune normală a suportului? forță de tensiune a suportului? Cum sunt orientate aceste forțe? Dați exemple. **7.** Ce se numește greutate? Prin ce se deosebește greutatea corpului de forța de greutate? **8.** Explicați cauza apariției greutateii corpului. **9.** Ce este imponderabilitatea? În ce condiții corpul se află în stare de imponderabilitate? **10.** În ce condiții corpul suportă suprasarcină?

Fizica în cifre

- $P=0$ — lipsa sarcinii (starea de imponderabilitate).
- $P=mg$ — sarcină «normală» (la suprafața Pământului).
- $P=3mg$ — sarcină maximă, ce se simte pe «munții americani».
- $P=4,3mg$ — sarcină maximă, pentru care sunt prevăzute avioanele de pasageri.
- $P=5mg$ — sarcina, la care majoritatea oamenilor își pierd conștiința.
- $P=9mg$ — sarcina, pe care o suportă omul la volanul avionului militar în timpul virajelor bruște.



Exercițiul nr. 12

1. Cu cât se va alungi un fir de cauciuc sub acțiunea forței de 5 N, dacă rigiditatea firului este de 25 N/m?
2. În fig. 1 este reprezentată traiectoria mișcării unui automobil. În care punct al traiectoriei greutatea corpului este egală cu forța de greutate? În care punct șoferul automobilului suportă suprasarcină, iar în care — micșorarea greutății?
3. Sub acțiunea greutății cu masa de 10 kg o sârmă s-a alungit cu 1 mm. Care este rigiditatea sârmei?
4. În ascensor este instalat un dinamometru, de care este suspendat un corp cu masa de 1 kg. Ce va indica dinamometrul în cazul, când accelerația ascensorului: a) este egală cu zero; b) este egală cu 5 m/s² și este orientată vertical în jos; c) este egală cu 5 m/s² și este orientată vertical în sus?

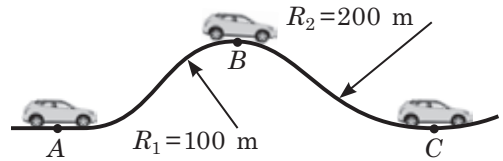
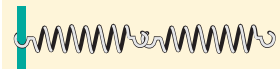


Fig. 1

5. Determinați greutatea automobilului în punctele B și C (vezi fig. 1), dacă el se mișcă cu viteză constantă de 54 km/h, iar masa lui este egală cu 2 t. Cu ce viteză trebuie să se miște automobilul, pentru ca în punctul B sa fie în stare de imponderabilitate?
6. O căldare cu apă este rotită în plan vertical cu o sfoară cu lungimea de 1 m. Cu ce viteză minimă trebuie de rotit căldarea, pentru ca în momentul trecerii prin punctul superior al traiectoriei apa din ea să nu se verse?
7. Racheta-purtătoare împreună cu nava cosmică este lansată de pe suprafața Pământului, mișcându-se cu o accelerație de 30 m/s². Determinați greutatea cosmonautului, care în acest timp se află la bordul navei, dacă masa lui este de 75 kg. De ce scaunul cosmonauților la decolare și aterizare se amplasează astfel, încât accelerația să fie orientată perpendicular pe corpul cosmonautului și nu de-a lungul lui?
8. Demonstrați, că rigiditatea sistemului din două resorturi cu rigiditatea k_1 și k_2 poate fi calculată conform formulelor reprezentate în fig. 2.
9. Folosiți-vă de surse suplimentare de informații și aflați, ce influență asupra sănătății și stării omului provoacă suprasarcina semnificativă; aflarea îndelungată în stare de imponderabilitate.
10. La începutul § 7 a fost vorba despre numărul de circ «Omul — ghiulea». Ce suprasarcină suportă sportivul în timpul împușcăturii? Datele necesare aflați-le din surse suplimentare de informații.

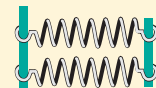
Legarea resorturilor

În serie



$$\frac{1}{k_{\text{serie}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

În paralel



$$k_{\text{par}} = k_1 + k_2$$

Fig. 2

11. Când apare forța de frecare? Oare întotdeauna această forță împiedică mișcarea corpului?



Problemă experimentală



Rigiditatea corpului depinde esențial de forma lui. Demonstrați acest lucru, folosind cateva benzi identice de hartie, doua cărți și o sarcină mică. Comunicați-le benzilor forme diferite (vezi, de exemplu, fig. 3) și studiați deformația lor în urma acțiunii aceleiasi forțe.

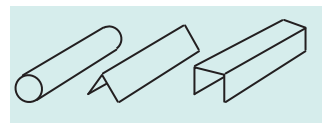
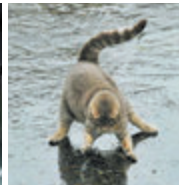


Fig. 3



§ 13. FORȚA DE FRECARÉ



De ce profilele avioanelor actuale și ale submarinelor amintesc contururile corpului del-finilor? De ce iarnă automobilele «își schimbă încălțămintea» în cauciuc cu asperități? De ce este atât de dificil să te miști pe polei? Cum «cade» parașutistul? Cum se poate reduce forța de frecare? Sau poate, că deloc nu ar trebui să o micșorăm, ci dimpotrivă ar trebui să o mărim? Ce se va întâmpla, dacă frecarea ar dispărea cu totul? Să chibzuim.

1 Ne amintim de forța de frecare

În timpul oricărui fel de mișcare corpul neapărat contactează cu micro- sau macrocorpurile din jur (cu suprafața altui corp, cu particulele de lichid sau gaz, în interiorul cărora se mișcă corpul, etc.). În timpul unui astfel de contact apar forțe, ce încetinesc mișcarea corpului, — *forțe de frecare*.

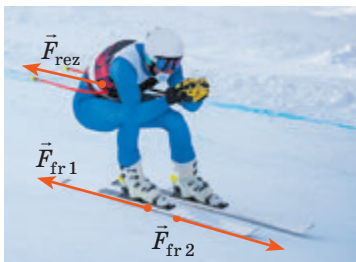


Fig. 13.1. În raport cu suprafața zăpezii și a aerului înconjurător schiorul se mișcă la dreapta, de aceea forța de frecare \vec{F}_{fr1} și forța de rezistență \vec{F}_{rez} , care acționează asupra lui sunt orientate la stânga. Zăpada față de schior se micșă spre stânga, din partea schiorului asupra zăpezii acționează forța de frecare \vec{F}_{fr2} , orientată la dreapta

Forța de frecare \vec{F}_{fr} — aceasta-i forța, care apare în timpul mișcării sau a probei de mișcare a unui corp pe suprafața altuia sau în timpul mișcării corpului în interiorul unui mediu lichid sau gazos.

Forța de frecare întotdeauna este orientată în lungul suprafețelor tangențiale ale corpurilor și în direcția opusă vitezei mișcării lor relative (fig. 13.1).

Frecarea dintre suprafața corpului solid și mediul înconjurător lichid sau gazos se numește *rezistență a mediului sau frecare fluidă (vâscoasă)*. Frecarea dintre suprafețele a două corpuri solide tangente se numește *frecare uscată*.

2 De ce apare forța de frecare uscată

Dacă vom lua o lupă și vom examina suprafața oricărui corp, vom observa o cantitate enormă de asperități mărunte. Când un corp alunecă sau încearcă să alunece pe suprafața altuia, asperitățile se agață una de alta și se deformează. Apar *forțele elastice*, orientate în sens opus deformației (fig. 13.2). Aceasta este una dintre cauzele apariției forței de frecare.

Sunt și alte cauze. Astfel, în unele locuri proeminențele corpurilor sunt strâns presate una

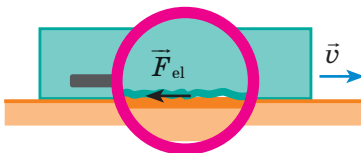


Fig. 13.2. Unul dintre mecanismele apariției frecării uscate este legat de prezența asperităților pe suprafețele tangențiale ale corpurilor

pe alta — distanța dintre ele e atât de mică, încât acționează *forțele de atracție intermoleculare*, în urma cărui fapt proeminențele devin parcă «încleiate». E clar, că o asemenea «încleiere» are loc în timpul întregii mișcării și îi pune piedici.

Și forța elastică, și forța atracției intermoleculare au o natură electromagnetică, așadar *natura forței de frecare uscată — electromagnetică*.

? Găsiți în fig. 13.3 cel puțin două exepmle, când se schimbă forța de frecare uscată, măbind sau micșorând asperitățile suprafețelor.



Fig. 13.3. Pentru însărcinarea din § 13

3 Ce tipuri de frecare uscată există

Există trei tipuri de frecare uscată: *frecare de repaus*, *frecare de alunecare*, *frecare de rostogolire*.

Încercați, aplicând o forță mică, să mișcați din loc o sanie grea — sania nu se va mișca, deoarece va apare forța de frecare de repaus, care va echilibra forța exterioară aplicată.

■ Forța de frecare de repaus $\vec{F}_{\text{fr repaus}}$ — aceeași forța de frecare, care apare între suprafețele tangenționale ale două corpuri și împiedică apariția mișcării lor relative.

Forța de frecare de repaus întotdeauna este egală ca modul și opusă ca direcție cu rezultanta forțelor exterioare \vec{F}_{ext} , care tind să miște corpul din loc (fig. 13.4):

$$\vec{F}_{\text{fr repaus}} = -\vec{F}_{\text{ext}}$$

Cu cât vom aplica o forță mai mare, cu atât mai mare va fi forța de frecare de repaus. În sfârșit, pentru o anumită valoare a rezultantei forțelor exterioare (și, deci, și a forței de frecare de repaus), corpul va porni din loc. Adică *forța de frecare de repaus are o anumită valoare maximă*.

De cele mai multe ori acțiunea forței de frecare de repaus este «folositoare»: datorită ei lucrurile nu sunt scăpate din mâini, creta lasă urmă pe tablă, creionul — urmă pe hârtie; această forță permite să se efectueze viraje, menține rădăcinile plantelor în sol. Datorită forței de frecare de repaus se deplasează oamenii, animalele, transportul (fig. 13.5). În tehnică, în

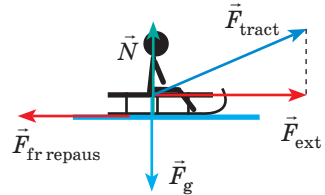


Fig. 13.4. Forțele exterioare tind să urnească corpul. Forța de frecare de repaus, care apare în acest caz, echilibrează forțele exterioare și corpul se află în stare de repaus



Fig. 13.5. Anvelopele automobilului în momentul atingerii cu suprafața drumului tind de fapt să efectueze mișcarea înapoi. Ca urmare apare forța de frecare de repaus, orientată înainte, — forță motoare

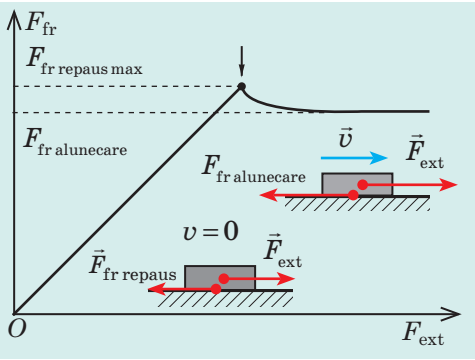


Fig. 13.6. Când forța de frecare de repaus atinge valoarea maximă, corpul începe să alunece (începe alunecarea)

Forța de frecare de alunecare $\vec{F}_{fr\ alunecare}$ — aceasta-i forța, care apare în timpul alunecării unui corp pe suprafața altuia și este orientată în sens opus direcției vitezei relative a mișcării corpurilor.

Forța de frecare de alunecare acționează în lungul suprafeței de contact a corpurilor și este puțin mai mică decât forța de frecare de repaus maximă (fig. 13.6). Anume din această cauză corpurile încep să se miște din loc prin salt și e mai greu să le urnești din loc decât apoi să le miști. Aceasta-i vizibil mai ales, când corpul e masiv.

Experiența voastră de zi cu zi mărturesește despre aceea, că forța de frecare de alunecare depinde de proprietățile suprafețelor tangențiale ale corpurilor și crește odată cu mărirea forței de reacțiune normală a suportului (fig. 13.7). Legea, care reflectă dependența $F_{fr\ alunecare}(N)$, a fost stabilită pe cale experimentală de către savantul francez *G. Amontons* (1663–1705) și verificată de către compatriotul său *Ch. Coulomb* (1736–1806), de aceea are denumirea de **legea lui Amonton — Coulomb**:

Forța de frecare de alunecare depinde de proprietățile suprafețelor tangențiale ale corpurilor și este direct proporțională cu forța de reacțiune normală a suportului N :

$$F_{fr\ alunecare} = \mu N$$

Aici μ — **coeficientul de frecare de alunecare**, care depinde de materialele și de calitatea prelucrării suprafețelor tangențiale, neînsemnat depinde de viteza relativă a mișcării suprafețelor tangențiale și este o mărime adimensională:

$$\mu = \frac{F_{fr\ alunecare}}{N}; [\mu] = 1 \frac{N}{N} = 1.$$

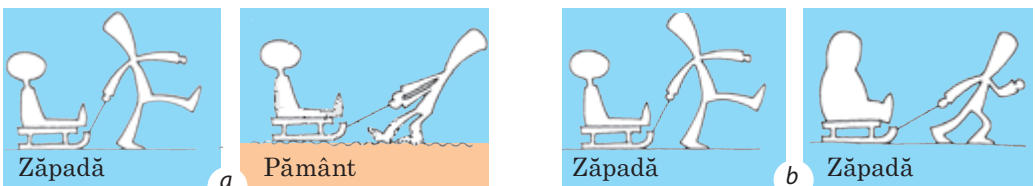


Fig. 13.7. Forța de frecare de alunecare depinde de calitatea și natura suprafețelor (a) și crește odată cu mărirea forței de reacțiune normală a suportului (b)

transport, în viața de toate zilele deseori sunt luate măsuri pentru mărirea maximală forței de frecare de repaus. Astfel, pe trepte sau pantofi se lipește straturi anti-alunecare, iarna, automobilele «se încălță» în anvelopele de iarna.

❓ Dați mai câteva exemple asemănătoare.

După ce rezultanta forțelor exterioare se egalează cu forța de frecare de repaus maximă, corpul începe să alunece — și atunci merge vorba despre *forța de frecare de alunecare*.

Valorile coeficienților de frecare de alunecare sunt determinați strict pe cale experimentală. De obicei tabelele coeficienților de frecare de alunecare conțin valorile orientative medii pentru perechi de materiale (vezi tab.).

Forța de frecare de alunecare poate fi micșorată, ungând suprafețele tangențiale. Ungerea solidă modifică calitatea suprafeței; ungerea lichidă îndepărtează suprafețele tangențiale una de alta — frecarea uscată se înlocuiește cu frecarea fluidă, cu mult mai slabă.

Frecarea se va micșora considerabil, dacă între suprafețele tangențiale se vor așeza rulmenți solizi, adică alunecarea se înlocuiește cu rostogolirea. Experiențele ne arată, că *pentru aceleași condiții forța de frecare de rostogolire e de zeci de ori mai mică decât forța de frecare de alunecare.*

Una dintre cauzele apariției forței de frecare de rostogolire constă în faptul, că suprafața, pe care se mișcă corpul sferic (cilindru, roata, bila) se deformează, de aceea corpul tot timpul parcă se rostogolește pe un mic plan înclinat (fig. 13.8). Cu cât e mai mare deformația suprafeței, cu atât mai mare este unghiul de înclinare al planului și cu atât e mai mare forța de frecare de rostogolire. Anume din această cauză *forța de frecare de rostogolire:*

- scade odată cu creșterea durității suprafeței, pe care se rostogolește corpul și durității materialului, din care este confecționat corpul;
- crește cu creșterea presiunii corpului asupra suprafeței;
- scade cu mărirea razei corpului.

Materiale	Coeficientul de frecare de alunecare
Oțel pe gheață	0,02
Oțel pe oțel	0,15
Bronz pe bronz	0,20
Lemn pe lemn	0,25
Hârtie (carton) pe lemn	0,40
Cauciuc pe beton	0,75

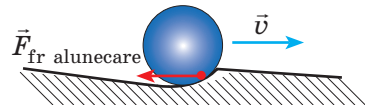


Fig. 13.8. Suprafața, pe care se rostogolește corpul se deformează și aceasta este una dintre cauzele apariției forței de frecare de rostogolire

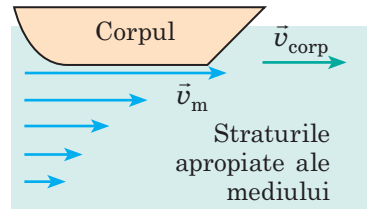


Fig. 13.9. Viteza de mișcare a straturilor mediului (v_{mad}) apropiate de corp se micșorează până la zero pe măsura îndepărtării de corp

4 De ce depinde forța de rezistență a mediului

Forța de rezistență a mediului (forța de frecare vâscoasă) \vec{F}_{rez} — forța, care apare în timpul mișcării corpului în interiorul unui mediu lichid sau gazos.

Vom examina câteva cauze ale apariției frecării vâscoase.

1. *Conturarea laminară.* Dacă corpul solid se mișcă în interiorul lichidului sau gazului, atunci straturile adiacente ale mediului se mișcă împreună cu corpul (fig. 13.9). Cu cât este mai mare vâscozitatea mediului, cu atât mai multe straturi sunt implicate la mișcare.

2. *Rezistența frontală.* Particulele mediului se ciocnesc cu corpul și încetinesc mișcarea lui.

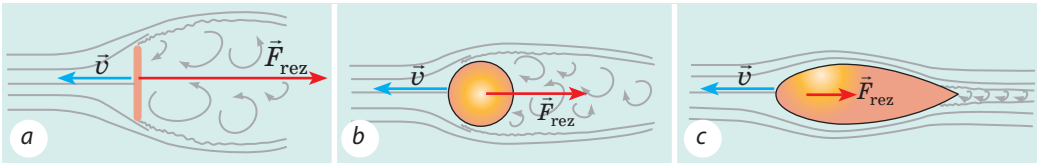


Fig. 13.10. În aceleași condiții forța de rezistență maximă acționează asupra șaibei (a), minimă — asupra corpului sub formă de picătură (aerodinamică) (b)

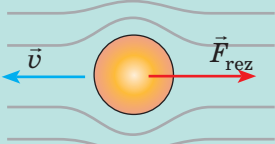
3. *Conturarea turbionară.* Dacă corpul se mișcă cu viteză mare, atunci conturarea laminară trece în turbionară: direct în urma corpului se formează o zonă cu presiune scăzută și corpul parcă este tras în această zonă, încetându-și mișcarea sa.

Forța de rezistență a mediului depinde în mod esențial de forma corpului (fig. 13.10).

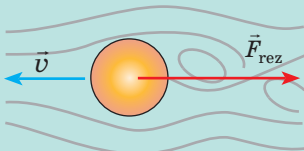
Forța de rezistență a mediului crește:

1) cu mărirea vitezei de mișcare a corpului v ; în acest caz:

- dacă $v < v_{cr}$, atunci $F_{rez} \sim v$



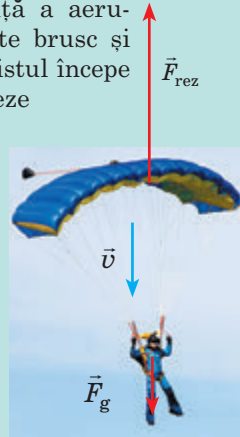
- dacă $v > v_{cr}$, atunci $F_{rez} \sim v^2$



v_{cr} — viteza critică — viteza de mișcare a corpului, la care conturarea laminară se transformă în turbionară

2) cu mărirea ariei secțiunii transversale a corpului.

De exemplu, în timpul căderii, parașutistul își mărește considerabil viteza, dar imediat după deschiderea parașutei, forța de rezistență a aerului crește brusc și parașutistul începe să frâneze



3) cu mărirea densității și vâscozității mediului, pentru anumite modificări ale calității suprafeței:

- mărirea densității mediului mărește rezistența frontală;
- mărirea vâscozității mediului și anumite asperități ale suprafeței corpului contribuie la încadrarea în mișcare a straturilor mai apropiate corpului



Fig. 13.11. Pentru însărcinarea din § 13

? Rechinii, delfinii, peștii se pot mișca destul de repede. Care sunt caracteristicile configurației capurilor lor, care particularități ale formei și suprafeței corpurilor lor, contribuie la aceasta?

Atrageți atenția! Nu există forță de frecare de repaus lichidă. Adică, dacă corpul, situat într-un mediu lichid sau gazos se află în stare de repaus în raport cu mediul, atunci forța de rezistență a mediului asupra lui nu acționează.

? Dar, de ce totuși pot zbura cocostârcii, planoarele, chiar și veverițele (fig. 13.11)? Ce forță compensează forța de greutate?

5 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. Un automobil trebuie să facă o cotitură cu raza de 45 m pe un drum orizontal. Ce viteză maximă poate dezvolta automobilul, pentru a se «încadra» în această cotitură? Coeficientul de frecare de alunecare a anvelopelor pe asfalt $\mu = 0,5$.

Analiza problemei fizice. Automobilul «nu se va încadra» în cotitură, dacă $\vec{F}_{\text{fr repaus}}$, care este orientată spre centrul circumferinței, va atinge valoarea maximă și «se va transforma» în forță de frecare de alunecare. Vom considera, că $F_{\text{fr repaus max}} = \mu N$.

Atrageți atenția: în afară de forța de frecare de repaus, care este orientată spre centrul circumferinței și împiedică alunecarea laterală a automobilului există și forța de frecare de repaus, care împiedică alunecarea roților de-a lungul direcției de mișcare a automobilului și este însăși forța de tracțiune a automobilului (fig. 13.12).

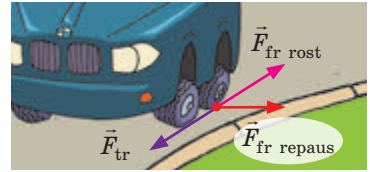


Fig. 13.12. Forțele de frecare, care acționează asupra roții motoare a automobilului în timpul virajului

Vom efectua un desen explicativ, reprezentând pe el forțele, care acționează asupra corpului și direcția accelerației mișcării. Vom lega sistemul de coordonate de un corp de pe suprafața Pământului.

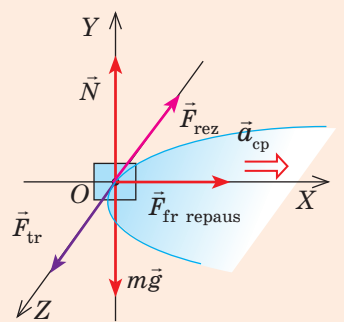
Дано:
 $r = 45 \text{ m}$
 $\mu = 0,5$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$
 $v_{\text{max}} \text{ — ?}$

Căutarea modelului matematic, rezoluția. Vom scrie legea a doua a lui Newton sub formă vectorială:

$$\vec{F}_{\text{tr}} + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{rez}} + \vec{F}_{\text{fr repaus}} = m\vec{a}_{\text{cp}}$$

Vom proiecta ecuația pe axele de coordonate:

$$\begin{cases} OX: F_{\text{fr repaus}} = ma_{\text{cp}}, \\ OY: N - mg = 0, \\ OZ: F_{\text{tr}} - F_{\text{rez}} = 0. \end{cases}$$



Deoarece $F_{\text{fr repaus max}} = \mu N = \mu mg$; $a_{\text{cp}} = \frac{v^2}{r}$, atunci avem: $\mu mg = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow v = \sqrt{\mu gr}$.

Verificăm unitatea de măsură, aflăm valoarea mărimii căutate:

$$[v] = \sqrt{\text{m/s}^2 \cdot \text{m}} = \text{m/s}; \quad v = \sqrt{0,5 \cdot 45 \cdot 10} = 15 \text{ (m/s)}.$$

Răspuns: $v_{\text{max}} = 15 \text{ m/s}$.



Facem totalurile

- Forța de frecare — aceasta-i forța, care apare în timpul mișcării sau a probei de mișcare a unui corp pe suprafața altuia, și de asemenea în timpul mișcării corpului în interiorul unui mediu lichid sau gazos. Forța de frecare întotdeauna este orientată de-a lungul suprafețelor de tangentă ale corpurilor și în direcția opusă vitezei mișcării lor relative

- Se deosebesc forțe de frecare de repaus, de frecare de alunecare, de frecare de rostogolire și rezistența mediului. Toate aceste forțe, în afară de forța de frecare de rostogolire, au o natură electromagnetică, deoarece sunt cauzate de interacțiunea dintre molecule.

♦ Forța de frecare de repaus este egală ca modul și opusă ca direcție cu rezultanta forțelor exterioare, care acționează asupra corpului: $\vec{F}_{\text{fr repaus}} = -\vec{F}_{\text{ext}}$.

♦ Forța de frecare de alunecare este direct proporțională cu forța de reacțiune normală a suportului: $F_{\text{fr alunecare}} = \mu N$, unde μ — coeficientul de frecare de alunecare, care depinde de materialele și de calitatea prelucrării suprafețelor tangențiale.

♦ Forța de frecare de rostogolire este direct proporțională cu forța de reacțiune normală a suportului, e cu mult mai mică decât forța de frecare de alunecare, depinde de raza corpului și materialul suprafețelor tangențiale.

♦ Forța de rezistență a mediului depinde esențial de forma corpului, crește odată cu mărirea vitezei de mișcare a corpului, aria secțiunii transversale, și de asemenea cu mărirea vâscozității și densității mediului.

Întrebări de control



1. Dați definiția forței de frecare. **2.** Ce feluri de frecare voi cunoașteți? **3.** Care sunt cauzele apariției frecării uscate? frecării fluide? **4.** De ce forța de frecare de repaus se numește forță motoare? **5.** Dați definiția forței de frecare de alunecare. Cum este ea orientată și după ce formulă ea se calculează? **6.** Cum poate fi micșorată (mărită) forța de frecare de alunecare? Dați exemple. **7.** De ce factori depinde forța de rezistență a mediului? Dați exemple.



Exercițiul nr. 13

- De ce este periculos de condus automobilul pe un drum umed sau cu polei?
- De ce, în cazul în care mașina turează, atunci sub roți se pune bușteni?
- De ce distanțele de sprint sunt depășite în încălțăminte cu cuie, iar cele lungi — în încălțăminte moale?
- Calculați distanța de frânare și timpul de frânare al unui automobil, dacă el se mișcă pe o porțiune dreaptă orizontală de drum și înainte de frânare avea viteza de 72 km/h. Coeficientul de frecare al cauciucului pe beton este de 0,8.
- Un atelaj de câini începe să tragă cu o forță constantă de 150 N o sanie cu masa de 100 kg. În ce interval de timp sania va parcurge primii 200 m de drum? Considerați, că coeficientul de frecare de alunecare a tălpilelor de sanie pe zăpadă este egal cu 0,05.
- Un muncitor împinge un vagonet cu o forță, orientată în jos sub un unghi de 45° față de orizont. Ce forță minimă trebuie să aplice muncitorul, pentru a urni vagonetul din loc, dacă masa lui este de 300 kg, iar coeficientul rezistenței este de 0,01*? Vagonetul se află în poziție orizontală.
- Dați exemple de mecanisme, aparate, adaptări, mijloace de transport de viteze mari contemporane, construindu-le pe care constructorii «au privit» în natură metodele de mărire sau micșorare a forțelor de frecare și rezistență a mediilor. În caz de necesitate folosiți-vă de surse suplimentare de informații.



Problemă experimentală

Folosind materialele ce stau la îndemână (cordon de cauciuc, corpuri de forme diferite, un aspirator, o bucată de carton, vas cu apă, o bilă de metal, etc.), efectuați o serie de experimente simple (vezi, de exemplu, desenul) privind identificarea factorilor, de care depinde rezistența mediului (sau forța de frecare de alunecare sau rostogolire). Descrieți aceste experimente sau pregătiți un raport video.



* Amintim: în astfel de probleme coeficientul de rezistență al mișcării (μ) ia în considerație toate tipurile de frecare: frecarea de rostogolire a roților, frecarea de alunecare în axe etc. În astfel de cazuri, forța de rezistență se calculează după formula $F_{\text{rez}} = \mu N$, unde μ — coeficientul de rezistență.



§ 14. ECHILIBRUL CORPURILOR. MOMENTUL FORȚEI



Imaginați-vă, că trebuie să luați o carte de pe raftul de sus. Punând un scaun, vă ridicați pe el pe degete și ... nu vă mențineți echilibrul. Dar iată Hopa mitică foarte repede se reîntoarce în poziție verticală și nicidecum nu-și pierde echilibrul! Ce este echilibrul și în ce condiții un corp real (nu modelul lui — punctul material) se află în echilibru?

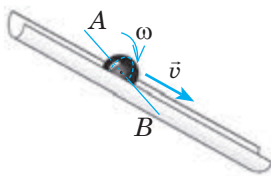


1

Ce este echilibrul corpului

Echilibrul corpului — aceasta-i păstrarea stării de mișcare sau de repaus a corpului o dată cu scurgerea timpului. Ce înseamnă *păstrarea stării de mișcare*? Pentru a clarifica aceasta vom da definiția mișcărilor *de translație* și *de rotație*.

Mișcarea de translație	Mișcarea de rotație
Mișcarea corpului, în care toate punctele corpului se mișcă la fel.	Mișcarea corpului, în care toate punctele corpului se mișcă după circumferințe, centrele cărora sunt situate pe o linie dreaptă — pe <i>axa de rotație</i> .



Mișcarea bilei, care se rostogolește într-un uluc înclinat, este compusă — ea poate fi descompusă în două feluri de mișcări simple:

- *de rotație* în raport cu axa AB cu o oarecare viteză unghiulară ω ;
- *de translație* — cu viteza \vec{v} , care este egală cu viteza mișcării punctelor bilei, care sunt situate pe axa AB.

Bila își va păstra starea de mișcare — va fi în echilibru, dacă vitezele mișcărilor ei de translație și de rotație vor rămâne *neschimbate*.

2

Centrul de masă al corpului

Dacă asupra unui corp imobil va fi aplicată o anumită forță, de obicei corpul va începe să se rotească și să se miște treptat. Însă peste un anumit timp mișcarea de rotație va înceta și corpul va începe să se miște numai prin translație. Aceasta va avea loc atunci, când linia de acțiune a forței va trece prin *centrul de masă al corpului*.

Centrul de masă al corpului — acesta-i punctul de intersecție al dreptelor, de-a lungul cărora sunt orientate forțele, ce provoacă numai mișcarea de translație a corpului (fig. 14.1).

Dacă dimensiunile corpului sunt mici în comparație cu raza Pământului, atunci *centrul de masă al corpului coincide cu centrul de greutate*. Amintim: *centrul de greutate al figurilor simetrice este situat în centrul lor geometric; centrul de greutate al triunghiului — în punctul de intersecție ale medianelor lui*.

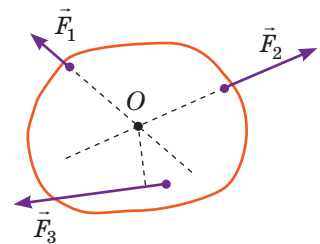


Fig. 14.1. Forțele \vec{F}_1 , \vec{F}_2 provoacă numai mișcarea de translație a corpului, doar liniile acțiunii acestor forțe trec prin centrul de masă al corpului (punctul O); forța \vec{F}_3 în afară de mișcarea de translație provoacă de asemenea mișcarea de rotație a corpului

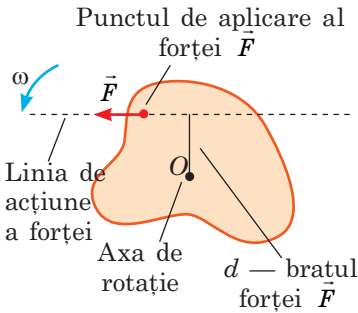


Рис. 14.2. Corpul se rotește împotriva micșării acului de ceasornic față de axa, care trece prin punctul O

Cu unele metode de determinare a centrului de masă al figurilor plane de formă geometrică neregulată veți face cunoștință în timpul lucrării de laborator nr. 4.

3 Amintim momentul forței

Momentul forței M — aceasta-i mărimea fizică, care este egală cu produsul dintre modulul forței F , care acționează asupra corpului și brațul d al acestei forțe:

$$M = Fd$$

Unitatea de măsură a momentului forței în SI — newton-metru: $[M] = 1 \text{ N} \cdot \text{m} (\text{Nm})$.

Braț al forței F — aceasta-i distanța minimă de la axa de rotație a corpului până la linia de acțiune a forței \vec{F} (vezi fig. 14.2).

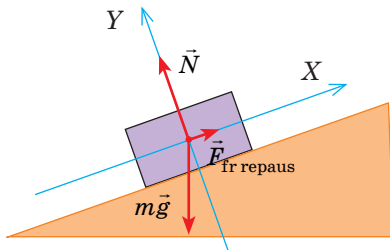
Forța \vec{F} , reprezentată în fig. 14.2, rotește corpul împotriva mișcării acelor de ceasornic —momentul unei astfel de forțe este primit să fie considerat pozitiv. Dacă forța rotește (sau încearcă să rotească) corpul după mersul acelor de ceasornic, atunci momentul acestei forțe se consideră negativ. De obicei asupra corpului acționează câteva forțe, momentele cărora pot fi atât pozitive cât și negative, dar pot să fie egale cu zero.

3 În ce condiții corpul se află în stare de echilibru

• Dacă corpul se poate mișca numai prin translație (nu se poate roti), atunci conform legii inerției un astfel de corp se află în echilibru, dacă rezultanta forțelor, aplicate corpului este egală cu zero:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$$

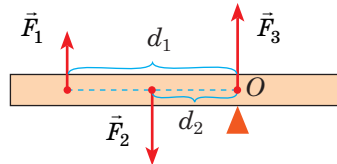
De exemplu. Un corp situat pe un plan înclinat se află în stare de echilibru, dacă forțele, ce acționează asupra lui sunt compensate: $\vec{F}_{\text{fr repaus}} + \vec{N} + m\vec{g} = 0$.



• Dacă corpul se poate numai roti (are o axă de rotație fixă), atunci conform regulii momentelor un astfel de corp se află în echilibru, dacă suma algebrică a momentelor forțelor, ce acționează asupra corpului, este egală cu zero:

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$$

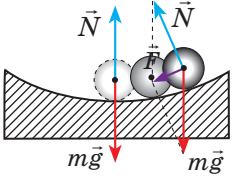
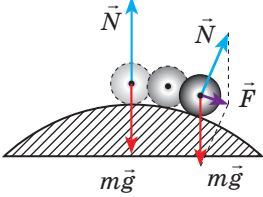
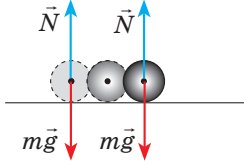
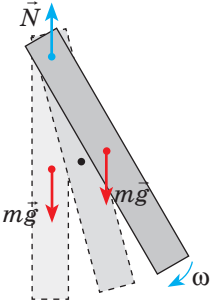
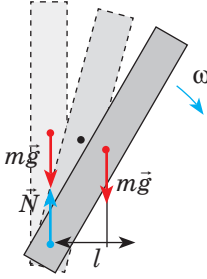
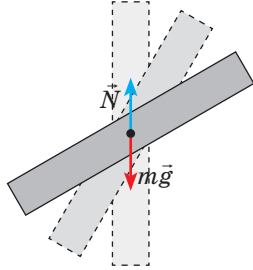
De exemplu. Pârghia se află în echilibru, dacă suma momentelor forțelor, ce acționează asupra ei este egală cu zero: $M_1 + M_2 + M_3 = 0$, unde $M_1 = -F_1 d_1$, $M_2 = F_2 d_2$ (forța \vec{F}_1 rotește pârghia în sensul acelor de ceasornic, forța \vec{F}_2 — în sens opus acelor de ceasornic); $M_3 = 0$ (deoarece $d_3 = 0$).



• Dacă corpul se poate mișca prin translație și de asemenea să se rotească în jurul unei oarecare axe, atunci acest corp se află în echilibru, dacă sunt respectate ambele condiții de echilibru: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$; $M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$

4 Felurile de echilibru

Se deosebesc trei feluri de echilibru al corpurilor: *echilibrul stabil*, *echilibrul instabil*, *echilibrul indiferent*.

Echilibrul stabil	Echilibrul instabil	Echilibrul indiferent
În cazul abaterilor mici de la poziția de echilibru corpul lăsat în seama lui revine în poziția inițială	În cazul abaterilor mici de la poziția de echilibru corpul și mai mult se abate de la poziția inițială	În cazul abaterilor mici de la poziția de echilibru corpul rămâne în poziția sa nouă
 <p>Rezultanta este orientată spre poziția de echilibru</p>	 <p>Rezultanta este orientată de la poziția de echilibru</p>	 <p>Rezultanta este egală cu zero</p>
 <p>Forțele sunt compensate, dar momentul forței $m\vec{g}$ întoarce corpul la poziția de echilibru</p>	 <p>Forțele sunt compensate, dar momentul forței $m\vec{g}$ îl abate și mai mult de la poziția de echilibru</p>	 <p>Forțele sunt compensate, suma momentelor acestor forțe este egală cu zero</p>

Atrageți atenția! Corpul, care are o axă de rotație fixă, se va afla în stare de *echilibru stabil*, dacă *centrul de greutate al corpului este situat mai jos decât punctul de suport sau de suspensie*.

În practică noi deseori ne întâlnim cu cazurile echilibrului corpurilor, care se sprijină pe câteva puncte sau pe o suprafață: omul se sprijină pe picioare, masa și scaunul — pe piciorușe, automobilul — pe roți, clădirea — pe temelie ș. a. m. d. (vezi, de exemplu, fig. 14.3).

Corpul, care se sprijină pe o suprafață orizontală, se află în stare de

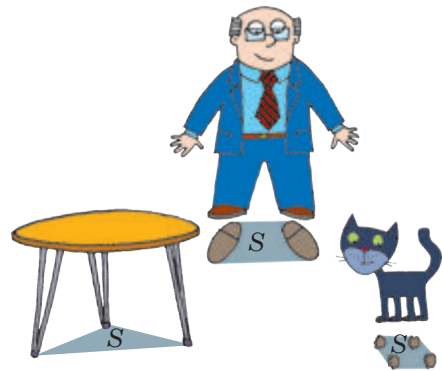


Fig. 14.3 Aria suportului unor obiecte (este notată cu S)

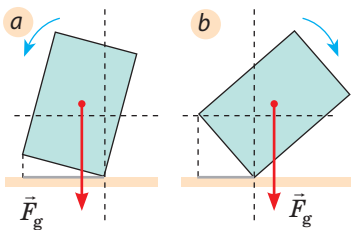


Fig. 14.4. Dacă linia de acțiune a forței de greutate trece în limitele ariei suportului, echilibrul este stabil (a), dacă în afară — echilibrul corpului este încălcat — corpul cade (b)

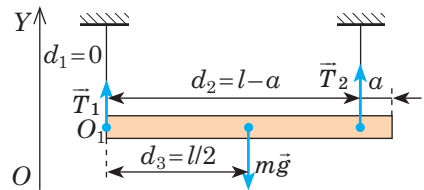
echilibru stabil, dacă linia verticală, dusă prin centrul de greutate al corpului, trece în limitele suprafeței suportului (fig. 14.3, 14.4 a).

Este evident: cu cât mai jos este situat centrul de greutate al corpului și cu cât mai mare este aria suportului corpului, cu atât mai stabil va fi acest corp. Anume din această cauză temeliile strungurilor se confecționează largi și masive, automobilele de curse au o înălțime foarte joasă, omul și animalul, pentru a obține o poziție stabilă, lărgesc și puțin îndoiaie picioarele (labele). Pentru a mări aria suportului, omul în vârstă în timpul mersului folosește cârja.

5 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. O grindă omogenă cu lungimea $l=10$ m și masa de 900 kg este ridicată pe două odgoane paralele. Calculați forțele de tensiune ale odgoanelor, dacă unul dintre ele este fixat la marginea grinzii, iar altul — la distanța $a=1$ m de la celălalt capăt al grinzii.

Analiza problemei fizice. Vom efectua un desen explicativ, pe care vom reprezenta forțele, care acționează asupra grinzii (forțele \vec{T}_1 și \vec{T}_2 de tensiune ale odgoanelor și forța de greutate $m\vec{g}$). Vom alege drept axă de rotație a grinzii axa, care trece prin punctul O_1 (acest punct se poate alege în mod arbitrar), și vom nota brațele forțelor: $d_1=0$, $d_2=l-a$, $d_3=l/2$.



Se dă:

$l=10$ m
 $m=900$ kg
 $a=1$ m

Căutarea modelului matematic, rezolvarea.

Vom scrie două condiții de echilibru ale corpului:
$$\begin{cases} \vec{T}_1 + \vec{T}_2 + m\vec{g} = 0, \\ M_1 + M_2 + M_3 = 0. \end{cases}$$

T_1 — ?
 T_2 — ?

Aici $M_1=0$, deoarece $d_1=0$; $M_2=T_2(l-a)$ — forța \vec{T}_2 încearcă să rotească grinda împotriva mersului acelor de ceasornic; $M_3=-mgl/2$ — forța de greutate încearcă să rotească grinda în sensul mișcării acelor de ceasornic.

Vom proiecta prima ecuație pe axa OY , vom înlocui expresiile pentru momentele forțelor și vom obține un sistem de ecuații liniare:
$$\begin{cases} T_1 + T_2 - mg = 0, \\ T_2(l-a) - mgl/2 = 0. \end{cases}$$

Din a doua ecuație a sistemului vom afla T_2 : $T_2(l-a) = \frac{mgl}{2} \Rightarrow T_2 = \frac{mgl}{2(l-a)}$.

Din prima ecuație a sistemului vom afla T_1 : $T_1 = mg - T_2$.

Verificăm unitatea de măsură a mărimilor căutate:

$$[T_2] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 \cdot \text{m}}{\text{m}} = \text{N}; \quad T_2 = \frac{900 \cdot 10 \cdot 10}{2 \cdot (10 - 1)} = 5000 \text{ (N)}.$$

$$[T_1] = \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 - \text{N} = \text{N}; \quad T_1 = 900 \cdot 10 - 5000 = 4000 \text{ (N)}.$$

Analiza rezultatelor. Primul odgon acționează asupra grinzii cu o forță mai mică, deoarece această forță este aplicată mai departe de la centrul de greutate al corpului. Rezultatul este real.

Răspuns: forțele de tensiune ale odgoanelor: $T_1=4$ kN; $T_2=5$ kN.



Facem totalurile

- Echilibrul corpului — aceasta-i păstrarea stării de mișcare sau de repaus a corpului o dată cu curgerea timpului. Păstrarea stării de mișcare înseamnă, că vitezele mișcărilor de translație și de rotație ale corpului vor rămâne neschimbate.
- Corpul se va afla în echilibru, dacă sunt respectate două condiții de echilibru: 1) rezultanta forțelor, aplicate corpului este egală cu zero: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$; 2) suma momentelor tuturor forțelor, ce acționează asupra corpului este egală cu zero: $M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$.
- Se deosebesc echilibrurile stabil, instabil, indiferent. Corpul abătut puțin de la poziția de echilibru în cazul echilibrului stabil se întoarce la poziția inițială; în cazul celui instabil — se abate și mai mult de la poziția de echilibru; în cazul echilibrului indiferent rămâne în poziția sa nouă.



Întrebări de control

1. Ce se numește echilibrul corpului? 2. Dați definiția centrului de masă.
3. Caracterizați momentul forței ca mărime fizică. 4. În ce condiții corpul se află în echilibru? 5. Care echilibru al corpului se numește stabil? instabil? indiferent? 6. Când corpul, ce se sprijină pe o suprafață orizontală, se află în stare de echilibru stabil?



Exercițiul nr. 14

1. În poziția cărui fel de echilibru se află corpurile reprezentate în fig. 1?
2. Dacă omul duce o sarcină grea în spate, atunci el se înclină înainte, iar dacă el duce greutatea în fața sa, se înclină înapoi. De ce?
3. De ce în cazul înclinării mari corabia se poate răsturna (fig. 2)? Unde e mai bine de amplasat bagajul (sub punte sau pe punte), pentru ca corabia să fie mai stabilă?

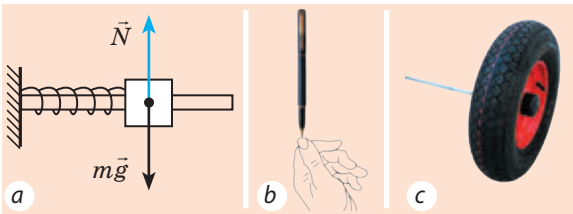


Fig. 1

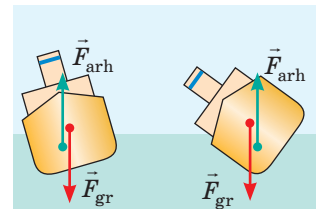


Fig. 2

4. O bară cu masa de 10 kg este sprijinită la distanța de 1/4 din lungimea ei. Ce forță trebuie aplicată perpendicular pe bară la capătul scurt al ei, pentru a menține bara în poziție orizontală?
5. O scară este sprijinită de un perete vertical neted. Coeficientul de frecare dintre picioarele scării și podea este de 0,4. Ce unghi maxim poate să formeze scara cu peretele? Centrul de greutate al scării este situat la mijlocul scării.
6. De ce banca s-a răsturnat (fig. 3)? Compuneți o problemă, dați masele corpurilor. Care trebuie să fie masa profesorului, pentru ca bancă să rămână nemișcată?



Fig. 3



Problemă experimentală

Agățând două furculițe, fixați-le pe unul din capetele chibritului, iar celălalt capăt al chibritului puneți-l pe vârful compasului așa, cum este indicat în fig. 4. Explicați de ce furculițele nu cad. Folosind surse suplimentare de informații mai găsiți câteva experiențe interesante referitoare la echilibrul corpurilor și efectuați-le.



Fig. 4

§ 15. LUCRUL MECANIC. ENERGIA CINETICĂ. PUTEREA



Pentru ca ceasul mecanic să funcționeze, trebuie de-l pornit — de răsucit arcul; răsucindu-se, arcul va efectua lucru. Ridicându-se în vârful muntelui, schiorul creează, de asemenea o «rezervă de lucru» și în rezultat, primește posibilitatea să alunece în jos; totodată lucru va efectua forța de greutate.

Cea mai ușoară metodă de a sparge un geam într-o casă cuprinsă de foc — de a arunca o piatră în geam. Dacă viteza pietrei este suficientă, ea va sparge geamul — va efectua un lucru.

Despre corpul sau sistemul de corpuri, care pot efectua un lucru, se spune că ele au energie. Despre energia mecanică și lucrul mecanic va merge vorba în acest paragraf.

1 Când forța efectuează un lucru mecanic

Problema fundamentală a mecanicii este de a determina starea mecanică a corpului (coordonatele și viteza de mișcare) în orice moment de timp. Starea mecanică a corpului nu variază de la sine însăși — e necesară o interacțiune, adică prezența unei forțe. Când corpul se deplasează (își schimbă starea sa mecanică) sub acțiunea forței, atunci se spune, că această forță efectuează un *lucru mecanic*.

Lucrul mecanic (lucrul forței) A — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează variația stării mecanice a corpului și este egală cu produsul dintre modulul forței F , modulul deplasării și cosinusul unghiului dintre vectorul forței și vectorul deplasării α :

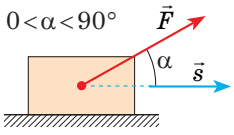
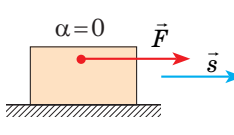
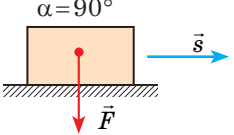
$$A = F s \cos \alpha$$

Unitatea de măsură a lucrului în SI — **Joulul**:

$$[A] = 1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}).$$

1 J este egal cu lucrul mecanic, pe care îl execută forța de 1 N, deplasând corpul cu 1 m în direcția acțiunii acestei forțe.

Lucrul forței, ce acționează asupra corpului este mărime scalară, însă ea poate fi pozitivă, negativă sau să fie egală cu zero — în dependență de aceea, încotro este orientată forța în raport cu direcția de mișcare a corpului (vezi tab. de la pag. 93).

Lucrul este pozitiv $A > 0$	Lucrul este negativ $A < 0$	Lucrul este egal cu zero $A = 0$	
$0 < \alpha < 90^\circ$ 	$\alpha = 0$ 	$\alpha = 90^\circ$ 	
$A = F s \cos \alpha$, $\cos \alpha > 0$	$A = F s$, $\cos \alpha = 1$	$A = -F s$, $\cos \alpha = -1$	$A = 0$, $\cos \alpha = 0$

? Gândiți-vă, mai la care unghiuri, ce nu sunt indicate în tabel lucrul forței va fi negativ. Mai în care cazuri lucrul forței va fi egal cu zero?

2 Care este sensul geometric al lucrului forței

Vom examina forța, care acționează sub un anumit unghi față de direcția deplasării corpului. Aflăm proiecția acestei forțe pe direcția deplasării corpului, pentru ce vom orienta axa OX în direcția mișcării corpului (fig. 15.1, a). Din figură vedem, că $F_x = F \cos \alpha$, prin urmare $A = F_x s$.

Vom construi graficul $F_x(s)$ — dependenței modulului proiecției forței de modulul deplasării. Dacă forța, ce acționează asupra corpului, este constantă, graficul acestei dependențe reprezintă un segment de dreaptă paralelă axei deplasării (fig. 15.1, b). Din figura se vede, că produsul dintre F_x și s corespunde ariei S a dreptunghiului de sub grafic. În aceasta constă **sensul geometric al lucrului forței**: lucrul forței numeric egal cu aria figurii de sub graficul dependenței proiecției forței de modulul deplasării.

Această afirmație se extinde și în cazul, când forța variază (fig. 15.1, c, d).

3 Când corpul are energie cinetică

Să studiem un corp de masă m , care sub acțiunea forței rezultante \vec{F} își mărește viteza mișcării sale de la v_0 până la v . Fie, că rezultanta nu variază cu timpul și este orientată în direcția mișcării corpului. Vom determina lucrul acestei forțe.

- Conform definiției lucrului: $A = F s \cos \alpha$.

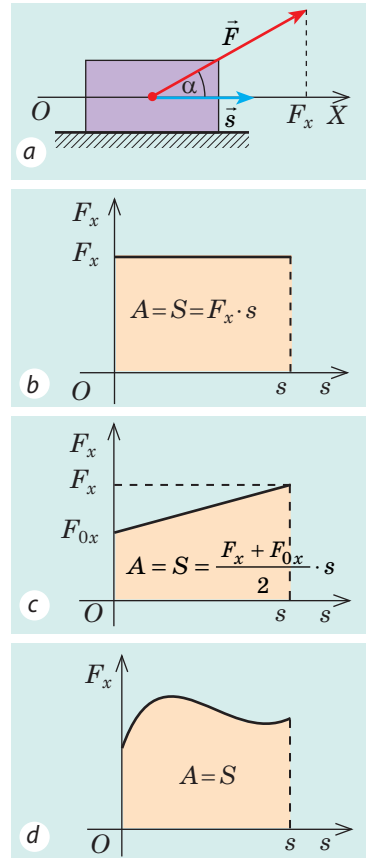


Fig. 15.1. Dacă direcția axei OX coincide cu direcția mișcării corpului, atunci lucrul forței A numeric este egal cu aria figurii A de sub graficul $F_x(s)$

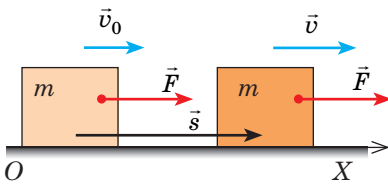


Fig. 15.2. Pentru deducerea teoremei despre energia cinetică

• Forța acționează în direcția de mișcare a corpului ($\vec{F} \uparrow \vec{s}$), de aceea unghiul α în acest caz este egal cu zero, adică $\cos \alpha = 1$ (fig. 15.2).

• Deoarece forța \vec{F} este constantă și orientată în direcția mișcării corpului, atunci corpul se mișcă rectiliniu uniform accelerat, de aceea

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}.$$

• Conform legii a doua a lui Newton: $F = ma$.

Înlocuind expresiile pentru F , s și $\cos \alpha$ în formula lucrului, obținem:

$$A = ma \cdot \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{m(v^2 - v_0^2)}{2}, \text{ sau } A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

Mărimea $\frac{mv^2}{2}$ se notează cu simbolul E_k și se numește *energie cinetică* a corpului.

Energia cinetică — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează starea mecanică a corpului mobil și este egală cu jumătate din produsul masei corpului la pătratul vitezei a mișcării lui:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Teorema despre energia cinetică: lucrul rezultantei tuturor forțelor, care acționează asupra corpului este egal cu variația energiei cinetice a corpului:

$$A = E_k - E_{k0} = \Delta E_k$$

Dacă la momentul inițial de timp corpul este imobil ($v_0 = 0$), dică $E_{k0} = 0$, atunci teorema despre energia cinetică se reduce la egalitatea:

$$A = E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Energia cinetică a corpului, ce se mișcă cu viteza v , este egală cu lucrul, pe care îl efectuează forța pentru aceea, ca să-i imprime corpului imobil viteza dată.

? Ce lucru a efectuat asupra voastră forța de greutate, dacă de pe trepte ați atins viteza de 3 m/s?

4 Ne amintim de putere

Atrageți atenția! Până acum am vorbit despre lucrul forței. Dar orice forță caracterizează acțiunea unui oarecare corp (sau câmp). De aceea lucrul forței deseori este numit lucrul corpului (lucrul câmpului), din partea căruia acționează această forță. În practică o mare însemnătate are nu numai lucrul

* După această formulă se determină *energia cinetică a mișcării de translație a corpului*. Dacă corpul se mai și rotește, atunci în afară de energia cinetică a mișcării de translație el are de asemenea și *energie cinetică a mișcării de rotație*.

efectuat, ci și timpul, în decursul căruia acest lucru este efectuat. De aceea pentru caracterizarea mecanismelor, destinate pentru efectuarea lucrului se folosește noțiunea de *putere*.

Puterea P (sau N) — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează viteza efectuării lucrului și e egală cu raportul lucrului A către intervalul de timp t , în decursul căruia acest lucru a fost efectuat:

$$P = \frac{A}{t}$$

Unitatea de măsură a puterii în SI — **wattul**:

$$[P] = 1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} \left(1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} \right).$$

(Numită în cinstea lui James Watts (1736–1819). Ca unitate de măsură a puterii el a introdus *cai putere*, care uneori este folosită și astăzi: 1 CP = 746 W.)

Puterea, pe care o dezvoltată un mijloc de transport e comod să se determine prin forța de tracțiune și viteza de mișcare. Dacă în acest interval de timp corpul se mișcă uniform, iar direcția forței de tracțiunii coincide cu direcția deplasării, atunci puterea de tracțiune a motorului poate fi calculată după formula:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{Fs}{t} = F \cdot \frac{s}{t} = Fv.$$

Această formulă se adevărește și în cazul mișcării neuniforme: *puterea, pe care o dezvoltă motorul în momentul de timp dat este egală cu produsul dintre modulul forței de tracțiune și modulul vitezei lui momentane: $P = Fv$* (fig. 15.3).



Fig. 15.3. Când pentru mișcarea automobilului este necesară o forță mai mare, șoferul trece la o viteză mai mică sau apasă pe accelerație, mărind astfel puterea motorului

5 Ne învățăm a rezolva probleme

Pentru a determina lucrul mecanic și puterea, trebuie de știut *forța*, care acționează asupra corpului, *deplasarea* corpului și *timpul* mișcării lui. De aceea, de obicei, rezolvarea problemelor referitoare la determinarea lucrului și a puterii sunt reduse la rezolvarea problemelor de cinematică și dinamică.

Problemă. Un automobil cu masa de 2 t se mișcă uniform cu viteza de 20 m/s pe o porțiune orizontală de drum. Ce forțe acționează asupra automobilului? Determinați lucrul fiecărei forțe și puterea de tracțiune a motorului automobilului, dacă coeficientul de rezistența a mișcării este egal cu 0,01, iar timpul mișcării — cu 50 s.

Se dă:

$$m = 2 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$v = 20 \text{ m/s}$$

$$\mu = 0,01$$

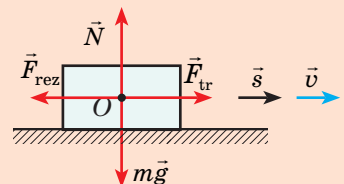
$$t = 50 \text{ s}$$

$$A = ?$$

$$P = ?$$

Rezolvarea. Vom efectua un desen explicativ, în care vom reprezenta forțele, ce acționează asupra automobilului: forța de greutate $m\vec{g}$, forța de tracțiune \vec{F}_{tr} , forța de rezistență a mișcării \vec{F}_{rez} , forța de reacțiunea normală a suportului \vec{N} . Conform definiției lucrului:

$$A = Fscos\alpha.$$



Pentru a determina lucrul fiecărei forțe, trebuie de știut:

- unghiul dintre direcția acestei forțe și direcția deplasării;
- modulul forței și modulul deplasării.

1. Automobilul se mișcă uniform, de aceea forțele, care acționează asupra automobilului sunt compensate:

— forța de greutate este compensată de forța de reacțiune normală a suportului: $N = mg$;

— forța de tracțiune este compensată de forța de rezistență a mișcării: $F_{tr} = F_{rez} = \mu N$.

2. Deplasarea automobilului în timpul mișcării rectilinii uniforme se poate afla după formula $s = vt$.

3. Forța de greutate și forța de reacțiune normală a suportului sunt perpendiculare pe direcția de mișcare a automobilului ($\alpha = 90^\circ$, $\cos\alpha = 0$). Așadar, lucrul acestor forțe este egal cu zero.

Forța de tracțiune este orientată în direcția de mișcare a corpului. Deoarece $\alpha = 0$, atunci $\cos\alpha = 1$, de aceea $A(F_{tr}) = F_{tr}s = \mu mgvt$.

Forța de rezistență este opusă direcției de mișcare a corpului: $\alpha = 180^\circ$, $\cos\alpha = -1$, de aceea $A(F_{rez}) = -F_{rez}s = -\mu mgvt$.

4. Puterea de tracțiune a motorului automobilului vom determina-o din formula

$$P = \frac{A(F_{tr})}{t}$$

Verificăm unitățile de măsură, aflăm valoarea mărimilor căutate:

$$[A] = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \text{s} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}; [P] = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W}.$$

$$A(F_{tr}) = 0,01 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 50 = 200 \cdot 10^3 (\text{J}); A(F_{rez}) = -200 \text{ kJ}; P = \frac{200 \cdot 10^3}{50} = 4 \cdot 10^3 (\text{W}).$$

Răspuns: $A(F_g) = 0$; $A(N) = 0$; $A(mg) = 0$; $A(F_{tr}) = 200 \text{ kJ}$; $A(F_{rez}) = -200 \text{ kJ}$; $P = 4 \text{ kW}$.



Facem totalurile

- Lucrul forței — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează variația stării mecanice a corpului și se calculează după formula: $A = Fscos\alpha$. Unitatea de măsură a lucrului în SI — Joule: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$.

- Lucrul rezultantei tuturor forțelor, care acționează asupra corpului este egal cu variația energiei cinetice a corpului: $A = E_k - E_{k0} = \Delta E_k$.

- Energia cinetică — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează starea mecanică a corpului mobil și este egală cu jumătate din produsul masei corpului m la pătratul vitezei v a mișcării lui: $E_k = \frac{mv^2}{2}$.

- Puterea P (sau N) — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează viteza efectuării lucrului și este egală cu raportul lucrului A către intervalul de timp t , în decursul căruia acest lucru a fost efectuat: $P = \frac{A}{t}$. Puterea de asemenea poate fi calculată după formula: $P = Fv$.



Întrebări de control

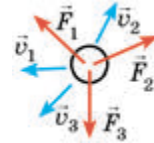
1. Dați definiția lucrului mecanic. Care este unitatea de măsură a lui în SI? 2. În ce cazuri valoarea lucrului este pozitivă? negativă? egală cu zero? 3. Care este sensul geometric al lucrului forței? 4. Dați definiția energiei cinetice. 5. Demonstrați teorema despre energia cinetică. 6. Formulați definiția puterii. Care este unitatea de măsură a ei în SI? Cum de determinat puterea în momentul de timp dat?



Exercițiul nr. 15

1. Dați exemple de situații, când forța, ce acționează asupra corpului efectuează un lucru pozitiv; lucru negativ; nu efectuează lucru.
2. Ce lucru trebuie de efectuat, pentru a ridica uniform o greutate cu masa de 10 kg la înălțimea de 5 m?
3. În timpul zborurilor interplanetare ciocnirea navei cu meteoriți de viteze mari poate deveni un pericol serios. Determinați energia cinetică a meteoritului cu masa de 1 kg, care se mișcă cu viteza de 60 km/s.
4. În figură sunt reprezentate forțele, ce acționează asupra unui corp. Stabiliți corespondența dintre direcția posibilă a mișcării corpului și semnul lucrului forței.

- | | |
|---------------|-------------------------------|
| 1 \vec{v}_1 | A $A_1 > 0, A_2 < 0, A_3 = 0$ |
| 2 \vec{v}_2 | B $A_1 > 0, A_2 > 0, A_3 < 0$ |
| 3 \vec{v}_3 | C $A_1 < 0, A_2 > 0, A_3 > 0$ |
| | D $A_1 = 0, A_2 < 0, A_3 > 0$ |



5. Un automobil cu masa de 1 t și-a mărit viteza mișcării sale de la 10 până la 20 m/s. Determinați lucrul rezultantei forțelor, care acționează asupra automobilului.
6. O rachetă, ce zboară cu viteza v_0 , luându-și avânt și-a dublat viteza. În rezultatul arderii combustibilului masa totală a rachetei s-a micșorat de două ori în comparație cu masa ei înainte de începutul avântului. De câte ori s-a schimbat totodată energia cinetică a rachetei?
7. Un automobil cu masa de 2 t pornește din loc cu accelerația de 2 m/s^2 și își ia avânt pe o porțiune orizontală de drum până la viteza de 20 m/s. Determinați lucrul forței de tracțiune și puterea medie a motorului automobilului, dacă coeficientul de rezistență a mișcării este egal cu 0,01.
8. Când un om stă și ține o sarcină grea, el nu efectuează lucru, doar în acest caz deplasarea sarcinii este egală cu zero. De ce atunci omul obosește? Încercați să dați răspuns la această întrebare în mod independent. Dacă nu veți reuși, folosiți-vă de surse suplimentare de informații.



9. Amintiți-vă, ce fel de energie mecanică, în afară de cinetică, mai cunoașteți. Dați exemple de corpuri, ce au această energie.

Fizica și tehnica în Ucraina



Întreprinderea de stat «Antonov» (Kiev) — concernul ucrainean de construcții a avioanelor, ce îmbină biroul de construcții, complexul de laboratoare, complexul de testare și uzina experimentală.

În anul 1946 la Novosibirsk a fost creat biroul de proiectare experimentală — DKB-153, al cărui constructor-principal a fost numit renumitul constructor de avioane sovietic ucrainean Oleg Constantinovici Antonov (1906 — 1984). În anul 1952, DKB s-a mutat la Kiev, unde a început producția în serie a cunoscutului avion An-2.

Astăzi la întreprindere sunt fabricate avioane de peste 100 de tipuri, se produc proiectări, se efectuează producția, modernizarea tehnici aeriene și a transportului terestru, se realizează transportul aerian internațional etc.

§ 16. ENERGIA POTENȚIALĂ. LEGEA CONSERVĂRII ENERGIEI MECANICE



Un ciocan greu ridicat la o anumită înălțimea deasupra suprafeței Pământului n-are energie cinetică, deoarece viteza mișcării lui este egală cu zero. Însă, dacă lăsăm ciocanul să cadă, atunci el efectuează un lucru, de exemplu, va turti metalul. Coarda întinsă a arcului tot n-are energie cinetică, însă îndreptându-se imprimă viteză săgeții, și deci efectuează un lucru. Și corpul deformat, și corpul ridicat deasupra suprafeței Pământului, sunt capabili să efectueze un lucru, adică au energie. Ce fel de energie este aceasta și cum de o calculat?

1

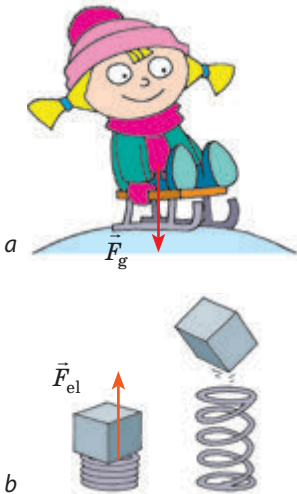
Când corpul are energie potențială

Energia mecanică E — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează capacitatea corpului (a sistemului de corpuri) de a efectua un lucru.

Unitatea de măsură a energiei în SI (ca și a lucrului) — Joulele $[E]=1 \text{ J (J)}$.

Orice corp, care se mișcă poate efectua un lucru, deoarece are energie cinetică, sau «forță vie», cum o numeau în trecut. Mai este un fel de energie mecanică — ea a fost numită «forță moartă». Aceasta-i — energia potențială (de la latin. *potentia* — putere, posibilitate), — energia, pe care o posedă corpul în urma interacțiunii cu alte corpuri.

Energia potențială E_p — aceasta-i energia, pe care o are corpul în urma interacțiunii cu alte corpuri sau în urma interacțiunii părților corpului între ele.



Fetița pe vârful delușorului (fig. 16.1, a) are energie potențială, fiindcă în rezultatul interacțiunii cu Pământul poate începe mișcarea și forța de greutate va efectua un lucru. Dar cum de calculat acest lucru, doar delușorul nu este drept și de aceea pe parcursul întregului timp al mișcării unghiul dintre direcția forței de greutate și direcția deplasării va varia?

Resortul comprimat (fig. 16.1, b) de asemenea are energie potențială, fiindcă la dilatarea resortului forța elastică va efectua un lucru — va arunca cărămida. Dar cum de calculat acest lucru, doar în timpul acțiunii resortului asupra cărămizii forța elastică neconținut scade.

Iese la iveală, că nu este atât de complicat. Și forța de greutate și forța elastică au o proprietate «minunată» — lucrul acestor forțe nu depinde de forma traiectoriei.

Fig. 16.1. Și fetița în urma interacțiunii cu Pământul (a) și resortul comprimat în urma interacțiunii spirelor (b) au energie potențială

Forțele, lucrul cărora nu depinde de forma traiectoriei, dar se determină numai prin stările inițială și finală ale corpului (sistemului de corpuri) se numesc **forțe conservative** sau **potențiale** (de la latin. *conservare* — a conserva, a păzi).

2 Energia potențială a corpului ridicat

Să demonstrăm, că forța de greutate este forța conservativă. Pentru aceasta vom determina lucrul forței de greutate în timpul mișcării corpului din punctul K în punctul B în lungul traiectoriilor diferite.

Cazul 1. Fie că traiectoria mișcării corpului — «treaptă» (fig. 16.2, a): inițial corpul cade de la o anumită înălțime h_0 până la înălțimea h și forța de greutate efectuează lucrul A_1 , apoi corpul se mișcă orizontal și forța de greutate efectuează lucrul A_2 . Lucrul — mărime aditivă, de aceea lucrul total $A = A_1 + A_2$.

$A_1 = F_g s_1 \cos \alpha$, unde $F_g = mg$, $s_1 = h_0 - h$, $\cos \alpha = 1$ ($\alpha = 0$), de aceea $A_1 = mg(h_0 - h) = mgh_0 - mgh$; $A_2 = 0$ deoarece forța de greutate este perpendiculară pe deplasarea corpului. Deci:

$$A = mgh_0 - mgh.$$

Cazul 2. Fie că corpul se deplasează din punctul K în punctul B , alunecând pe un plan înclinat (fig. 16.2, b). În acest caz lucrul forței de greutate constituie: $A = mgs \cos \alpha = mg(h_0 - h) = mgh_0 - mgh$.

Același rezultat vom obține și pentru cazurile deplasării corpului pe o traiectorie arbitrară.

Așadar, *lucrul forței de greutate nu depinde de forma traiectoriei mișcării corpului, adică forța de greutate — forță conservativă.*

Mărimea mgh este numită **energie potențială a corpului ridicat**:

$$E_p = mgh$$

Energia potențială a corpului ridicat depinde de înălțimea, la care este situat corpul, deci depinde de alegerea nivelului nul — *nivelului, de la care se va duce evidența înălțimii.* Nivelul nul trebuie ales conducându-se de raționamente de comoditate. Astfel, aflându-ne în clasă este rațional de considerat nivelul nul podeaua, determinând înălțimea muntelui — suprafața oceanului mondial. *Atrageți atenția! Variația energiei potențiale, și deci și lucrul forței de greutate nu depind de alegerea nivelului nul.*

3 Energia potențială a corpului elastic deformat

Fie că avem un corp elastic deformat, de exemplu resortul extins. Să determinăm lucrul, pe care-l va efectua forța elastică în timpul micșorării alungirii resortului de la x_0 până la x (fig. 16.3).

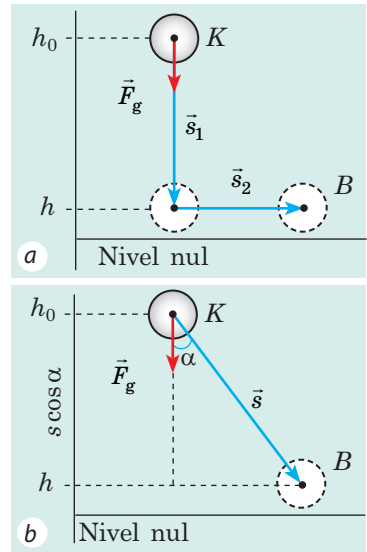


Fig. 16.2. În cazul deplasării corpului de la înălțimea h_0 până la înălțimea h lucrul forței de greutate, independent de traiectoria mișcării corpului, se va determina conform formulei $A = mgh_0 - mgh$

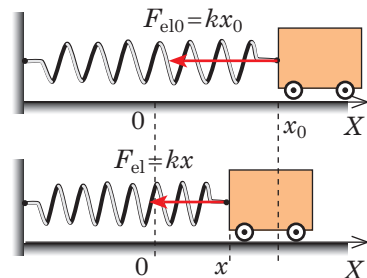


Fig. 16.3. Dacă se va elibera resortul, atunci el comprimându-se va efectua un lucru (va imprima mișcare căruciorului), totodată deformația resortului se va micșora

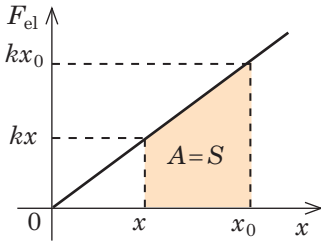


Fig. 16.4. Forța elastică depinde linear de alungire ($F_{el} = kx$), de aceea graficul dependenței $F_{el}(x)$ — un segment de dreaptă, iar lucrul forței elastice este egal cu aria trapezului de sub grafic

Pentru aceasta ne vom folosi de sensul geometric al lucrului mecanic (fig. 16.4):

$$A = \frac{kx_0 + kx}{2}(x_0 - x) \Rightarrow A = \frac{kx_0^2}{2} - \frac{kx^2}{2}.$$

Deci, lucrul forței elastice este determinat numai de stările inițială și finală ale resortului, adică forța elastică — forță conservativă. Mărimea $kx^2 / 2$ se numește **energie potențială a corpului elastic deformat**:

$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

Lucrul forței elastice (la fel ca și lucrul forței de greutate) este egal cu variația energiei potențiale a corpului, luat cu semnul minus:

$$A = E_{p0} - E_p = -\Delta E_p$$

Ultima expresie — notarea matematică a **teoremei despre energia potențială**: lucrul tuturor forțelor conservative, care acționează asupra corpului, este egal cu variația energiei potențiale a corpului, luată cu semnul minus.

Starea cu energia potențială mai mică este mai convenabilă din punct de vedere energetic; orice sistem închis tinde să treacă în așa o stare, în care energia lui potențială să fie minimă, — în aceasta constă **principiul minimului energiei potențiale**. Într-adevăr, o piatră, scăpată din mâini nicidecum nu va zbura în sus — ea va cădea, tinzând să atingă starea cu energie potențială minimă. Un resort nedeformat nicidecum nu va începe să se alungească sau să se comprime singur, iar fiind deformat tinde să treacă în starea nedeformată.

4 Legea conservării energiei mecanice totale

Deseori corpul sau sistemul de corpuri are energie și potențială și cinetică.

Suma energiilor cinetică și potențială a sistemului se numește energie mecanică totală a sistemului de corpuri (fig. 16.5):

$$E = E_c + E_p$$

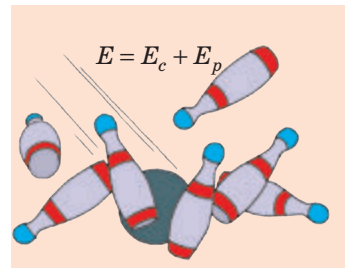
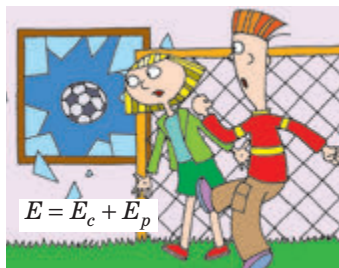
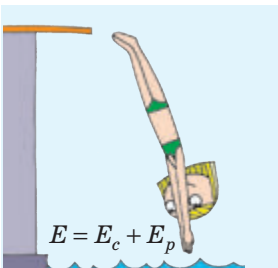


Fig. 16.5. Energia mecanică totală E a sistemului de corpuri este egală cu suma dintre energia potențială E_p (se determină prin amplasarea reciprocă a corpurilor sistemului) și energia cinetică E_c (se determină prin viteza de mișcare a corpurilor sistemului)

Să considerăm un sistem închis de corpuri, care interacționează unul cu altul *numai prin forțe conservative* (cu forțe de greutate sau cu forțe de elasticitate). Conform teoremei despre energia potențială lucrul efectuat de aceste forțe este egal cu: $A = E_{p0} - E_p$. Din altă parte, în conformitate cu teorema despre energia cinetică tot *același lucru este egal cu*: $A = E_k - E_{k0}$. Egalând părțile drepte ale egalităților vom obține **legea conservării energiei mecanice totale**:

Într-un sistem de corpuri închis, care interacționează numai cu forțe conservative, energia mecanică totală rămâne constantă (se păstrează):

$$E_{p0} + E_{k0} = E_p + E_k$$

Legea conservării energiei mecanice totale prevede *transformarea energiei cinetice în potențială și invers* (fig. 16.6). Însă se va conserva oare în acest caz energia mecanică totală? Experiența noastră ne afirmă, că nu.

Chestia constă în aceea, că *legea conservării energiei mecanice totale se realizează numai în acel caz, dacă în sistem lipsește frecarea*. Însă în natură nu există mișcări, care să nu fie însoțite de frecare. Forța de frecare totdeauna este orientată în sens opus mișcării corpului, de aceea în timpul mișcării ea efectuează un lucru negativ, totodată energia mecanică totală a sistemului se va micșora:

$$A_{fr} = E - E_0 = \Delta E,$$

unde A_{fr} lucrul forței de frecare; E — energia mecanică totală a sistemului spre sfârșitul observării; E_0 — energia mecanică totală a sistemului la începutul observării.

Pierderi de energie au loc și în cazul ciocnirii neelastice.

Deci în cazul prezenței frecării sau în cazul deformației neelastice energia dispare fără urmă? S-ar părea că așa este. Însă măsurătorile arată, că și în urma frecării, și în urma ciocnirii neelastice temperatura corpurilor, ce interacționează se mărește, adică se mărește energia lor internă. Așadar, energia cinetică nu dispare, dar se transformă în energie internă.

Energia nicăieri nu dispare și de nicăieri nu apare: ea numai se transformă dintr-o formă în alta, se transmite de la un corp la altul.

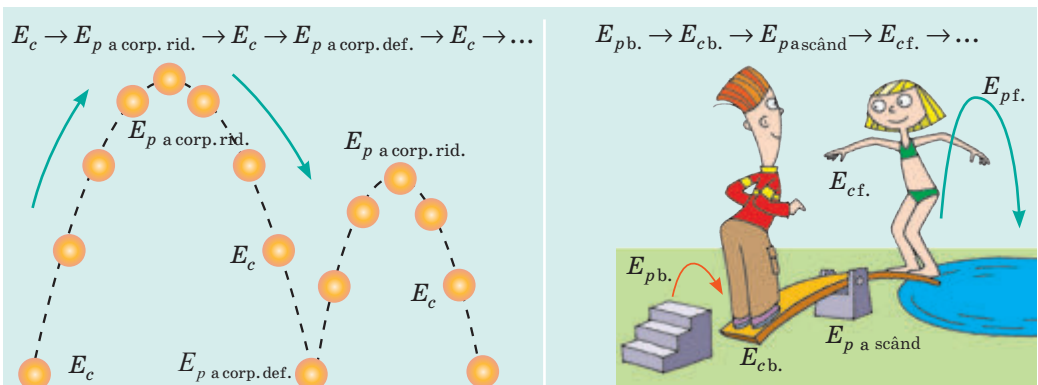


Fig. 16.6. Transformarea unui fel de energie mecanică în altul se observă pretutindeni

Algoritmul rezolvării problemelor cu aplicarea legii conservării energiei mecanice

1. Citiți condiția problemei. Aflați, dacă sistemul este închis, dacă se poate neglija acțiunea forțelor de rezistență. Notați pe scurt condiția problemei.

2. Efectuați un desen explicativ, pe care să marcați nivelul nul, stările inițială și finală ale corpului (sistemului de corpuri).

3. Scrieți legea conservării și conversiei energiei mecanice. Concretizați această înscrisere, folosind datele din contextul condiției problemei, formulele corespunzătoare pentru determinarea energiei.

4. Rezolvați ecuația obținută în raport cu mărimea necunoscută.

5. Verificați unitatea de măsură, aflați valoarea mărimii căutate.

6. Analizați rezultatul, scrieți răspunsul.

5 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. Aflați viteza minimă, care trebuie comunicată unei bile suspendate de un fir, care îi va permite să efectueze o rotație completă în plan vertical. Lungimea firului este egală cu 0,5 m; neglijați rezistența.

Analiza problemei fizice

- Neglijăm rezistența aerului, de aceea sistemul «bilă — fir — Pământ» este închis și se poate folosi legea conservării energiei mecanice.

- Drept nivel nul vom alege poziția inferioară a bilei.

- În punctul superior al traiectoriei bila are o anumită viteză, altfel ea nu ar continua să se rotească, dar ar începe să cadă vertical în jos.

- Pentru determinarea vitezei de mișcare a bilei în punctul de sus, superior, al traiectoriei ne vom folosi de definiția accelerației centripete și de legea a doua a lui Newton.

- Trebuie de știut viteza *minimă* a mișcării bilei în momentul lovirii, de aceea e clar că în punctul superior, de sus, al traiectoriei firul nu va fi întins, adică forța de tensiune a lui va fi egală cu zero.

Se dă:
 $l = 0,5 \text{ m}$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

$v_0 = ?$

Rezolvarea. Pe desen vom nota pozițiile bilei în punctele superior și inferior ale traiectoriei; forțele, care acționează asupra bilei în punctul superior; direcția accelerației. Conform legii conservării energiei mecanice:

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p.$$

$$E_{c0} = \frac{mv_0^2}{2}, \quad E_c = \frac{mv^2}{2},$$

$$E_{p0} = 0; \quad E_p = mgh = mg \cdot 2l;$$

$$\frac{mv_0^2}{2} + 0 = \frac{mv^2}{2} + 2mgl \Rightarrow v_0^2 = v^2 + 4gl \quad (1).$$

După legea a doua a lui Newton: $mg = ma_{cp} \Rightarrow g = a_{cp}$.

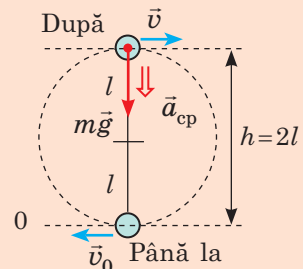
Deoarece $a_{cp} = \frac{v^2}{r}$, iar $r = l$, avem: $\frac{v^2}{l} = g$, adică $v^2 = lg$ (2).

Vom înlocui expresia (2) în expresia (1): $v_0^2 = gl + 4gl = 5gl$. Deci, $v_0 = \sqrt{5gl}$.

Verificăm unitatea de măsură, aflăm valoarea mărimii căutate:

$$[v_0] = \sqrt{\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}} = \sqrt{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}; \quad v_0 = \sqrt{5 \cdot 10 \cdot 0,5} = \sqrt{25} = 5 \text{ (m/s)}.$$

Răspuns: $v_0 = 5 \text{ m/s}$.





Facem totalurile

• Energia mecanică E — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează capacitatea corpului (a sistemului de corpuri) de a efectua un lucru. Energia mecanică totală a sistemului de corpuri este compusă din energiile cinetice de mișcare ale corpurilor acestui sistem și din energiile potențiale de interacțiune ale lor: $E = E_c + E_p$.

• Energia potențială — aceasta-i energia, pe care o are corpul în urma interacțiunii cu alte corpuri sau în urma interacțiunii părților corpului între ele. Energia potențială a corpului ridicat se calculează după formula $E_p = mgh$, a corpului elastic deformat — $E_p = kx^2/2$.

• Forța elastică și forța de greutate — forțe conservative (potențiale): lucrul acestor forțe nu depinde de forma traiectoriei și este egal cu variația energiei potențiale a corpului, luată cu semnul opus: $A = E_{p0} - E_p = -\Delta E_p$.

• Într-un sistem de corpuri închis, care interacționează numai cu forțe conservative, energia mecanică totală rămâne constantă (se păstrează): $E_{p0} + E_{c0} = E_p + E_c$.

Întrebări de control



1. Dați definiția energiei mecanice; energiei potențiale.
2. Demonstrați, că lucrul forței de greutate nu depinde de forma traiectoriei.
3. După care formulă se determina energia potențială a unui corp elastic deformat?
4. În ce constă principiul minimului energiei potențiale? Dați exemple pentru confirmarea lui.
5. În ce condiții este satisfăcută legea conservării energiei mecanice totale?
6. Dați exemple, când energia mecanică totală nu se conservă. Ce se poate spune despre energia totală a sistemului?



Exercițiul nr. 16

1. Un om a ridicat o găleată de nisip cu masa de 15 kg la o înălțime de 6 m, iar apoi a întors-o înapoi. A efectuat oare în acest caz un lucru forța de greutate? Dacă da, atunci calculați-l.
2. Demonstrați, că în cazul, în care corpul se mișcă după o traiectorie închisă, lucrul forțelor conservative este zero.
3. Un corp cu masa de 1 kg are o energie potențială de 20 J. La ce înălțime deasupra Pământului este ridicat corpul, dacă drept nivel nul al energiei potențiale este ales un punct de pe suprafața Pământului?
4. Un pistol elastic este încărcat cu o bilă și se împușcă în sus. Ce transformări ale energiei au loc în acest timp?
5. O piatra, care până atunci se afla în stare de repaus, cade de la o înălțime de 20 m. La ce înălțime viteza mișcării pietrei va fi egală cu 10 m/s? Cu ce viteză piatra va cădea pe pământ? Neglijăți rezistența aerului.
6. De un arc orizontal, comprimat cu 4 cm, este fixat un cărucior cu masa de 400 g. Determinați viteza maximă a mișcării căruciorului pe masă după eliberarea arcului, dacă rigiditatea arcului este de 250 N/m. Pierderile de energie nu le luați în considerație.
7. Un biciclist, care se mișcă cu viteza de 9 km/h, se oprește brusc. Ce lucru efectuează în acest caz forța de frecare? Unde «dispare» energia mecanică a biciclistului? Determinați distanța de frânare a biciclistului, dacă forța de frecare medie — 400 N. Masa biciclistului împreună cu bicicleta — 80 kg.
8. Există un fenomen periculos în natură — mudflow în munți (flux de pietre și noroi). De ce totodată bolovanii grei pot obține viteze enorme? Folosiți-vă de surse suplimentare de informații și aflați mai multe despre mudflow.

§ 17. IMPULSUL CORPULUI. MIȘCAREA REACTIVĂ. CIOCNIRILE ELASTICĂ ȘI NEELASTICĂ



Mulți dintre voi ați văzut jucăria «Leagănul lui Newton» — câteva bile de oțel sunt suspendate aproape una de alta. Dacă prima bilă se abate într-o parte și se dă drumul, atunci ultima se va abate de la poziția inițială aproximativ cu același unghi cu care a fost abătută prima bilă. Întorcându-se, ultima bilă va lovi sistemul din restul cinci bile, după ce iarăși va devia prima bilă, iar apoi totul se va repeta. Totodată bilele de la mijloc rămân practic imobile. Acțiunea acestei jucării e ușor de explicat, dacă se aplică legea conservării energiei și legea conservării impulsului.



Fig. 17.1. Cu cât este mai mare forța ce acționează asupra corpului și cu cât mai de lungă durată este acțiunea acestei forțe, cu atât mai mult variază impulsul corpului

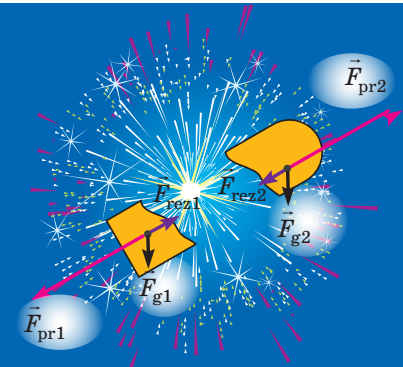


Fig. 17.2. În timpul exploziei proiectilului pentru focuri de artificii, impulsul total al sistemului se conservă, deoarece în momentul exploziei forțele exterioare (forța de greutate și forța de rezistență) sunt nesemnificative în comparație cu forțele de presiune ale gazelor pulverulente

1 Impulsul corpului. Legea conservării impulsului

În § 16 vați aminti legea conservării energiei mecanice, dar în acest paragraf vă veți aminti mai o mărime fizică, care are proprietatea de a se conserva — *impulsul corpului*.

Impulsul corpului \vec{p} — aceasta-i mărimea fizică vectorială, care este egală cu produsul dintre masa corpului \vec{v} și viteza mișcării lui

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

Unitatea de măsură a impulsului corpului în SI — kilogram-metru pe secundă: $[p] = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \left(\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$.

Vom scrie legea a doua a lui Newton sub formă de impulsuri: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \Rightarrow \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} = \frac{\vec{F}}{m}$, adică:

$$\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0, \text{ sau } \vec{F}t = \vec{p} - \vec{p}_0.$$

Mărimea $\vec{F}t$ se numește **impulsul forței**. Așadar, impulsul forței este egal cu variația impulsului corpului: $\vec{F}t = \Delta \vec{p}$ (vezi fig. 17.1).

? Cum se va schimba impulsul corpului vostru, când la întrecerile de alergare voi de la start atingeți viteza de 8 m/s? aflați valoarea medie a forței, cu care voi vă împingeți de la sol, dacă alergarea durează 2 s.

Într-un *sistem de corpuri închis* — sistem, în care corpurile interacționează numai unul cu altul, iar forțele exterioare lipsesc, sunt echilibrate sau infinit de mici (vezi, de exemplu, fig. 17.2) *impulsul sumat al corpurilor rămâne neschimbat* (se conservă), adică se respectă **legea conservării impulsului**:

Într-un sistem de corpuri închis suma vectorială a impulsurilor corpurilor până la interacțiune este egală cu suma vectorială a impulsurilor corpurilor după interacțiune:

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} + \dots + \vec{p}_{0n} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n,$$

unde n — numărul de corpuri în sistem.

Luând în vedere, că impulsul corpului este egal cu produsul masei m și vitezei de mișcare a corpului \vec{v} , legea conservării impulsului poate fi scrisă astfel:

$$m_1\vec{v}_{01} + m_2\vec{v}_{02} + \dots + m_n\vec{v}_{0n} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \dots + m_n\vec{v}_n$$

Cu manifestările legii conservării impulsului noi avem de afaceră în natură, tehnică, viața de toate zilele etc. Să studiem două exemple de aplicare a acestei legi: *mișcarea reactivă* și *ciocnirile corpurilor*.

2 De la ce se împing rachetele

Amintiți-vă experiența cu balonul, care se mișcă datorită aerului, ce țâșnește din gaură (fig. 17.3). Această mișcare — un exemplu de *mișcare reactivă*.

Mișcarea reactivă — aceasta-i mișcarea, ce apare în urma separării din corp cu o oarecare viteză a unei părți oarecare a lui.

Mișcarea reactivă poate fi observată în natură (fig. 17.4); ea este pe larg aplicată în tehnică: cele mai simple sisteme de irigare, automobilele cu jet reactiv, bărci cu motoare cu jeturi de apă, avioanele reactive și, desigur, *rachetele*, doar mișcarea reactivă — aceasta-i singura cale de a se deplasa în spațiul fără aer.

Racheta — aparat de zbor, care se deplasează în spațiu datorită forței reactive de tracțiune care apare ca urmare a expulzării de către rachetă a unei părți din masa proprie.

Partea rachetei care se separă este un flux de gaz fierbinte, care se formează în timpul arderii combustibilului. Când fluxul de gaze este expulzat cu o viteză enormă din duza rachetei, mantaua rachetei primește un impuls puternic, îndreptat în direcție opusă mișcării fluxului de gaze.

Dacă combustibilul ar arde dintr-o dată, iar gazul incandescent dintr-o dată ar fi expulzat complet, atunci legea conservării impulsului pentru sistemul «mantaua rachetei — gazul incandescent» ar avea următorul aspect: $0 = m_{\text{man}}\vec{v}_{\text{man}} + m_{\text{gaz}}\vec{v}_{\text{gaz}}$ (deoarece înainte de start impulsul sistemului este egal

cu zero), și deci, mantaua rachetei ar obține viteza:
$$\vec{v}_{\text{man}} = -\frac{m_{\text{gaz}}\vec{v}_{\text{gaz}}}{m_{\text{man}}}.$$

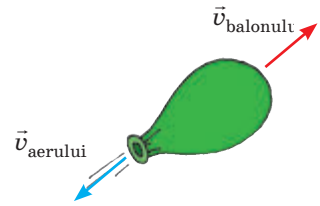


Fig. 17.3. Mișcarea reactivă a balonului de aer



Fig. 17.4. Datorită mișcării reactive se deplasează multe viețuitoare ale mărilor și oceanelor (a); «castravetele sălbatic» (castravetele-stropitor) poate depăși distanța de până la 12 m, împrăștiind în lungul drumului semințele (b)



În 13 aprilie anul 2018 s-au împlinit 25 de ani de la prima lansare a rachetei-purtătoare ucrainene «Zenit», creată la biroul de proiectare «Pivdenne» și la uzina «Pivdenmaș» (Dni-pro). Astăzi racheta-purtătoare modernizată cu trei trepte «Zenit-3SL» este cel mai perfect și cel mai puternic aparat de zbor dintre cele din clasa sa în lume. «Zenitul» este pur din punct de vedere ecologic (funcționează pe oxigen și petrol lampant), ieftin, de nădejde, poate fi lansat în orice condiții meteorologice, este capabil să aducă pe orbita terestră sateliți cu o masă de până la 13 t. Inventatorul și antreprenorul Elon Musk, fondatorul companiei SpaceX, care lucrează în domeniul de construcție al transportului spațial, la întrebarea unui jurnalist despre racheta favorită a răspuns: «Cea mai bună rachetă (după a mea) — este «Zenit»».

Din păcate, combustibilul arde treptat, de aceea o parte din gaz trebuie să fie accelerată împreună cu mantaua; în același timp sistemul «mantaua rachetei — gazul incandescent» nu poate fi considerat închis (odată cu creșterea vitezei de mișcare a rachetei crește considerabil rezistența aerului). Calculele cu luarea în considerare a acestora și a unui șir de alți factori ne arată, că pentru a atinge prima viteză cosmică (8 km/s) masa combustibilului trebuie să depășească masa mantalei de 200 de ori. Dar trebuie de ridicat pe orbită nu numai mantaua, ci și utilajul, astronauții, rezervele de apă, oxigen etc. Din această cauză a apărut ideea utilizării *rachetelor cu mai multe trepte*. Fiecare treaptă a acestei rachete are o rezervă de combustibil și un motor reactiv propriu, care accelerează racheta până când nu va consuma combustibilul. După aceea treapta este abandonată, ușurând racheta rămasă și imprimându-i un impuls suplimentar.

Anume pe rachetele cu mai multe trepte au fost făcuți primii pași în cosmos: la 4 octombrie anul 1957 savanții sovietici au scos pe orbită *primul satelit artificial* al Pământului, iar la 12 aprilie anul 1961 — nava cosmică «Vostok», la bordul căreia era *primul cosmonaut din lume* Iurii Gagarin; la 21 iulie anul 1969 astronauții americani *Neil Armstrong și Buzz Aldrin au aterizat pentru prima dată pe Luna*.

Au trecut doar 60 de ani și noi nu ne putem imagina viața fără cosmos. Amintiți-vă: televiziunea prin satelit și legătura prin satelit, sistemul GPS și Internetul prin satelit, prognoza meteorologică și hărțile prin satelit. Acum sunt create nave cosmice reutilizabile, aparatele cosmice au aterizat pe Venus, Marte și alte planete ale Sistemului solar.

3

Ciocnirile elastică și neelastică

Interacțiunea de scurtă durată a corpurilor, în procesul căreia corpurile contactează nemijlocit unul cu altul se numește **ciocnire**.

În sistemul de corpuri, ce se comprimă în urma ciocnirii de obicei apar forțe interne enorme (în comparație cu cele exterioare), de

aceea în timpul ciocnirii sistemul de corpuri poate fi considerat închis și, studiind ciocnirea, se poate aplica *legea conservării impulsului*. Dar iată lucrul mecanic total nu se păstrează întotdeauna. Energia potențială a corpurilor nemijlocit înainte de ciocnire și imediat după ea în majoritatea cazurilor este aceeași, de aceea în continuare va fi vorba numai despre energia cinetică.

*Dacă după ciocnire energia cinetică sumară a corpurilor se păstrează, atunci o astfel de ciocnire se numește **elastică*** (fig. 17.5).

*Dacă după ciocnire o parte din energia cinetică se transformă în energie internă (se consumă pentru deformația și încălzirea corpurilor), o astfel de ciocnire se numește **neelastică***. Ciocnirea neelastică, după care corpurile se mișcă ca un tot întreg se numește **absolut neelastică** (fig. 17.6).

Dacă vitezele de mișcare ale corpurilor până și după ciocnire (elastică sau neelastică) sunt orientate în lungul unei drepte, ce trece prin centrele de masă ale acestor corpuri, o astfel de ciocnire se numește **centrală**.

Ciocnirile centrale absolut elastică și neelastică le vom studia pe exemple de rezolvare a problemelor.



Fig. 17.5. Ciocnirile bilelor de biliard (a), loviturile mingii de peretele de beton (b) pot fi considerate elastice

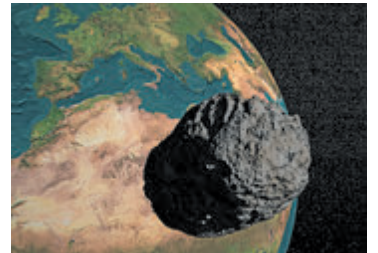


Fig. 17.6. Ciocnirea meteoritului cu Pământul este un exemplu de ciocnire absolut neelastică

4 Ne învățăm a rezolva probleme

Problema 1. Două bile cu masele de 300 și 200 g, care se mișcă cu vitezele de 4 și 2 m/s respectiv, suferă o ciocnire centrală absolut neelastică. Determinați, câtă energie cinetică a bilelor se va transforma în internă, dacă: 1) bilele se mișcă una în întimpinarea celeilalte; 2) bilele se mișcă una după alta.

Se dă:

$$m_1 = 0,3 \text{ kg}$$

$$m_2 = 0,2 \text{ kg}$$

$$v_{01} = 4 \text{ m/s}$$

$$v_{02} = 2 \text{ m/s}$$

$$E_{c0} - E_c - ?$$

$$E_{c0} - E'_c - ?$$

Analiza problemei fizice. Ciocnirea este absolut neelastică, de aceea: 1) după ciocnire bilele se mișcă ca un tot întreg; 2) impulsul sumară al sistemului se păstrează; 3) energia cinetică a sistemului scade (o parte din energia cinetică se transformă în internă).

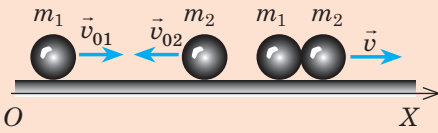
Rezolvarea

Vom afla energia cinetică sumară a sistemului de bile până la ciocnire:

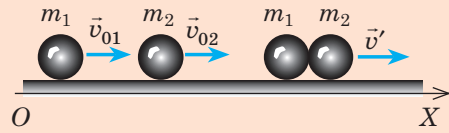
$$E_{c0} = E_{c01} + E_{c02} = \frac{m_1 v_{01}^2}{2} + \frac{m_2 v_{02}^2}{2}; \quad E_{c0} = \frac{0,3 \cdot 16}{2} + \frac{0,2 \cdot 4}{2} = 2,8 \text{ (J)}.$$

Vom efectua desenele explicative; axa OX vom orienta-o de-a lungul mișcării bilelor:

Mișcarea în întâmpinare
Până *După*



Mișcarea una după alta
Până *După*



Vom scrie legea conservării impulsului în formă vectorială și pentru proiecții pe axa OX :

$$\begin{aligned} m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} &= (m_1 + m_2) \vec{v}; \\ m_1 v_{01} - m_2 v_{02} &= (m_1 + m_2) v. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} &= (m_1 + m_2) \vec{v}'; \\ m_1 v_{01} + m_2 v_{02} &= (m_1 + m_2) v'. \end{aligned}$$

Vom afla viteza mișcării bilelor după ciocnire:

$$\begin{aligned} v &= \frac{m_1 v_{01} - m_2 v_{02}}{m_1 + m_2}; \\ v &= \frac{0,3 \cdot 4 - 0,2 \cdot 2}{0,3 + 0,2} = 1,6 \text{ m/s}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v' &= \frac{m_1 v_{01} + m_2 v_{02}}{m_1 + m_2}; \\ v' &= \frac{0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 2}{0,3 + 0,2} = 3,2 \text{ m/s}. \end{aligned}$$

Vom afla energia cinetică sumară a sistemului de bile după ciocnire:

$$\begin{aligned} E_c &= \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2}; \\ E_c &= \frac{0,5 \cdot 1,6^2}{2} = 0,64 \text{ (J)}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E'_c &= \frac{(m_1 + m_2) v'^2}{2}; \\ E'_c &= \frac{0,5 \cdot 3,2^2}{2} = 2,56 \text{ (J)}. \end{aligned}$$

Vom determina micșorarea energiei cinetice a sistemului de bile:

$$E_{c0} - E_c = 2,8 \text{ J} - 0,64 \text{ J} = 2,16 \text{ J}.$$

$$E_{c0} - E'_c = 2,8 \text{ J} - 2,56 \text{ J} = 0,24 \text{ J}.$$

Răspuns: 1) 2,16 J; 2) 0,24 J.

Analiza rezultatului. Vedem, că în cazul ciocnirii centrale a bilelor în energie internă se transformă o cantitate cu mult mai mare de energie mecanică.

? Gândiți-vă, cum rezultatele obținute se referă la accidente rutiere.

Problema 2. Două bile de aceeași masă, care se mișcă cu vitezele de 4 și 2 m/s respectiv, suferă o ciocnire centrală elastică. Determinați vitezele de mișcare a bilelor după ciocnire, dacă: 1) bilele se mișcă una în întâmpinarea celeilalte; 2) bilele se mișcă una după alta.

Дано:

$$m_1 = m_2 = m$$

$$v_{01} = 4 \text{ m/s}$$

$$v_{02} = 2 \text{ m/s}$$

$$v_1 - ?$$

$$v_2 - ?$$

Analiza problemei fizice. Ciocnirea este elastică, de aceea: 1) după ciocnire bilele se mișcă cu viteze diferite; 2) impulsul sumăr al sistemului se păstrează, deoarece forțele exterioare, ce acționează asupra bilelor sunt compensate; 3) energia cinetică a sistemului nu se schimbă. Pentru rezolvarea problemei ne vom folosi de legea conservării impulsului și legea conservării energiei mecanice.

Vom efectua desenele explicative; axa OX vom orienta-o de-a lungul mișcării bilelor.

Mișcarea în întâmpinare		Mișcarea una după alta	
Până	După	Până	După
Vom scrie legea conservării impulsului pentru proiecții pe axa OX și legea conservării energiei cinetice:			
$m_1 v_{01} - m_2 v_{02} = -m_1 v_1 + m_2 v_2 ;$ $\frac{m_1 v_{01}^2}{2} + \frac{m_2 v_{02}^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} .$		$m_1 v_{01} + m_2 v_{02} = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 ;$ $\frac{m_1 v_{01}^2}{2} + \frac{m_2 v_{02}^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2} .$	
Considerăm, că $m_1 = m_2 = m$ și după simplificare vom obține:			
$\begin{cases} v_{01} - v_{02} = -v_1 + v_2, \\ v_{01}^2 + v_{02}^2 = v_1^2 + v_2^2. \end{cases}$		$\begin{cases} v_{01} + v_{02} = v'_1 + v'_2, \\ v_{01}^2 + v_{02}^2 = v_1'^2 + v_2'^2. \end{cases}$	
După transformări simple avem:			
$\begin{cases} v_{01} + v_1 = v_2 + v_{02}, \\ v_{01}^2 - v_1^2 = v_2^2 - v_{02}^2. \end{cases}$		$\begin{cases} v_{01} - v'_1 = v'_2 - v_{02}, \\ v_{01}^2 - v_1'^2 = v_2'^2 - v_{02}^2. \end{cases}$	
Vom împărți a doua ecuație la prima și vom obține un sistem și mai simplu:			
$\begin{cases} v_{01} + v_1 = v_2 + v_{02}, \\ v_{01} - v_1 = v_2 - v_{02}. \end{cases}$		$\begin{cases} v_{01} - v'_1 = v'_2 - v_{02}, \\ v_{01} + v'_1 = v'_2 + v_{02}. \end{cases}$	
Rezolvăm sistemul de ecuații obținut prin metoda adunării și aflăm vitezele mișcării bilelor după ciocnire:			
$v_2 = v_{01}; \quad v_1 = v_{02}.$		$v'_2 = v_{01}; \quad v'_1 = v_{02}.$	
Răspuns: pentru ambele cazuri $v_1 = v_{02} = 2$ m/s; $v_2 = v_{01} = 4$ m/s.			

Vedem, că în timpul ciocnirii centrale elastice corpurile de mase egale se schimbă cu vitezele.



Sperăm, că acum nu vă va fi greu să explicați, cum funcționează «Leagănul lui Newton».



Facem totalurile

• Impulsul corpului \vec{p} — aceasta-i mărimea fizică vectorială, care este egală cu produsul dintre masa corpului m și viteza mișcării lui \vec{v} : $\vec{p} = m\vec{v}$. Variația impulsului corpului este egală cu impulsul forței: $\Delta \vec{p} = \vec{F}t$.

• Sistemul de corpuri poate fi considerat închis, dacă forțele exterioare ce acționează asupra sistemului sunt echilibrate sau sunt cu mult mai mici decât forțele interne ale sistemului. Într-un sistem de corpuri închis se îndeplinește legea conservării impulsului: suma geometrică a impulsurilor corpurilor până la interacțiune este egală cu suma geometrică a impulsurilor corpurilor după interacțiune: $m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} + \dots + m_n \vec{v}_{0n} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n$.

• Mișcarea reactivă — aceasta-i mișcarea, ce apare în urma separării din corp cu o oarecare viteză a unei părți oarecare a lui; aceasta unica metodă de deplasare în spațiul fără aer.

Întrebări de control



1. Caracterizați impulsul corpului ca mărime fizică.
2. Formulați legea a doua a lui Newton sub formă de impulsuri.
3. Formulați și scrieți legea conservării impulsului.
4. Care mișcare se numește reactivă? Dați exemple.
5. De ce pentru lansarea navelor cosmice de pe suprafața Pământului se aplică rachete cu multe trepte?
6. Care ciocnire se numește neelastică? absolut neelastică? elastică? centrală? Dați exemple.
7. Care este rezultatul ciocnirii elastice centrale a corpurilor cu aceleași mase?



Exercițiul nr. 17

1. Două bile se mișcă în aceeași direcție (fig. 1). Cum se va schimba impulsul sistemului de bile după ciocnire? Argumentați răspunsul.
2. În fig. 2–4 sunt reprezentate condițiile a trei probleme. Rezolvați problemele, aplicând legea conservării impulsului.

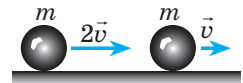


Fig. 1

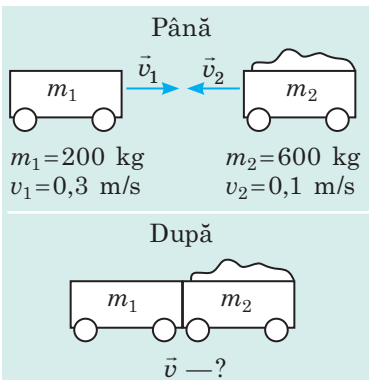


Fig. 2

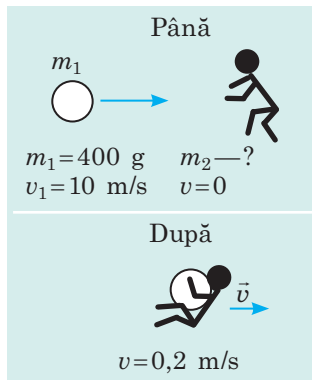


Fig. 3

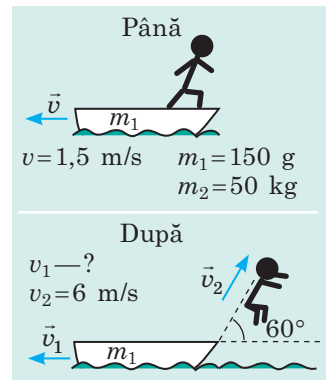


Fig. 4

3. Care este masa bilei, dacă în urma ciocnirii elastice centrale cu o bilă cu masa de 1 kg viteza mișcării ei s-a micșorat de la 4 până la 2 m/s? Examinați două cazuri.
4. Determinați, care sportiv îi comunică echipamentului sportiv un impuls maxim: aruncătorul de greutăți — greutății; jucătorul Bowling — bilei; jucătorul de golf — mingii. Datele necesare privind masele și vitezele de mișcare ale echipamentelor găsiți-le în surse suplimentare de informații.



Probleme experimentale

1. Luați două monede identice. Puneți o monedă pe o foaie de hârtie și faceți-i conturul cu un creion. Cu un bobârnac împingeți spre ea a doua monedă astfel, ca ciocnirea să nu fie centrală. Duceți liniile mișcării monedelor, măsurați unghiul dintre direcțiile mișcării lor. Repetați experiența de câteva ori, variind viteza mișcării monedei. Explicați rezultatele obținute.
2. Luați două mingi elastice de dimensiuni diferite, puneți mingea mare pe cea mică (fig. 5), amplasați mingile deasupra unei suprafețe solide și dați-le drumul. Repetați experiența, punând acum mingea mică pe cea mare. Explicați fenomenele observate.



Fig. 5

§ 18. MIȘCAREA LICHIDULUI ȘI GAZULUI. FORȚA PORTANTĂ A ARIPII AVIONULUI



Este oare posibil ca un înotător fără experiență să traverseze un râu de munte? S-ar părea că de ce nu, mai ales dacă râul nu este foarte larg. Însă, acest lucru nu trebuie făcut nici într-un caz — aceasta e foarte periculos! Chestia nu constă în lățimea râului, ci în faptul că în cele mai multe râuri de munte există vârtejuri — zone cu viteză mare a curentului. Este foarte dificil să ieși din vârtej — el te trage și «nu te lasă».

Dar iată, care este relația dintre curentul râului și forța portantă a aripii de avion, veți afla din acest paragraf.

1 Unde lichidul se mișcă mai repede

Vom efectua o experiență cu un tub orizontal, care are diferite secțiuni transversale și un piston (se poate lua o seringă fără ac). Umplem tubul cu apă și deplasăm pistonul cu o anumită viteză constantă (fig. 18.1). Vom vedea, că viteza apei în porțiunea îngustă a tubului va fi mai mare decât în porțiunea mai lată. Rezultatele acestui experiment s-ar fi putut prezice.

Să cercetăm *fluxul staționar* al unui lichid incompresibil *ideal*, adică fluxul în fiecare punct al căruia viteza mișcării lichidului nu se schimbă cu timpul, iar forțele de frecare sunt neglijabil de mici (fig. 18.2). Fie că v_1 — viteza de curgere în porțiunea lată a țevii cu aria secțiunii S_1 , iar v_2 — viteza de curgere în porțiunea îngustă a țevii cu aria secțiunii S_2 . Într-un anumit timp prin aceste secțiuni, vor curge volume egale de lichid, care sunt egale respectiv:

$$V_1 = S_1 \cdot l_1 = S_1 \cdot v_1 t; \quad V_2 = S_2 \cdot l_2 = S_2 \cdot v_2 t,$$

unde l_1, l_2 — distanțele, pe care le parcurge lichidul în timpul t .

Deoarece $V_1 = V_2$, atunci $S_1 v_1 t = S_2 v_2 t$. După simplificarea prin t obținem **ecuația de continuitate a fluxului**:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

Așadar, atât cercetările experimentale, cât și cele teoretice confirmă: *cu cât secțiunea transversală este mai mică, cu atât mai repede se mișcă lichidul.*

Un fenomen similar poate fi observat la coborârea sau urcarea pe un râu: curentul este lent și lin acolo unde râul este adânc și lat, iar în apa puțin adâncă sau în partea îngustă a canalului, viteza de curgere crește semnificativ.

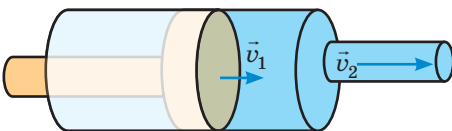


Fig. 18.1. Cu cât este mai mică aria secțiunii tubului cu atât mai repede se mișcă lichidul $v_2 > v_1$

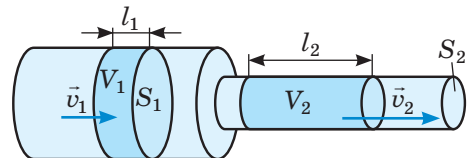


Fig. 18.2. Dacă lichidul este incompresibil, iar fluxul staționar, atunci volumele V_1 și V_2 ale lichidului, ce curge prin secțiunile S_1 și S_2 într-un anumit interval de timp, sunt la fel: $V_1 = V_2$

2 Cum depinde presiunea în interiorul lichidului de viteza mișcării lui

Să revenim la [fig. 18.2](#). Viteza curentului în locul trecerii de la porțiunea lată la cea îngustă de țevă crește, adică lichidul își *accelerează* mișcarea sa. Prezența accelerației înseamnă, că în timpul trecerii asupra lichidului, acționează o anumită forță. Tubul este amplasat orizontal, de aceea apariția forței ce provoacă accelerație nu poate fi o consecință a atracției Pământului. Această forță apare datorită diferenței de presiune, adică *presiunea lichidului în porțiunea lată a țevii (unde viteza curentului este mai mică) este mai mare decât presiunea lichidului în porțiunea îngustă a țevii (unde viteza curentului este mai mare)*.

Pentru prima dată la această concluzie a ajuns fizicianul și matematicianul elvețian *Daniel Bernoulli* (1700–1782), care a stabilit legea referitoare la orice flux de lichid staționar — **legea lui Bernoulli**:

În timpul mișcării staționare a lichidului, presiunea lichidului este mai mică acolo, unde viteza curentului este mai mare și invers, presiunea lichidului este mai mare acolo, unde viteza curentului este mai mică.

Pe baza legii lui Bernoulli, explicați de ce este dificil de traversat râul, care conține porțiuni cu viteză mare a curentului.

Legea Bernoulli este o consecință a legii conservării energiei mecanice: lichidul obține energie cinetică (își mărește viteza mișcării sale) datorită faptului, că energia potențială a interacțiunii elastice ale particulelor substanței se micșorează (și invers). Dacă lichidul nu este orizontal, atunci variația energiei cinetice a lichidului are loc și pe contul variației energiei lui potențiale a interacțiunii gravitaționale cu Pământul.

3 De ce zboară avioanele

Fiecare dintre voi, urcându-se într-un avion sau uitându-se la zborul lui, probabil și-a pus întrebarea despre aceea, de ce avionul se ridică și ce forță îl ține în aer. Unii vor spune, că aceasta este forța arhimedică (însă nu e așa, doar avionul imobil nu se va ridica). Unii vor presupune, că avionul este ținut de forța de tracțiune reactivă a motoarelor (și acest lucru la fel este greșit, doar această forță numai accelerează avionul și menține viteza mișcării lui). Avionul este ținut în aer datorită forței de presiune, care și creează forță portantă.

Apariția forței portante poate fi explicată cu ajutorul legii lui Bernoulli, deoarece în anumite condiții fluxul de aer poate fi considerat drept un flux staționar de lichid. În timpul zborului asupra aripilor avionului tot timpul acționează fluxul de aer din întâmpinare și aripile parcă îl «taie» în două părți: o parte circulă în jurul suprafeței superioare a aripii, a doua — a celei inferioare. Cea mai mare parte a formei aripilor avionului este astfel, încât fluxul care circulă prin partea superioară (convexă) a aripii parcurge în același timp o distanță mai mare (se mișcă cu o viteză mai mare) decât fluxul, care circulă prin partea aripii de dedesubt ([fig. 18.3](#)). Conform legii lui Bernoulli, acolo unde viteza fluxului este mai mare, presiunea este mai mică. Deci, *forța de presiune, care acționează asupra aripii de deasupra, este mai mică decât forța de presiune, ce acționează asupra aripii de dedesubt*.

Cu toate acestea, cea mai importantă pricină a apariției forței portante — prezența *unghiului de atac* — înclinația aripilor avionului sub un anumit unghi α

față de fluxul de aer (fig. 18.4). În acest caz, forța portantă apare atât pe contul micșorării presiunii de deasupra aripii cât și pe contul măririi presiunii de sub aripă. Datorită prezenței unghiului de atac în aer se ridică și avioane cu un profil simetric al aripiilor.

Diferența dintre forțele de presiune se numește *forță aerodinamică totală* (vezi fig. 18.4).

Atrageți atenția! Dacă viteza de mișcare a fluxului de aer față de avion se apropie sau depășește viteza de propagare a sunetului (340 m/s), compresibilitatea aerului nu poate fi neglijată. Bineînțeles, că forța portantă de asemenea apare (de altfel avioanele nu ar zbura cu viteză supersonică), dar fluxul de aer se comportă puțin diferit.

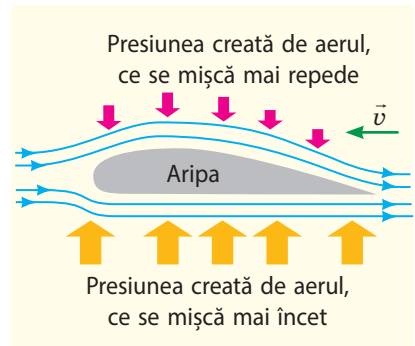


Fig. 18.4. De obicei aripa avionului are o *formă aerodinamică*: suprafața inferioară a aripii este aproape plată, cea superioară — convexă. Săgețile albastre indică mișcarea aerului, care circulă pe aripă, săgeata verde — direcția de mișcare a avionului



Facem totalurile

- Pentru un flux staționar de lichid sau gaz se adevărește legea lui Bernoulli: presiunea lichidului (gazului) este mai mare acolo, unde viteza curentului este mai mică și invers.
- Pe legea lui Bernoulli se bazează crearea forței portante a aripii avionului, forma aerodinamică și unghiul de înclinare al căreia face ca aerul de deasupra suprafeței superioare a aripii să se miște cu o viteză mai mare, de aceea presiunea de deasupra aripii este mai mică decât presiunea de sub aripă.

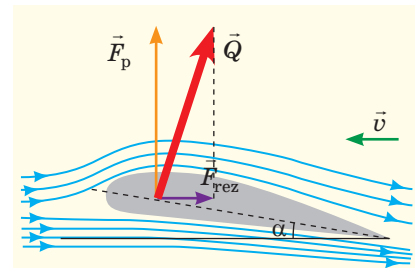


Fig. 18.5. Unghiul de atac și forța aerodinamică totală \vec{Q} . Componenta verticală a forței \vec{Q} — forța portantă \vec{F}_p , componenta orizontală — forța de rezistență \vec{F}_{rez}



Întrebări de control

1. Demonstrați, că viteza curentului este mai mare în porțiunea îngustă a țevii.
2. Pe baza legii a doua a lui Newton demonstrați, că presiunea lichidului mobil în porțiunea lată a țevii este mai mare decât presiunea acestui lichid în porțiunea îngustă a țevii.
3. Explicați legea lui Bernoulli, reeșind din legea conservării energiei mecanice.
4. Din ce cauză apare forța portantă a aripii avionului?



Exercițiul nr. 18

1. De ce se atrag două nave, care se mișcă cu viteze mari una lângă alta?
2. De ce vântul puternic de furtună uneori rupe acoperișurile clădirilor?
3. Explicați, cum funcționează pulverizatorul (fig. 1).
4. De ce o minge, careia îi comunicată o mișcare de rotație își schimbă traiectoria mișcării sale (fig. 2)? Apropos, acest fenomen este numit *efectul Magnus*.



Fig. 1

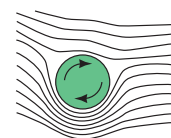


Fig. 2

- Voi știți bine, că lichidul omogen imobil în vasele comunicante se stabilește la aceeași înălțime. De ce, dacă lichidul se mișcă nivelurile lichidului în vasele comunicante sunt diferite (fig. 3)?
- Analizați informația din rubrica «Fizica în cifre» de la sfârșitul § 18 și dați exemple asemănătoare, folosind surse suplimentare de informații.

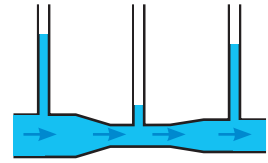


Fig. 3



Probleme experimentale

- Luiați o foaie de hârtie și suflați pe ea așa, cum e indicat în fig. 4. Explicați fenomenul observat.
- Luiați uscătorul de păr și o minge de ping pong. Porniți uscătorul, orientați jetul de aer vertical în sus și puneți mingea pe el. Mingea nu va cădea, ci va oscila puțin în interiorul jetului. Dacă uscătorul de păr se va înclina puțin, atunci mingea de asemenea nu va cădea, dar va fi atrasă în jet. Explicați fenomenele observate.



Fig. 4

Fizica în cifre

Forma și dimensiunea aripilor avionului depind de destinația lor: cu cât sunt mai lungi aripile, cu atât avionul este mai stabil, dar este dificil pentru el să se întoarcă; avioanele mai ușor de manevrat au aripi scurte.

■ SU-27

Unul dintre principalele avioane ale Forțelor Aeriene ale Armatei Ucrainene. Valoarea anvergurii — 14,7 m. Viteza maximă — 2125 km/h.



Aripi scurte extinse permit avionului să efectueze viraje bruște în aer

■ AN-225 «Mriia»

Cel mai mare și mai puternic avion de transport din lume. Proiectat la biroul de construcții din Kiev în numele lui O. C. Antonov și construit la uzina mecanică din Kiev în anii 1980. Valoarea anvergurii — 88,4 m. Viteza maximă — 850 km/h.



Cu cât este mai mare capacitatea de ridicare a avionului, cu atât sunt mai lungi aripile lui

■ Sikorsky R-4 Hoverfly

Primul elicopter de serie din lume (din anul 1943 a fost emis în SUA, iar din 1944 — în Marea Britanie). Proiectat sub conducerea lui Igor Ivanovici Sikorschii (născut în anul 1889 la Kiev, a absolvit Institutul Politehnic din Kiev). Diametrul elicei purtătoare — 11,6 m, viteză maximă — 132 km/h.



«Aripi» elicopterului se rotesc, de aceea pentru crearea forței portante el nu are nevoie de rulajul pe sol. Elicopterul poate să fie suspendat în aer, mișca înainte și înapoi



IUCRARE DE LABORATOR NR. 3

Tema. Studiarea mișcării corpurilor legate.

Scopul: de a determina coeficientul de frecare de alunecare a lemnului pe lemn.

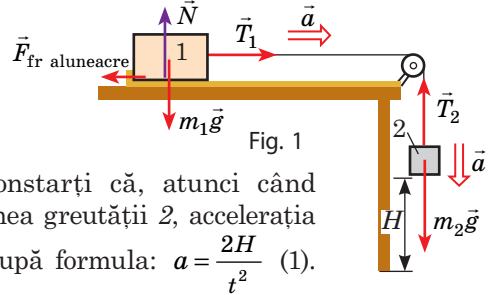
Utilajul: o ruletă, balanță cu greutăți (sau dinamometru), cronometru, tribometru, scripete fix, o bară de lemn, o greutate cu masa de 100 g, un fir dur cu lungimea de 1,5–2 m.

INDICAȚII LA LUCRARE



Pregătirea pentru experiment

- Măsurăți masa m_1 barei 1.
- Montați instalația experimentală (vezi fig. 1).
- Folosind formula deplasării, demonstrați că, atunci când bara 1 începe să se miște sub acțiunea greutății 2, accelerația mișcării lor poate fi determinată după formula: $a = \frac{2H}{t^2}$ (1).
- Pentru fiecare corp scrieți ecuația legii a doua a lui Newton și, luând în considerare, că $T_1 = T_2$, iar $F_{fr\text{ alunecare}} = \mu N$, demonstrați că $\mu = \frac{m_2 g - (m_1 + m_2) a}{m_1 g}$ (2).



Experimentul

Rezultatele măsurătorilor și calculelor introduceți-le imediat în tabel.

- Amplasați bara lângă marginea stângă a tribometrului și, ținând bara, măsurați distanța H de la greutate până la podea (vezi fig. 1).
- Eliberați bara și măsurați timpul t , peste care greutatea se va atinge de podea. Fără a schimba amplasarea inițială a corpurilor legate, repetați experimentul de trei ori.

Nu- mărul expe- rienței	Masa barei m_1 , kg	Masa barei m_2 , kg	Înălți- mea de cădere H , m	Timpul căderii		Accelerația greutății a_{med} , m/s ²	Coeficien- tul de fre- care de alu- necare μ_{med}	Eroarea relativă ε , %
				t , s	t_{med} , s			



Prelucrarea datelor experimentului

- Calculați timpul mediu al mișcării greutății (t_{med}).
- După formula (1) determinați valoarea medie a accelerației mișcării greutății (a_{med}).
- După formula (2) determinați valoarea medie a coeficientului de frecare de alunecare.
- Estimați eroarea relativă a experimentului, comparând valorile coeficientului de frecare de alunecare a lemnului pe lemn obținut în timpul

$$\text{experimentului } \mu_{med} \text{ cu valoarea tabelară } \mu_{tab}: \varepsilon_{\mu} = \left| 1 - \frac{\mu_{med}}{\mu_{tab}} \right| \cdot 100\% .$$



Analiza experimentului și a rezultatelor lui

Analizați experimentul și rezultatele lui. În concluzie menționați: 1) mărimea, pe care ați măsurat-o; 2) rezultatul măsurătorii; 3) cauzele erorii.



Însărcinare creativă

Scrieți planul efectuării experimentului privind determinarea accelerației căderii libere, folosind instalația reprezentată în fig. 2. După posibilitate efectuați experimentul.

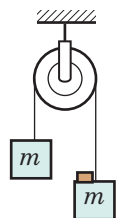


Fig. 2



LUCRARE DE LABORATOR NR. 4

Tema. Determinarea centrului de masă al figurii plate.

Scopul: de a face cunoștință cu metodele de determinare a centrului de masă (centrului de greutate); de a determina centrul de masă al plăcii prin două metode: experimentală și geometrică.

Utilajul: un stativ cu mufă și clește, carton, foarfece, un cui subțire, sulă, piuliță (sau altă greutate mică), ață cu lungimea de 30–40 cm, riglă.

INDICAȚII LA LUCRARE

II Pregătirea pentru experiment

1. Tăiați din carton o figură plată, care are forma unui trapez neisoscel (vezi fig. 1).
2. În trei colțuri ale trapezului faceți cu sula găuri, diametrele cărora să fie puțin mai mici decât diametrul cuiului.
3. Confectionați pendulul: legați la unul dintre capetele aței piulița, la altul faceți o buclă.

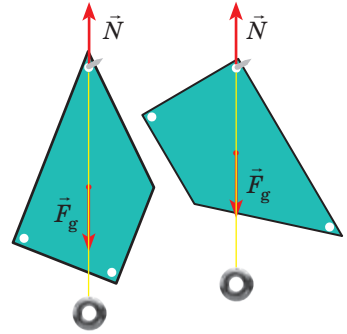


Fig. 1

▶ Experimentul 1. Determinarea centrului de masă prin metoda experimentală

1. Fixați cuiul în poziție orizontală în cleștele stativului astfel, încât capătul ascuțit al cuiului să fie liber; suspendați de cui figura de carton și pendulul.
2. După ce vor înceta oscilațiile plăcii și pendulului puneți 2–3 puncte pe carton de-a lungul aței pendulului.
3. Scoateți placa și duceți prin punctele marcate o linie dreaptă.
4. Repetați experiența mai pentru două găuri. Convingeți-vă, că toate trei drepte se intersectează într-un punct. Acest punct și este centrul de masă a figurii.

▶ Experimentul 1. Determinarea centrului de masă prin metoda geometrică

Atrageți atenția: vom lua aceeași figură pentru experiență, dar construcțiile e mai bine de le făcut pe partea cealaltă.

1. Împărțiți figura într-un paralelogram și un triunghi și aflați centrele de masă a lor (punctele O_1 și O_2 în fig. 2, a).

Centrul de masă al paralelogramului este situat în punctul de intersecție a diagonalelor lui, centrul de masă al triunghiului — în punctul de intersecție a medianelor lui.

2. Împărțiți figura în două triunghiuri și aflați centrele lor de masă (punctele O_3 și O_4 în fig. 2, b).
3. Construiți segmentele O_1O_2 și O_3O_4 . Punctul lor de intersecție este centrul de masă al figurii.

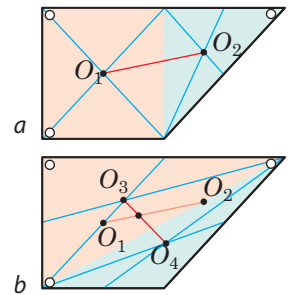


Fig. 2

□ Analiza experimentului și a rezultatelor lui

Analizați experimentul și rezultatele lui. În concluzie menționați: 1) ce ați determinat, prin ce metode; 2) care metodă e mai universală, după părerea voastră; 3) au coincis oare rezultatele; dacă nu, atunci în ce constă cauza erorii.

+ Însărcinare creativă

Propuneți cel puțin două metode de a se convinge în faptul, că punctul găsit de voi este într-adevăr centrul de masă al figurii.

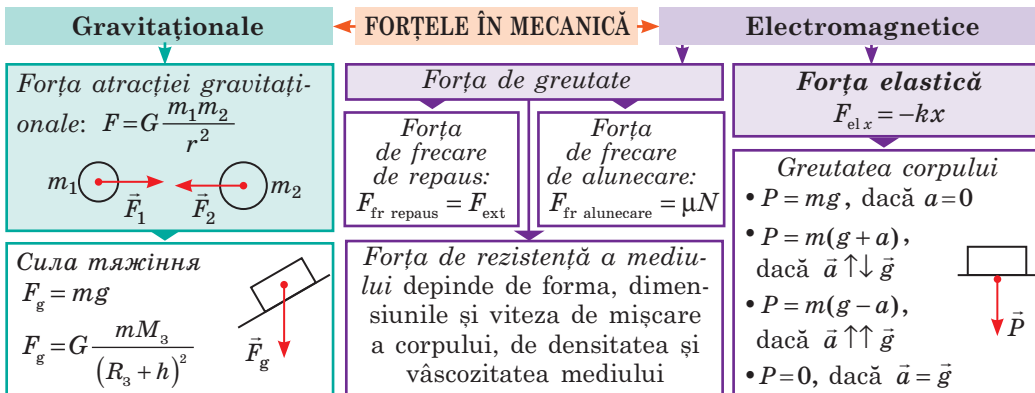
FACEM TOTALURILE CAPITOLULUI I «MECANICA»

Partea 2. Dinamica și legile de conservare

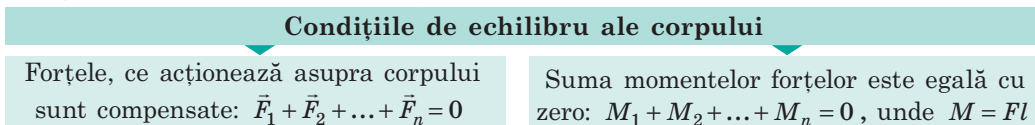
1. V-ați amintit cele mai importante legi ale dinamicii — *legile lui Newton*.

Legea întâi a lui Newton postulează prezența sistemelor de referință inertiiale	Legea a doua a lui Newton legea fundamentală a dinamicii: $\vec{a} = \vec{F} / m$	Legea a treia a lui Newton legea interacțiunii: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$
---	---	---

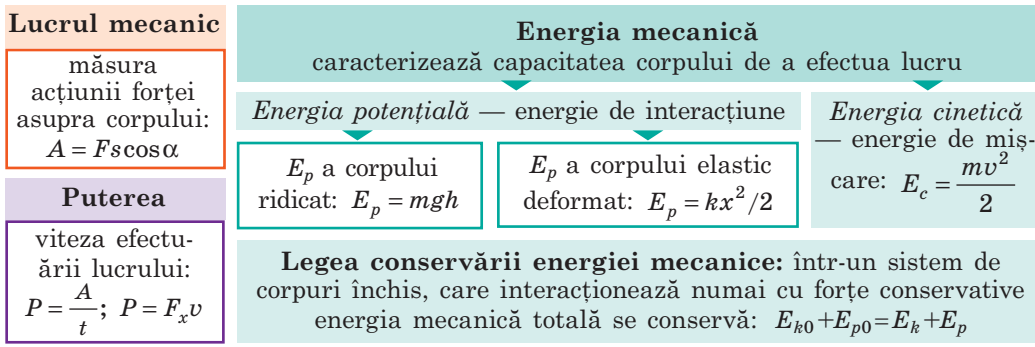
2. V-ați aprofundat cunoștințele privind *diferite feluri de forțe în mecanică*.



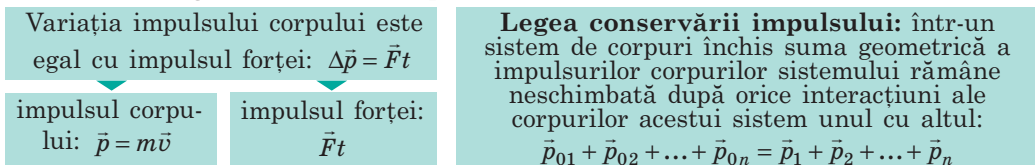
3. Ați cercetat *condițiile de echilibru ale corpurilor*, ați făcut cunoștință cu *felurile de echilibru ale corpurilor*.



4. V-ați amintit de așa mărimi fizice, ca *lucrul mecanic, energia mecanică, puterea*.



5. Ați formulat legea a doua a lui Newton «prin limbajul» impulsului și v-ați amintit *legea conservării impulsului*.



PROBLEME PENTRU AUTOVERIFICARE LA CAPITOLUL I «MECANICA». Partea 2. Dinamica și legile de conservare

Problemele 1, 2, 4–6 conțin numai un răspuns corect.

1. (1 bal) În care caz (fig. 1) corpul se află în stare de repaus instabil?

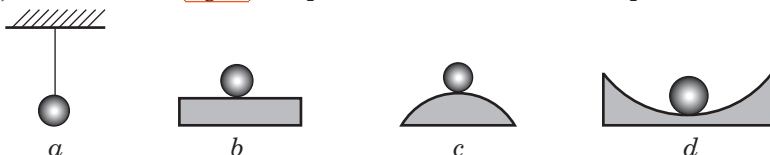


Fig. 1

2. (1 bal) Care mărimi fizice nu variază în urma ciocnirii elastice a două corpuri?
 a) viteza mișcării corpurilor; c) energiile cinetice ale corpurilor;
 b) impulsul corpurilor; d) energia cinetică și impulsul sistemului de corpuri.
3. (2 baluri) Stabiliți corespondența dintre mărimea fizică și expresia pentru calculul ei.
 1 Energia cinetică 2 Forța elastică 3 Forța de frecare 4 Impulsul corpului
 A μN B mv C kx D $kx^2/2$ E $mv^2/2$
4. (2 baluri) Un corp cu masa de 4 kg se mișcă de-a lungul axei OX , totodată coordonata lui variază după legea: $x = 0,5 + 2t + 5t^2$. Determinați modulul rezultantei forțelor, ce acționează asupra corpului.
 a) 2 N; b) 8 N; c) 20 N; d) 40 N.
5. (2 baluri) Un corp se mișcă cu accelerația de 2 m/s^2 sub acțiunea a două forțe reciproc perpendiculare, modulul cărora este egal cu 6 și 8 N. Determinați masa corpului.
 a) 1 kg; b) 5 kg; c) 7 kg; d) 20 kg.
6. (2 baluri) Pe podeaua ascensorului se află o valiză cu masa de 20 kg. Ascensorul începe să urce cu accelerația de 2 m/s^2 . Determinați greutatea valizei.
 a) 20 N; b) 160 N; c) 200 N; d) 240 N.
7. (3 baluri) În urma alungirii resortului cu 2,0 cm a apărut forța elastică de 3 N. Determinați energia potențială a resortului. La ce alungire a resortului forța elastică va fi egală cu 15 N?
8. (3 baluri) O bară cu masa de 500 g sub acțiunea unei greutateți cu masa de 150 g suspendate de ea a parcurs de la începutul mișcării un drum de 80 cm în 2 s (fig. 2). Aflați coeficientul de frecare de alunecare.
9. (4 baluri) Un automobil cu masa de 3 t se mișcă la deal, dezvoltând o forță de tracțiune de 3 kN. Cu ce accelerație se mișcă automobilul, dacă coeficientul de rezistență a mișcării este egal cu 0,04, iar panta drumului — 0,03?
10. (4 baluri) Corpul cu masa de 0,2 kg, care se mișcă cu viteza de 12 m/s, ajunge un corp cu masa de 0,4 kg, care se mișcă cu viteza de 3 m/s. Determinați cantitatea de căldură, ce se degajă în urma ciocnirii absolut neelastice a acestor corpuri.

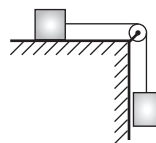


Fig. 2

Confrunțați răspunsurile voastre cu cele indicate la sfârșitul manualului. Notați însărcinările, pe care le-ați efectuat corect, calculați suma balurilor și împărțiți-o la doi. Rezultatul obținut va corespunde nivelului reușitei voastre la învățatură.



Însărcinările de antrenare cu verificare computațională le veți găsi pe resursul electronic de învățământ «Învățământul interactiv».

PARTEA 3. OSCILAȚII MECANICE ȘI UNDE

§ 19. FELURILE OSCILAȚIILOR MECANICE



Oscilațiile mecanice ne înconjoară pretutindeni: legănarea ramurilor copacilor, vibrarea strunelor instrumentelor muzicale, oscilațiile plutei pe unde, mișcarea pendulului ceasornicului, bătăile inimii ș. a. m. d. Mișcarea oscilatorie este una din cele mai răspândite în natură, are o serie de criterii specifice, despre care veți afla în acest paragraf.

1 Ce mărimi fizice caracterizează mișcarea oscilatorie

Oscilațiile mecanice — aceasta-s mișcările corpului (sau a sistemului de corpuri), care au loc lângă o anumită poziție de echilibru și care se repetă exact sau aproximativ peste intervale de timp egale.

Mișcarea oscilatorie, ca și orice mișcare este caracterizată de așa mărimi fizice ca viteza, accelerația, coordonata (deplasarea).

Deplasarea x — aceasta-i distanța de la poziția de echilibru, în care la momentul dat corpul, care oscilează.

În timpul oscilațiilor starea mecanică a corpului permanent variază. Dacă coordonata, modulul și direcția vitezei de mișcare a corpului se repetă peste intervale de timp egale, astfel de oscilații se numesc *periodice*.

Există un șir de mărimi fizice care caracterizează anume oscilațiile periodice, în special *amplitudinea*, *perioada*, *frecvența* (vezi fig. 19.1).

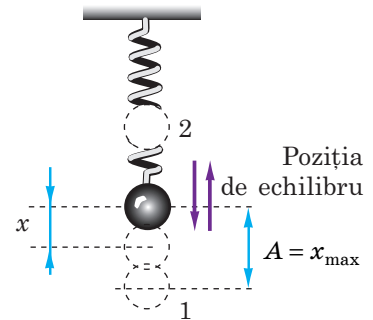


Fig. 19.1. Greutatea suspendată de un arc efectuează oscilații periodice (x — deplasarea greutatei; A — amplitudinea oscilațiilor). Intervalul de timp în decursul căruia greutatea s-a deplasat din poziția 1 în poziția 2 și înapoi (durata unei oscilații), — perioada oscilațiilor .

Amplitudinea oscilațiilor A	Perioada oscilațiilor T	Frecvența oscilațiilor ν
Distanța maximă, la care s-a abătut corpul de la poziția de echilibru: $A = x_{\max}$	Timpul unei oscilații: $T = \frac{t}{N}$	Numărul de oscilații într-o unitate de timp: $\nu = \frac{N}{t}$
	unde t — timpul observației; N — numărul de oscilații în timpul t	
Unitatea de măsură a amplitudinii oscilațiilor în SI — metrul : $[A] = 1 \text{ m (m)}$	Unitatea de măsură a perioadei oscilațiilor în SI — secunda : $[N] = 1 \text{ s (s)}$	Unitatea de măsură a frecvenței în SI — Hertz : $[\nu] = 1 \text{ Hz (Hz)}$.
	Frecvența și perioada oscilațiilor sunt legate prin relația: $\nu = 1/T$	

2 Oscilații neamortizate și amortizate

Vom studia oscilațiile greutății pe un arc (fig. 19.1). Dacă în sistemul «greutate — arc — Pământ» nu ar fi fost pierderi de energie mecanică, atunci oscilațiile ar dura infinit de mult, iar amplitudinea lor nu ar fi variat cu timpul.

Oscilațiile, amplitudinea cărora nu variază cu timpul, se numesc **neamortizate**.

Însă în orice sistem întotdeauna sunt pierderi de energie mecanică. Energia se consumă pentru învingerea forțelor de frecare, pentru deformarea corpurilor în timpul oscilațiilor. În rezultat energia mecanică treptat se transformă în internă. De aceea, dacă sistemul nu primește energie din exterior, atunci amplitudinea oscilațiilor treptat scade și oscilațiile peste un anumit timp încetează (se amortizează).

Oscilațiile, amplitudinea cărora scade cu timpul, se numesc **amortizate**.

3 Oscilații libere și forțate, autooscilații

Există diferite feluri de oscilații mecanice.

Sunt oscilații, care sunt capabile să se producă fără influență periodică exterioară. Așa sunt, de exemplu, oscilațiile bilei suspendate de o sfoară sau un arc, care iau naștere după ce bila a fost deviată de la poziția de echilibru și lăsată liber. Așa oscilații se numesc libere.

Oscilațiile libere — aceasta-s oscilațiile, care au loc sub acțiunea forțelor interne ale sistemului după ce el a fost scos din poziția de echilibru.

Frecvența oscilațiilor libere se determină de proprietățile sistemului însuși (vezi § 20).

Sistemul de corpuri, în care pot apărea oscilații libere se numește *sistem oscilant*. O trăsătură caracteristică a oricărui sistem oscilant este prezența în el a *poziției de echilibru stabil*. Anume lângă această poziție și au loc oscilațiile libere. Pentru ca în sistemul oscilant să apară oscilații libere este necesară îndeplinirea a două condiții:

- sistemului trebuie să i să transmită energia de surplus (fig. 19.2);
- frecarea în sistem trebuie să fie suficient de mică, de altfel oscilațiile repede se vor amortiza sau chiar vor dispărea.

Deoarece în timpul oscilațiilor libere sistemul nu primește energie din exterior, oscilațiile libere — aceasta întotdeauna sunt oscilații amortizate. Cu cât este mai mare frecarea cu atât mai repede se amortizează oscilațiile. De exemplu, dacă unul și același corp de-l făcut să oscileze în aer și în apă, atunci în aer oscilațiile vor avea loc destul de mult, iar în apă repede se vor amortiza. Apropos, pe acest fenomen se bazează lucrul amortizatoarelor automobilelor (fig. 19.3).

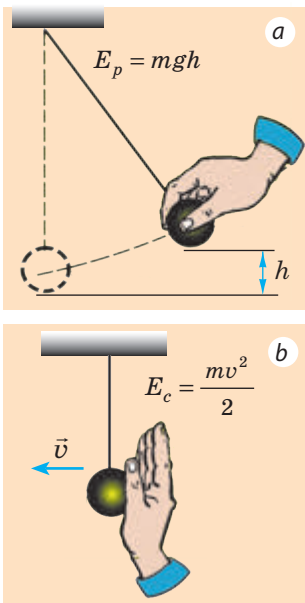


Fig. 19.2. Pentru ca în sistemul oscilant să apară oscilații libere este necesar de-l scos din poziția de echilibru: de-i comunicat energie cinetică (a) sau potențială (b)

Există oscilații (de exemplu, mișcarea aerului în instrumentele de suflat, pistonului — în motorul cu ardere internă), care sunt capabile să se efectueze numai atunci, când asupra corpului acționează forțele exterioare, ce variază periodic și fac ca corpul să efectueze o mișcare oscilatorie. Astfel de oscilații se numesc *forțate*.

Oscilațiile forțate — acestea-s oscilațiile, care au loc în sistem în urma acțiunii forței exterioare, ce variază periodic.

? Care forță, variind periodic face ca palma voastră să efectueze oscilații forțate (vezi fig. 19.4)?

Oscilațiile forțate — de obicei *oscilații neamortizate*, frecvența cărora este egală cu frecvența variației forței exterioare, care face ca corpul să oscileze.

Sunt sisteme, în care oscilațiile neamortizate există nu datorită influenței periodice exterioare, ci în rezultatul capacității acestui sistem însuși să regleze alimentarea cu energie de la sursa constantă (neperiodică). Astfel de sisteme se numesc *autooscilante*, iar oscilațiile neamortizate în asemenea sisteme — *autooscilații*.

Oscilațiile neamortizate, care au loc în sistem pe contul alimentării cu energie de la o sursă constantă, ce este regulată de însuși sistemul dat, se numesc **autooscilații**.

Frecvența autooscilațiilor, ca și frecvența oscilațiilor libere se determină prin proprietățile sistemului însuși. Exemplu de sistem mecanic autooscilant poate fi mecanismul ceasornicului care are mers în ancoră (fig. 19.5). Practic în orice sistem autooscilant pot fi evidențiate trei elemente caracteristice: *sistemul oscilant*, în care pot avea loc oscilații libere (în cazul nostru aceasta este pendulul ceasornicului 1), *sursă de energie* (greutatea ridicată 2, care întoarce roata de locomoție a ancorei 3), *dispozitivul de legătură inversă*, care reglează furnizarea energiei de la sursă prin anumite porții (ancora 4, prin care pendulul «conduce», în ce moment greutatea transmite energie roții de locomoție).

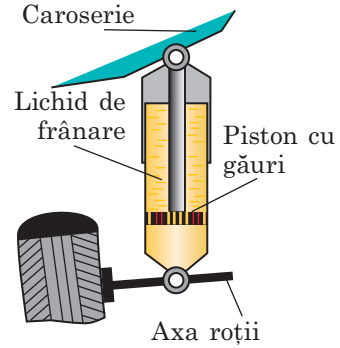


Fig. 19.3. De caroseria automobilului se leagă pistonul, care în timpul oscilațiilor se mișcă în cilindrul umplut cu lichid; o rezistență considerabilă a lichidului cauzează amortizarea oscilațiilor



Fig. 19.4. Pentru însărcinarea din § 19

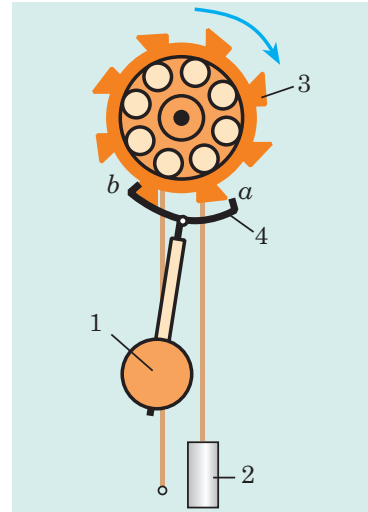


Fig. 19.5. Când pendulul 1 se apropie de poziția extremă din stânga, paleta b se agață de dintele roții de locomoție 3 și pendulul primește un șoc înspre stânga, obținând o energie suplimentară

4 Oscilații armonice

După caracterul dependenței deplasării (coordonatei) corpului de timpul oscilațiilor se deosebesc *oscilații armonice și anarmonice*. În cea mai mare parte dependența $x(t)$ e destul de complicată (fig. 19.6).

Să studiem graficul oscilațiilor corpului pe arc (fig. 19.6, c). Curba reprezentată în grafic — o cosinusoidă.

Oscilațiile, în timpul cărora coordonata corpului, care oscilează, variază cu timpul t conform legii cosinusului (sau sinusului) se numesc **oscilații armonice**:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0), \text{ sau } x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Aceste ecuații se numesc *ecuațiile oscilațiilor armonice*. Să clarificăm, ce înseamnă fiecare mărime din ele.

A — **amplitudinea oscilațiilor**: $x_{\max} = A$ (deoarece valoarea maximă a cosinusului și sinusului este egală cu 1).

$\omega t + \varphi_0$ — **faza oscilațiilor**: $\varphi = \omega t + \varphi_0$ — mărimea, care determină starea mecanică a corpului în momentul dat de timp.

φ_0 — **faza inițială a oscilațiilor** — faza oscilațiilor în momentul începutului măsurării timpului (dacă $t = 0$, atunci $\varphi = \omega t + \varphi_0 = \varphi_0$).

ω — **frecvența ciclică a oscilațiilor**: $\omega = \frac{2\pi}{T}$, unde T perioada oscilațiilor. (Cosinusul, ca și sinusul — funcție periodică, adică $\cos(\omega t + \varphi_0) = \cos(\omega t + \varphi_0 + 2\pi)$; oscilațiile se repetă total peste timpul, care este egal cu perioada oscilațiilor T , de aceea $\cos(\omega t + \varphi_0) = \cos(\omega(t+T) + \varphi_0)$. Astfel: $\omega t + \varphi_0 + 2\pi = \omega t + \omega T + \varphi_0 \Rightarrow \omega = 2\pi/T$.)

Unitatea de măsură a frecvenței ciclice în SI — **radian pe secundă** (rad/s, s⁻¹).

Se poate demonstra: când coordonata corpului variază după legea armonică (după legea cosinusului sau sinusului), viteza și accelerația mișcării corpului de asemenea variază armonic. Totodată sunt satisfăcute corelațiile:

$$v_{\max} = \omega x_{\max}; \quad a_{\max} = \omega^2 x_{\max}; \quad a_x = -\omega^2 x$$

Și invers: *dacă în orice moment de timp al mișcării corpului accelerația lui este direct proporțională cu deplasarea și este orientată în direcție opusă deplasării, atunci o asemenea mișcare reprezintă în sine oscilații armonice.*

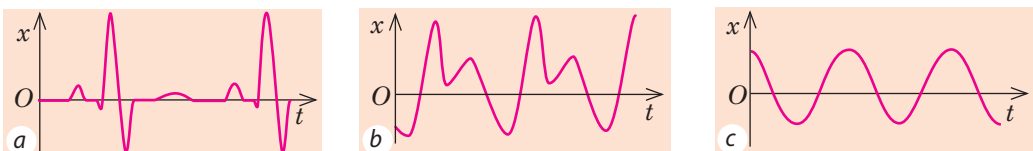


Fig. 19.6. Graficele dependenței x a corpului (sau a părților corpului) de timpul oscilațiilor t ; a — cutia toracică în timpul bătăilor inimii (cardiograma); b — membrana difuzorului în timpul emiterii unei sonore; c — corpul pe arc

Atrageți atenția!

- Dacă momentul începutului măsurării timpului ($t=0$) coincide cu momentul abaterii maxime a corpului de la poziția de echilibru ($x_0 = x_{\max} = A$), atunci ecuația oscilațiilor e mai comod de scris sub forma: $x_0 = A \cos \omega t$ (fig. 19.7, a).

- Dacă momentul începutului măsurării timpului ($t=0$) coincide cu momentul trecerii corpului prin poziția de echilibru ($x_0 = 0$), atunci ecuația oscilațiilor e mai comod de scris sub forma: $x = A \sin \omega t$ (fig. 19.7, b).

- Din graficul oscilațiilor, ca și din ecuația oscilațiilor, se determină ușor toate mărimile fizice, care caracterizează mișcarea oscilatorie (vezi p. 5 § 19).

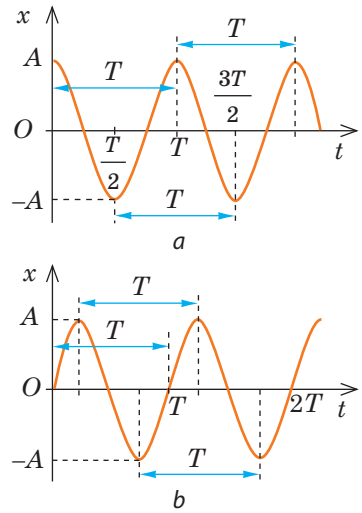


Fig. 19.7. Graficele oscilațiilor armonice (A — amplitudinea oscilațiilor; T — perioada oscilațiilor). Coordonata corpului, care oscilează variază în dependență de timp după legea: $x = A \cos \omega t$ (a); $x = A \sin \omega t$ (b)

5 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. Cu ajutorul graficului reprezentat determinați amplitudinea și perioada oscilațiilor corpului. Calculați frecvența ciclică a oscilațiilor și viteza maximă de mișcare a corpului. Scrieți ecuația oscilațiilor. Aflați deplasarea corpului în faza $\frac{\pi}{2}$ rad.

Se dă:

$$\varphi = \frac{\pi}{2}$$

A — ?

T — ?

ω — ?

v_{\max} — ?

$x(t)$ — ?

$x\left(\varphi = \frac{\pi}{2}\right)$ — ?

Rezolvarea. În momentul începerii observării ($t=0$) corpul se află în poziția de echilibru ($x_0 = 0$), de aceea ecuația oscilațiilor are aspectul: $x = A \sin \omega t$.

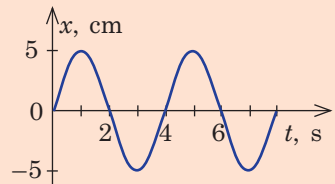
Din grafic vedem: deplasarea maximă a corpului este egală cu 5 cm: $A = x_{\max} = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$; corpul efectuează o oscilație completă în 4 s, deci, $T = 4 \text{ s}$.

Să calculăm frecvența ciclică a oscilațiilor și viteza maximă a mișcării corpului: $\omega = \frac{2\pi}{T} = 0,5\pi \text{ (s}^{-1}\text{)}$; $v_{\max} = \omega x_{\max} = 0,025\pi \text{ (m/s)}$.

Substituind valorile $A = 0,05 \text{ m}$ și $\omega = 0,5\pi \text{ s}^{-1}$ în ecuația oscilațiilor, obținem: $x = 0,05 \sin 0,5\pi t \text{ (m)}$.

Dacă $\varphi = \frac{\pi}{2}$, atunci $x = A \sin \varphi = 0,05 \sin \frac{\pi}{2} = 0,05 \text{ (m)}$.

Răspuns: $A = 0,05 \text{ m}$; $T = 4 \text{ s}$; $\omega = 0,5\pi \text{ s}^{-1}$; $v_{\max} = 0,025\pi \text{ m/s}$; $x = 0,05 \sin 0,5\pi t \text{ (m)}$; $x = 0,05 \text{ m}$.



Facem totalurile

- Mișcărilor, care exact sau aproximativ exact se repetă peste intervale de timp egale se numesc oscilații mecanice.

- Oscilațiile, amplitudinea cărora nu variază cu timpul se numesc neamortizate; oscilațiile, amplitudinea cărora scade cu timpul, — amortizate.

• Oscilațiile, ce au loc în sistem în urma acțiunii forței exterioare, care variază periodic, se numesc forțate, iar acelea, ce au loc sub acțiunea numai a forțelor interne ale sistemului, — libere.

• Oscilațiile neamortizate, care pot exista într-un sistem pe contul furnizării energiei de la o sursă constantă (neperiodică), ce este reglată de însuși sistemul dat se numesc autooscilații.

• Oscilațiile, în timpul cărora coordonata a corpului, care oscilează, variază cu timpul conform legii cosinusului (sau sinusului) se numesc oscilații armonice. În formă generală ecuația oscilațiilor armonice are aspectul: $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$, sau $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$, unde A — amplitudinea oscilațiilor; $\omega t + \varphi_0$ — faza oscilațiilor φ ; φ_0 — faza inițială; ω — frecvența ciclică.



Întrebări de control

1. Numiți principalele mărimi fizice, care caracterizează mișcarea oscilatorie. Dați definiția lor. **2.** De ce în prezența frecării amplitudinea oscilațiilor libere scade treptat? Cum se numesc astfel de oscilații? **3.** Care oscilații se numesc libere? forțate? Dați exemple. **4.** Ce condiții sunt necesare pentru apariția oscilațiilor libere? **5.** Numiți elementele caracteristice ale sistemului autooscilant. **6.** În ce constă asemănarea dintre oscilațiile libere și autooscilații? autooscilații și oscilațiile forțate? Prin ce ele se deosebesc? **7.** Care oscilații se numesc armonice? Scrieți ecuația oscilațiilor armonice. **8.** Ce aspect are graficul oscilațiilor armonice?



Exercițiul nr. 19

- Amintiți-vă exemple de oscilații din viața de zi cu zi. Ce fel de oscilații sunt acestea — amortizate sau neamortizate, libere sau forțate? Argumentați-vă răspunsul.
- Perioada oscilațiilor unei greutăți fixate de un arc este egală cu 2 s. Ce înseamnă aceasta? 1) Determinați frecvența și frecvența ciclică a oscilațiilor greutății. 2) Câte oscilații va efectua greutatea în 10 s? 3) Ce drum va parcurge greutatea în 3 s, dacă amplitudinea oscilațiilor — 5 cm?
- Ecuația oscilațiilor unui corp are forma $x = 0,4 \sin \frac{2\pi}{3} t$ (m). Determinați amplitudinea, perioada și frecvența oscilațiilor corpului. Calculați viteza maximă și accelerația maximă a mișcării corpului.
- Scrieți ecuația oscilațiilor armonice pentru un corp, dacă amplitudinea oscilațiilor lui constituie 10 cm, iar perioada oscilațiilor — 1 s. Considerați, că în momentul începerii observării corpul avea abaterea maximă de la poziția de echilibru.
- În fig. 1 și 2 sunt reprezentate graficele oscilațiilor armonice ale unor corpuri. Pentru fiecare corp: a) determinați amplitudinea oscilațiilor; b) perioada oscilațiilor; c) frecvența oscilațiilor; d) scrieți ecuațiile oscilațiilor.
- Demonstrați, că inima și plămânii ființelor vii pot fi referite la sistemele autooscilante. Unde în viața de toate zilele noi ne întâlnim cu sisteme autooscilante? În caz de necesitate folosiți-vă de surse suplimentare de informații.

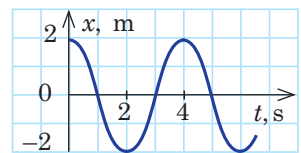


Fig. 1

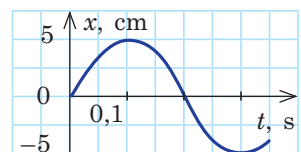


Fig. 2



§ 20. PENDULELE MATEMATIC ȘI ELASTIC. ENERGIA OSCILAȚIILOR



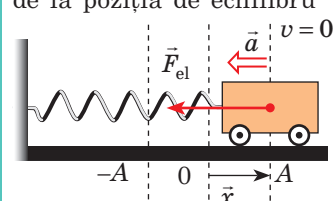
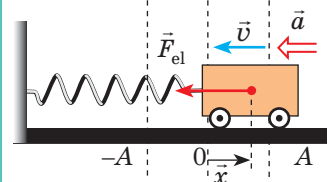
Mișcările oscilatorii sunt foarte diverse. Însă există «clasica» mișcărilor oscilatorii — ele au fost descrise cu sute de ani în urmă, cu studierea lor s-au ocupat *Galileo Galilei* (1564–1642) și *Cristian Huygens* (1629–1695). Această oscilația pendulului cu arc și a pendulului matematic. Anume cu astfel de oscilații veți face cunoștință în acest paragraf.

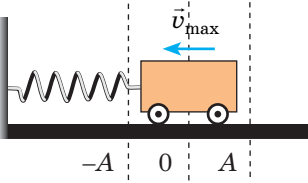
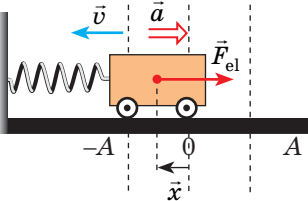
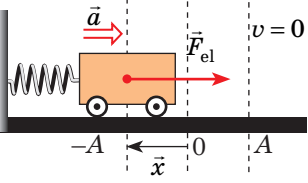
1 Oscilațiile pendulului elastic

Pendulul elastic — sistem oscilant, care constă dintr-un corp, fixat de arc.

Să cercetăm *oscilațiile unui pendul cu arc orizontal* — a unui cărucior cu masa m , fixat de un perete vertical cu un arc ce are rigiditatea k . Vom considera, că forțele de frecare, care acționează în sistem sunt neglijabil de mici, atunci oscilațiile pendulului vor fi neamortizate (amplitudinea lor cu timpul nu se va schimba, iar energia mecanică totală a sistemului se va conserva). Totodată energia potențială a arcului deformat se va transforma în energie cinetică a mișcării căruciorului, și invers.

Oscilațiile pendulului elastic

<p>1. Starea abaterii maxime de la poziția de echilibru</p>  <p>$v = 0; x = x_{\max}; E = E_{p\max}$</p>	<p>Îndepărtăm căruciorul la distanța x_{\max} la dreapta de la poziția de echilibru — arcul este întins, și asupra căruciorului acționează forța elastică orientată în stânga, în momentul dat această forță este maximă: $F_{el} = kx_{\max}$</p>	<p>Căruciorul este imobil, de aceea energia lui cinetică este egală cu zero: $E_c = 0$. Energia potențială a arcului este maximă și egală cu energia totală a pendulului: $E_p = \frac{kx_{\max}^2}{2}$</p>
<p>2. Mișcarea accelerată a căruciorului, viteza de mișcare crește</p>  <p>$v \uparrow; x \downarrow; F_{el} \downarrow \Rightarrow a \downarrow;$ $E = E_k + E_p$</p>	<p>Eliberăm căruciorul — sub acțiunea forței elastice el va începe să se miște în stânga. Forța F_{el} este orientată în direcția mișcării căruciorului, de aceea viteza mișcării lui se mărește. În schimb alungirea arcului x se micșorează, de aceea se va micșora și forța elastică, și deci, și accelerația mișcării căruciorului</p>	<p>Energia cinetică a căruciorului se mărește: $E_c = \frac{mv^2}{2}$. Energia potențială a arcului se micșorează: $E_p = \frac{kx^2}{2}$. Energia totală a sistemului rămâne neschimbată și este egală cu suma energiilor cinetică și potențială.</p>

<p>3. Starea de echilibru</p>  <p>$F_{el} = 0 \Rightarrow a = 0; \mathbf{l} = \mathbf{0};$ $v = v_{max}; x = 0; E = E_{kmax}$</p>	<p>Peste un timp, egal cu un sfert din perioadă ($t = T/4$), căruciorul va ajunge la poziția de echilibru. În acest moment forța elastică și accelerația sunt egale cu zero, iar viteza mișcării căruciorului va atinge valoarea maximă</p>	<p>Energia potențială a arcului este egală cu zero: $E_p = 0$. Energia cinetică a căruciorului este maximă și egală cu energia mecanică totală a sistemului:</p> $E_c = \frac{mv_{max}^2}{2}$
<p>4. Mișcarea încetinită a căruciorului, viteza mișcării se micșorează</p>  <p>$v \downarrow; x \uparrow; F_{el} \uparrow \Rightarrow a \uparrow;$ $E = E_c + E_p$</p>	<p>Ajungând în poziția de echilibru căruciorul nu se va opri, și datorită inerției va continua mișcarea în stânga. Arcul începe să se comprime, și forța elastică crescătoare încetinește mișcarea căruciorului</p>	<p>Energia cinetică a căruciorului se micșorează: $E_c = \frac{mv^2}{2}$. Energia potențială a arcului se mărește: $E_p = \frac{kx^2}{2}$. Energia totală a sistemului este egală cu suma energiilor cinetică și potențială.</p>
<p>5. Starea abaterii maxime de la poziția de echilibru</p>  <p>$v = 0; x = x_{max};$ $F_{el} = kx_{max}; E = E_{pmax}$</p>	<p>Ajungând în punctul de viraj (a devierii maxime de la poziția de echilibru), căruciorul se oprește pentru o clipă. În acest moment forța elastică atinge valoarea maximă. De la momentul începerii oscilațiilor a trecut o jumătate din perioadă ($t = T/2$)</p>	<p>Căruciorul este imobil, de aceea energia lui cinetică este egală cu zero: $E_c = 0$. Energia potențială a arcului este maximă și egală cu energia totală a pendulului:</p> $E_p = \frac{kx_{max}^2}{2}$
<p>În jumătatea de perioadă ulterioară caracterul mișcării căruciorului va fi tot așa, numai că în direcția opusă: căruciorul va începe să se miște la dreapta spre poziția de echilibru, mărindu-și viteza; peste intervalul de timp $t = \frac{3}{4}T$, de la începerea oscilațiilor el va trece prin poziția de echilibru și în continuare din nou se va abate la distanța x_{max}. Astfel se va termina o oscilație completă ($t = T$). Mai departe totul se repetă.</p>		

Atrageți atenția! În decursul întregii durate a oscilațiilor forța elastică este orientată în partea opusă deplasării căruciorului — tot timpul forța elastică «împinge» căruciorul spre poziția de echilibru.

Așadar, *oscilațiile libere ale pendulului elastic au următoarele pricini:*

1) *forța, ce acționează asupra corpului, totdeauna este orientată spre poziția de echilibru;*

2) *corpul, care oscilează, este inert, de aceea el nu se oprește în poziția de echilibru (când rezultanta forțelor este egală cu zero), ci continuă mișcarea tot în aceeași direcție.*

2 Cum de determinat perioada oscilațiilor pendulului elastic

Să cercetăm oscilațiile căruciorului, fixat de un arc orizontal, din punctul de vedere al celei de-a doua legi a lui Newton (fig. 20.1). vom scrie ecuația legii a doua a lui Newton în formă vectorială: $\vec{F}_{el} + m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$.

Forța de greutate și forța de reacțiune normală a suportului se echilibrează una le alta, de aceea $\vec{F}_{el} = m\vec{a}$. Proiectând această ecuație pe axa OX ($F_{elx} = ma_x$) și folosind legea lui Hooke ($F_{elx} = -kx$), vom obține: $a_x = -\frac{k}{m}x$.

Vedem, că această ecuație poate fi scrisă sub forma $a_x = -\omega^2 x$. Astfel, oscilațiile căruciorului fixat pe un arc sunt oscilații armonice, iar frecvența ciclică a acestor oscilații consti-

tuie: $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$.

Având în vedere, că $T = \frac{2\pi}{\omega}$ obținem **formula pentru calculul perioadei pendulului elastic:**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Atrageți atenția! Perioada oscilațiilor pendulului elastic nu depinde nici de amplitudinea oscilațiilor, nici de aceea unde au loc aceste oscilații (pe suprafața Pământului, pe nava cosmică sau pe suprafața Lunii), — ea este determinată numai de caracteristicile proprii ale sistemului oscilant «corp — arc». Dacă perioada a oscilațiilor corpului T și rigiditatea k a arcului sunt cunoscute, atunci poate fi aflată masa corpului m . Acest procedeu de determinare a masei este utilizat atunci când corpurile se află în stare de imponderabilitate, când cântarele obișnuite nu funcționează.

3 Ce se numește pendul matematic

Orice corp solid, care efectuează sau poate efectua oscilații în raport cu axa care trece prin punctul de suspensie se numește *pendul fizic*. Exemplu poate servi jucăria, suspendată de ață în salonul automobilului. Dacă scoatem jucăria din poziția de echilibru, atunci ea va începe să oscileze. Însă studiarea a astfel de oscilații este destul de complicată: caracterul lor este determinat de dimensiunile jucăriei, proprietățile aței și de alți factori.

Pentru ca dimensiunile corpului să nu influențeze caracterul oscilațiilor lui, trebuie de luat ața, lungimea căreia este cu mult mai mare decât dimensiunile corpului, iar masa neglijabilă în comparație cu masa lui. În aceste caz corpul poate fi considerat ca *punct material*. Iar pentru ca corpul în timpul oscilațiilor tot timpul să se afle la aceeași distanță de la punctul de suspensie, ața trebuie să fie inextensibilă. Astfel va fi creat *modelul fizic — pendulul matematic*.

Pendulul matematic — aceasta-i modelul fizic al sistemului oscilant, care este compus dintr-un punct material, suspendat printr-un fir inextensibil de masă neglijabilă și câmpul gravitațional.

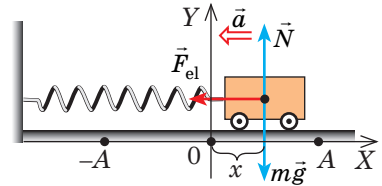
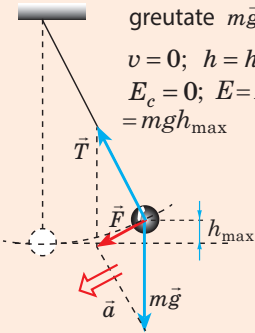


Fig. 20.1. Asupra căruciorului, deviat de la poziția de echilibru acționează trei forțe: forța de reacțiune a suportului \vec{N} , forța de greutate $m\vec{g}$ și forța elastică \vec{F}_{el}

1. Starea abaterii maxime de la poziția de echilibru (\vec{F} — rezultanta forței de tensiune \vec{T} și a forței de greutate $m\vec{g}$)

$$v = 0; h = h_{\max};$$

$$E_c = 0; E = E_{p\max} = mgh_{\max}$$



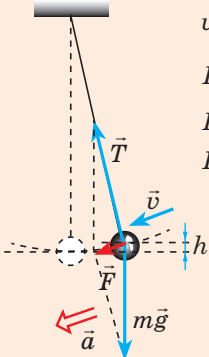
2. Mișcarea accelerată a bilei, viteza mișcării se mărește

$$v \uparrow; h \downarrow;$$

$$E_c = \frac{mv^2}{2};$$

$$E_p = mgh;$$

$$E = E_c + E_p$$



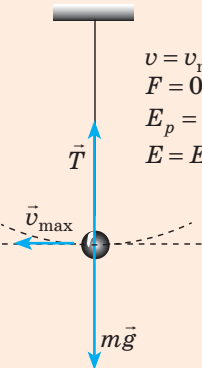
3. Starea de echilibru

$$v = v_{\max}; h = 0;$$

$$F = 0;$$

$$E_p = 0;$$

$$E = E_c \max = \frac{mv_{\max}^2}{2}$$



$$t = T/4$$

4 Oscilațiile pendulului matematic

Să luăm o bilă mică, însă suficient de grea și o suspendăm de un fir lung și inextensibil — un astfel de pendul poate fi considerat matematic. Dacă se va bate bila de la poziția de echilibru și de-o slobozit, atunci în urma acțiunii câmpului gravitațional al Pământului (forței de greutate) și forței de tensiune a firului bila va începe să oscileze pe lângă poziția de echilibru. Deoarece rezistența aerului este neglijabil de mică, iar forțele, ce acționează în sistem sunt conservative, energia mecanică totală a bilei se va conserva. Totodată energia potențială a bilei ridicate se va transforma în energie cinetică, și invers.

? Examinați mișcarea oscilatorie a bilei (fig. 20.2), explicați cauzele mișcării ei și clarificați, ce transformări de energie au loc.

5 Cum de calculat perioada oscilațiilor pendulului matematic

Se poate demonstra, că *pendulul matematic, abătut de la poziția de echilibru la un unghi mic (3–5°), va efectua oscilații armonice*, adică accelerația mișcării lui tot timpul va fi direct proporțională cu deplasarea și orientată în direcție opusă deplasării: $a_x = -\omega^2 x$.

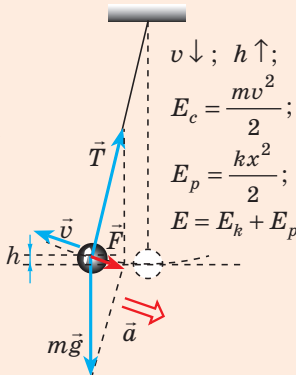
4. Mișcarea încetinită a bilei, viteza mișcării se micșorează

$$v \downarrow; h \uparrow;$$

$$E_c = \frac{mv^2}{2};$$

$$E_p = \frac{kx^2}{2};$$

$$E = E_k + E_p$$

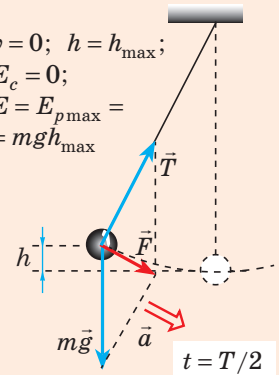


5. Starea abaterii maxime de la poziția de echilibru

$$v = 0; h = h_{\max};$$

$$E_c = 0;$$

$$E = E_{p\max} = mgh_{\max}$$



$$t = T/2$$

Fig. 20.2. Oscilațiile pendulului matematic sunt libere, deoarece au loc sub acțiunea forțelor interne ale sistemului. Pricinile, datorită cărora pendulul matematic efectuează oscilații libere sunt aceleași, ca și în cazul oscilațiilor pendulului elastic: 1) rezultanta forțelor, aplicate corpului totdeauna este orientată spre poziția de echilibru; 2) corpul, care oscilează este inert

Pentru pendulul matematic $\omega^2 = \frac{g}{l}$, de aceea frecvența ciclică $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$. Deci, **perioada oscilațiilor pendulului matematic** se calculează după formula:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

unde l — lungimea pendulului; g — accelerația căderii libere.

Această formulă pentru prima dată a fost obținută în sec. XVII de către savantul olandez *Cristian Huygens*, de aceea ea se numește **formula lui Huygens**.

Perioada oscilațiilor pendulului matematic nu depinde de masa pendulului, ci este determinată numai de lungimea firului și de accelerația căderii libere în acel loc, unde este amplasat acest pendul. De aceea, măsurând lungimea firului și perioada oscilațiilor pendulului, se poate determina accelerația căderii libere într-o anumită localitate (vezi lucrarea de laborator nr. 5).

6 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. Ecuația oscilațiilor greutății pe arc are aspectul: $x = 10 \cos 2\pi t$ (cm). Aflați energia mecanică totală a oscilațiilor, viteza maximă a mișcării greutății, energiile cinetică și potențială a sistemului peste $\frac{1}{6}$ s după începerea măsurării timpului. Masa greutății — 1 kg. Considerați sistemul închis.

Se dă:

$$x = 0,10 \cos 2\pi t \text{ (m)}$$

$$t = \frac{1}{6} \text{ s}$$

$$m = 1,0 \text{ kg}$$

$$E \text{ — ? } v_{\max} \text{ — ?}$$

$$E_k \text{ — ? } E_p \text{ — ?}$$

Analiza problemei fizice, rezolvarea. Sistemul este închis, de aceea se confirmă legea conservării energiei mecanice totale:

$$E = \frac{kA^2}{2} = \frac{mv_{\max}^2}{2} = E_c + E_p.$$

Să comparăm ecuația oscilațiilor la formă generală cu ecuația

$$\text{dată în problemă: } \left. \begin{array}{l} x = A \cos \omega t, \\ x = 0,1 \cos 2\pi t \end{array} \right| \Rightarrow A = 0,1 \text{ m; } \omega = 2\pi \text{ s}^{-1}.$$

Deoarece $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, atunci $k = \omega^2 m = 4\pi^2 \cdot 1 \approx 40$ (N/m); $E = E_{p \max} = \frac{kA^2}{2} = 0,20$ (J);

$$\frac{kA^2}{2} = \frac{mv_{\max}^2}{2} \Rightarrow v_{\max} = \sqrt{\frac{kA^2}{m}} = A\sqrt{\frac{k}{m}} = A\omega = 0,1 \cdot 2\pi \approx 0,63 \text{ (m/s)}.$$

Determinând alungirea arcului peste $t = \frac{1}{6}$ s, vom determina energiile potențială și cinetică ale arcului: $x = 0,1 \cos 2\pi t = 0,1 \cos 2\pi \cdot \frac{1}{6} = 0,1 \cos \frac{\pi}{3} = 0,05$ (m);

$$E_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{40 \cdot 0,0025}{2} = 0,05 \text{ (J); } E = E_c + E_p \Rightarrow E_c = E - E_p = 0,20 - 0,05 = 0,15 \text{ (J)}.$$

Răspuns: $E = 0,20$ J; $v_{\max} = 0,63$ m/s; $E_c = 0,15$ J; $E_p = 0,05$ J.



Facem totalurile

- Pendulul elastic — sistem oscilant, care constă dintr-un corp, fixat de arc. Perioada oscilațiilor pendulului elastic nu depinde de amplitudinea oscilațiilor și se determină după formula: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.

- Pendulul matematic — acesta-i modelul fizic al sistemului oscilant, care este compus dintr-un punct material, suspendat printr-un fir inextensibil de masă neglijabilă și câmpul gravitațional. Perioada oscilațiilor pendulului matematic nu depinde de masa pendulului și de amplitudinea oscilațiilor lui, și poate fi determinată după formula: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

- În timpul oscilațiilor libere a pendulului energiile lui potențială și cinetică permanent variază. Energia potențială este maximă în punctele de viraj și este egală cu zero în momentul trecerii pendulului prin poziția de echilibru. Energia cinetică în punctele de viraj este egală cu zero și atinge valoarea maximă în momentul trecerii pendulului prin poziția de echilibru.

Întrebări de control



1. Descrieți oscilațiile pendulului elastic. De ce corpul nu se oprește, când trece prin poziția de echilibru?
2. După care formulă se determină perioada oscilațiilor pendulului elastic?
3. Dați definiția pendulului matematic.
4. Descrieți oscilațiile pendulului matematic. După care formulă se determină perioada oscilațiilor lui?
5. Ce transformări de energie au loc în timpul oscilațiilor pendulului elastic?
6. În ce poziție energia potențială a pendulului atinge valoarea maximă? minimă? Ce se poate spune despre energia cinetică a pendulului în aceste momente?



Exercițiul nr. 20

1. În sistemul «cărucior — arc» au loc oscilații libere. Se va mări sau se va micșora perioada acestor oscilații, dacă: 1) se va mări amplitudinea oscilațiilor? 2) se va micșora masa căruciorului? 3) se va mări rigiditatea arcului?
2. Vor avea oare loc oscilațiile pendulului matematic în stare de imponderabilitate? Argumentați răspunsul.
3. Cum se va schimba mersul ceasornicului mecanic, dacă el se va scoate dintr-o încăpere caldă într-o încăpere rece? Se va ridica de la etajul întâi al unui zgârie-nori pe acoperiș?
4. Care este masa corpului, suspendat de un arc cu rigiditatea de 40 N/m, dacă după devierea corpului de la poziția de echilibru el efectuează 8 oscilații în 12 s?
5. La ce înălțime maximă se abate pendulul matematic, dacă în momentul trecerii prin poziția de echilibru el se mișcă cu viteza de 0,2 m/s? Care este lungimea pendulului, dacă perioada oscilațiilor lui — 2 s?
6. Ecuația oscilațiilor pendulului elastic cu masa de 5 kg are forma: $x = 0,2\cos 10\pi t$. Determinați: 1) frecvența ciclică și perioada oscilațiilor pendulului; 2) rigiditatea arcului pendulului; 3) energia mecanică totală a oscilațiilor; 4) deplasarea, energiile potențială și cinetică ale pendulului peste 0,025 s.
7. Observând oscilațiile candelabrului mare de la catedrala din Pisa, care se legăna din cauza curentului G. Galilei a măsurat perioada oscilațiilor lui și a stabilit... Folosiți-vă de surse suplimentare de informații și aflați: 1) ce a stabilit G. Galilei; 2) cum el a măsurat perioada oscilațiilor fără ceasornic; 3) care este perioada oscilațiilor candelabrului mare (pentru aceasta aflați informații despre lungimea suspensiei).



Problemă experimentală

Confecționați un pendul, fixând de un fir lung un corp destul de greu, și măsurați accelerația căderii libere în clădirea voastră. Convingeți-vă, că ea într-adevăr este egală cu 9,8 m/s².

§ 21. РЕЗОНАНЦА



În anul 1750 lângă orașul Angers (Franța) trecea podul pe lanțuri cu lungimea de 102 m un detașament de soldați, pășind cadențat. În consecință anvergura oscilațiilor podului s-a mărit în așa o măsură, că lanțurile lui s-au rupt și podul a căzut în râu. În anul 1830 din pricini analoage s-a ruinat podul suspendat din Manchester (Anglia). În anul 1940 din cauza rafalelor de vânt s-a ruinat podul Tacoma în SUA. Aceste evenimente — sunt exemple clasice de manifestare a rezonanței în sistemele oscilante. Ce este totuși rezonanța? Când manifestările ei sunt folositoare, iar când dăunătoare?

1 De ce pentru întreținerea oscilațiilor trebuie de furnizat energie

Dacă sistemul oscilant îl scoatem din poziția de echilibru, atunci în el vor apărea oscilații libere, a căror frecvență nu depinde de amplitudine. *Frecvența oscilațiilor libere se numește frecvență proprie a oscilațiilor sistemului. Din pricina pierderii energiei oscilațiile libere totdeauna vor fi amortizate.* Pentru ca oscilațiile să nu se amortizeze, este necesar ca sistemul oscilatoriu să fie periodic alimentat din exterior cu energie.

Aducem un exemplu. Fiecare din voi s-a legănat cu scrânciobul. Când ați fost mici pe voi v-au legănat cu scrânciobul cei maturi, mai târziu v-ați învățat să vă legănați de sinestătător. Legănându-vă cu scrânciobul (dar scrânciobul — aceasta-i un pendul fizic) voi pe contul lucrului mușchilor periodic transmiteți sistemului oscilatoriu «scrânciobul» energie.

Dacă energia, ce ajunge la sistem, este insuficientă pentru a restabili cheltuielile pentru frecare, atunci amplitudinea oscilațiilor scrânciobului se va micșora până atunci, până când oscilațiile se vor statornici. În timpul oscilațiilor statornicite pierderile de energie ale sistemului sunt egale cu energia care vine în sistem (în cazul dat — în urma lucrului mușchilor voștri). Dacă însă în sistem vine mai multă energie, decât se cheltuie pentru frecare, atunci amplitudinea oscilațiilor se va mări. Însă o dată cu mărirea amplitudinii se vor mări și pierderile de energie, de aceea peste un anumit timp oscilațiile iarăși se vor statornici — scrânciobul iarăși se va legăna cu amplitudine constantă, însă mai mare decât mai înainte.

Voi puteți legăna scrânciobul și astfel: să stați pe pământ și să împingeți scrânciobul înainte — înapoi cu o frecvență, care nu este egală cu frecvența proprie a oscilațiilor scrânciobului. Scrânciobul va oscila, efectuând *oscilații forțate, a căror frecvență este egală cu frecvența variației forței impunătoare* (forței elastice din partea mâinilor voastre), însă este îndoielnic că o să vă ajungă eforturi pentru a obține o amplitudine suficient de mare a oscilațiilor.

2 În ce constă pricina apariției rezonanței

Veți legăna scrânciobul, împingându-l înainte — înapoi cu frecvență arbitrară mai degrabă doar ca să experimentați, fiindcă experiența de viață sugerează: trebuie de acționat în ritm cu oscilațiile proprii ale scrânciobului. Amplitudinea oscilațiilor repede se va mări, dacă frecvența forței variabile exterioare coincide cu frecvența oscilațiilor proprii ale scrânciobului.

Fenomenul creșterii bruste a amplitudinii oscilațiilor forțate, atunci când frecvența forței exterioare, ce variază periodic, coincide cu frecvența proprie a oscilațiilor sistemului, se numește **rezonanță**.

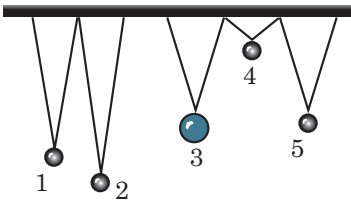


Fig. 21.1. Experiență pentru studierea fenomenului rezonanței. Bila 3 (cea mai grea) și bila 5 sunt suspendate de ațe de aceeași lungime

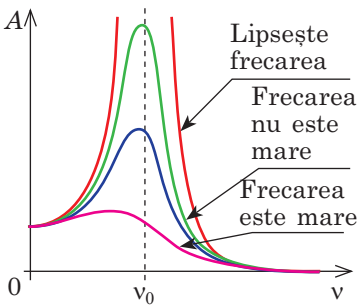


Fig. 21.2. Graficele dependenței amplitudinii A a oscilațiilor de frecvența v a forței exterioare variabile în funcție de diferite forțe de frecare; v_0 — frecvența proprie a oscilațiilor sistemului

repede se mărește — repede crește și amplitudinea oscilațiilor. Din cauza frecării oscilațiile cu timpul se statornicesc și energia lor încetează să mai crească.

Fenomenul rezonanței este comod de-l descris cu ajutorul graficelor.

Graficul dependenței amplitudinii oscilațiilor forțate de frecvența variației forței exterioare este numit **curbă de rezonanță**.

În figura 21.2 sunt prezentate curburi de rezonanță, obținute pentru diferite forțe de frecare. Din analiza graficelor conchidem: 1) cea mai mare amplitudine a oscilațiilor se obține atunci, când frecvența forței variabile exterioare coincide cu frecvența oscilațiilor proprii ale sistemului ($v = v_0$); 2) cu cât în sistem este mai mare forța de frecare, cu atât mai mic este picul curbei de rezonanță, adică cu atât mai slab este pronunțată rezonanța.

3 Cum de luptat cu manifestările rezonanței și unde se aplică rezonanța

Practic toate obiectele fizice sunt capabile să efectueze oscilații libere. acțiunile periodice exterioare asupra acestor obiecte pot cauza fenomenul rezonanței și duce la ruinare. La începutul paragrafului deja a fost vorba despre cazurile de distrugere a podurilor. De asemenea se cunosc cazuri de distrugere a avioanelor, când amplitudinea oscilațiilor aripilor avionului s-a mărit brusc

Pentru a observa fenomenul rezonanței să efectuăm o experiență. Să suspendăm de o bară subțire patru bile ușoare și una grea (fig. 21.1) — vom obține cinci pendule. Scoatem bila grea din poziția de echilibru — ea va începe să oscileze. Oscilațiile pendulului greu se transmit barei, care va începe să efectueze oscilații forțate cu aceeași frecvență și va acționa asupra altor pendule cu o anumită forță, ce variază periodic. În consecință ele de asemenea vor începe mișcarea oscilatorie. Totodată mai mult se va legăna pendulul 5, lungimea căruia (și deci, și frecvența oscilațiilor proprii) este egală cu lungimea pendulului greu 3.

Să clarificăm cauzele acestei comportări a pendulelor. Chestia constă în aceea, că atunci, când frecvența variației forței exterioare nu coincide cu frecvența proprie a oscilațiilor pendulului ($v \neq v_0$), forța exterioară ba «împinge» pendulul (efectuează un lucru pozitiv), ba împiedică mișcarea lui (efectuează un lucru negativ). În consecință lucrul forței exterioare este neînsemnat, de aceea și este mică amplitudinea oscilațiilor statornice.

Dacă frecvența variației forței exterioare coincide cu frecvența proprie a oscilațiilor pendulului ($v = v_0$), atunci în procesul decurgerii oscilațiilor direcția forței exterioare coincide cu direcția mișcării pendulului, de aceea lucrul forței exterioare tot timpul este pozitiv. Energia sistemului

sub acțiunea turbulenței fluxurilor de aer. În timpul mișcării trenului frecvența izbirii roților de îmbinările șinelor uneori coincide cu frecvența oscilațiilor libere a vagonului pe resorturi, și atunci vagonul începe puternic să se legene și apare pericolul de accident.

Cum de evitat manifestările dăunătoare ale rezonanței? Analizând graficele din [fig. 21.2](#), se poate propune de-a mări forța de frecare, însă aceasta duce la consum nedorit de energie. De aceea cel mai des se aplică alte procedee — se schimbă frecvența proprie a oscilațiilor sistemului sau frecvența forței variabile exterioare. Astfel, pentru a soluționa problema descrisă cu avioanele, pur și simplu au făcut aripile lor mai grele: frecvența oscilațiilor proprii a aripilor s-a schimbat și a încetat să mai coincidă cu frecvența oscilațiilor forței exterioare. Pentru trenuri este calculată viteza nedorită a mișcării; se interzice a merge în pas de manevră pe pod; în procesul construirii clădirilor se ia în considerație frecvența oscilațiilor scoarței terestre în caz de cutremur de pământ ș. a. m. d.

? Dacă se duc căldările cu apă, atunci la o anumită viteză a mișcării apa începe să se reverse. Ce trebuie de făcut, pentru a înceta aceasta?

Fenomenul rezonanței poate fi și util. Astfel, datorită rezonanței este ușor de legănat scrânciobul sau de împins automobilul împotmolit. Rezonanța se aplică în lucrul mașinilor cu vibrație din industria minieră, se utilizează în acustică, medicină, pentru primirea și transmiterea radiosemnalelor etc. Studiind fizica nu o dată o să vă întâlniți cu aplicarea rezonanței.



Facem totalurile

- Fenomenul creșterii bruste a amplitudinii oscilațiilor forțate, atunci când frecvența forței exterioare, ce variază periodic, coincide cu frecvența proprie a oscilațiilor sistemului, se numește rezonanță.
- Graficul dependenței amplitudinii oscilațiilor forțate de frecvența variației forței exterioare este numit curbă de rezonanță. Cu cât este mai mare în sistem forța de frecare, cu atât este mai mic picul curbei de rezonanță, adică cu atât e mai slab pronunțată rezonanța.

Întrebări de control

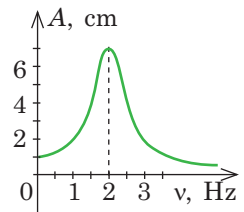


1. Dați definiția rezonanței. Dați exemple de manifestare a ei.
2. Ce este curba de rezonanță? Ce concluzii se pot face în urma analizei ei?
3. Cum de luptat cu manifestările nedorite ale rezonanței? Unde se aplică rezonanța?



Exercițiul nr. 21

1. Când pe lângă clădire trece transportul, geamurile uneori zângănesc. De ce?
2. Asupra pendulului elastic cu masa de 0,5 kg este aplicată o forță ce variază cu frecvența de 10 Hz. Va lua oare naștere rezonanța, dacă rigiditatea arcului este egală cu 200 N/m?
3. La ce viteză minimă a mișcării trenului va apare rezonanța, dacă lungimea șinei de cale ferată este egală cu 25 m, iar perioada oscilațiilor proprii ale vagonului — 1,25 s?
4. În [figură](#) este reprezentată curba de rezonanță a unui pendul elastic cu masa de 1 kg. Determinați rigiditatea resortului.
5. Într-un vagon de tren este suspendată o greutate mică de un fir cu lungimea de 40 cm. Care este viteza mișcării trenului în momentul, când greutatea se va legăna cel mai intens? Lungimea șinei de cale ferată este egală cu 25 m.



§ 22. UNDE MECANICE



Dacă, luând naștere într-un loc, oscilațiile se propagă în porțiunile limitrofe ale spațiului, atunci merge vorba despre *mișcarea ondulatorie* — *unde*. În urma șocurilor subterane se propagă undele seismice în scoarța terestră — apar cutremurile și tsunami; oscilațiile difuzorului provoacă apariția undelor sonore, și noi auzim sunetul; oscilațiile inimii sunt cauza oscilațiilor pereților arteriei (pulsul). Ne amintim de particularitățile mișcării ondulatorii.

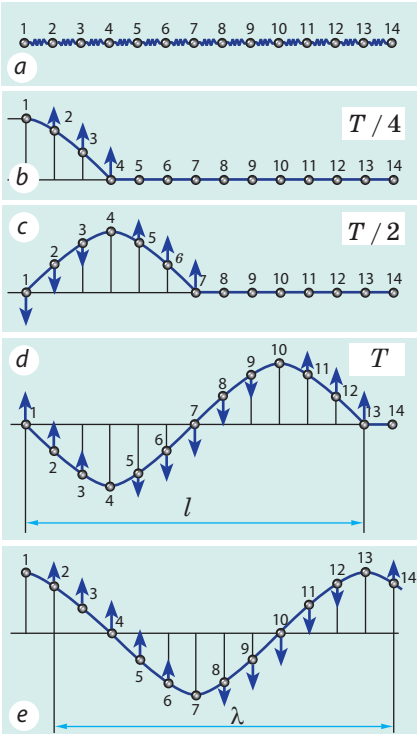


Fig. 22.1. Mecanismul propagării unde transversale. Săgețile albastre indică direcția și reflectă modulul vitezei de mișcare (cu cât este mai mare săgeata, cu atât e mai mare viteza de mișcare); λ — lungimea de undă

începe imediat, ci peste un anumit interval de timp.

Dacă îi comunicăm bilei 1 mișcare oscilatorie, atunci bila 2 tot va începe să oscileze, dar cu o oarecare întârziere; oscilațiile bilei 2 vor provoca oscilațiile bilei 3, mai departe a bilei 4 ș. a. m. d. (fig. 22.1, b–e). În cele din urmă toate bilele vor începe mișcarea și vor oscila cu tot aceeași frecvență, ca și bila 1, însă oscilațiile lor se vor deosebi cu faza.

1 Cum se propagă unda mecanică

Propagarea în spațiu a oscilațiilor substanței sau câmpului, se numește **undă**.

Conform naturii fizice sunt deosebite unde electromagnetice (de exemplu, radio-unde, lumina) și unde mecanice.

Unda mecanică — aceasta-i propagarea oscilațiilor într-un mediu elastic.

Mediul se numește *elastic*, dacă în timpul deformării lui apar forțe, care se opun ecetei deformații, — forțe elastice.

Dacă unui capăt al coardei de gimnastăcă de-i comunicat o mișcare oscilatorie, atunci la această mișcare treptat se vor alătura tot mai multe puncte îndepărtate ale coardei, — prin coardă va alerga o undă. Să cercetăm procesul de propagare a unei astfel de unde pe un model: reprezentăm coarda sub aspectul unui sistem de bile identice (bilele sunt modelele particulelor* coardei), unite cu resorturi imponderabile, care modelează interacțiunea elastică a particulelor (fig. 22.1, a).

Dacă abatem bila 1 de la poziția de echilibru, resortul se va întinde și asupra bilei 2 va începe să acționeze forța elastică; în consecință bila 2 tot va începe să se miște. Bila este inertă, de aceea mișcarea ei nu va

* Examinând undele mecanice, vom numi particule nu moleculele, atomii, ionii, ci mici fragmente (porțiuni) ale mediului.

În linii generale mecanismul propagării undei elastice este următorul. Corpul, care oscilează într-un mediu elastic, — *sursa unde* — deformează straturile mediului alăturate lui (în ritmul oscilațiilor sale le comprimă și întinde sau le împinge). *Forțele elastice*, ce apar în urma deformației, acționează asupra straturilor următoare ale mediului, impunându-le pe ele de asemenea să efectueze *oscilații forțate*. Treptat, unul după altul, toate straturile mediului se alătură la mișcarea ondulatorie — în mediu se propagă unda.

2 Proprietățile mișcării ondulatorii

1. *Undele se propagă în mediu cu viteză finită*: mișcarea oscilatorie de la un punct al mediului la altul se transmite nu momentan, ci cu o anumită întârziere.

2. *Sursă de unde mecanice întotdeauna este corpul, care oscilează*; deoarece oscilațiile particulelor mediului în timpul propagării unde sunt forțate, *atunci frecvența oscilațiilor fiecărei particule este egală cu frecvența oscilațiilor sursei de unde*.

3. *Undele mecanice nu se pot propaga în vid*.

4. *Mișcarea oscilatorie nu este însoțită de transferarea substanței* — particulele mediului numai oscilează lângă o oarecare poziție de echilibru.

5. Cu sosirea unde particulele mediului încep să se miște (obțin energie cinetică). Aceasta înseamnă, că în timpul propagării unde are loc transferarea energiei. ***Transferarea energiei fără transferul de substanță — cea mai importantă proprietate a oricărei unde***



Fig. 22.2. Pentru însărcinarea din § 22

❓ Amintiți-vă propagarea undelor pe suprafața mării (fig. 22.2). Se va mișca oare omul odată cu crestele undelor, de exemplu, spre mal? Dar cum se mișcă el? De ce?

3 Mărimile fizice, care caracterizează unda

Unda — aceasta-i propagarea oscilațiilor, de aceea mărimile fizice, care caracterizează oscilațiile (*frecvența ν , perioada T , amplitudinea A a oscilațiilor*), caracterizează și unda. Mai două caracteristici importante ale unde sunt *lungimea de undă λ și viteza de propagare a unde v* .

Viteza de propagare a unde se numește viteza depășirii punctelor cu aceeași fază a oscilațiilor (de exemplu, viteza deplasării crestei unde). Viteza de propagare a unde nu coincide cu viteza mișcării particulelor mediului: particulele oscilează lângă pozițiile de echilibru, dar unda se propagă într-o anumită direcție.

Să revenim la fig. 22.1. Fie că bila 1 a efectuat o oscilație, adică timpul mișcării ei este egal cu o perioadă ($t = T$). În acest timp unda s-a propagat până la bila 13. Nu e greu de observat, că în continuare bilele 1 și 13 vor oscila absolut la fel — simultan, în aceeași fază. Evident, că la fel vor oscila de asemenea bilele 2 și 14, 3 și 15 etc.

Lungimea de undă λ — aceasta-i distanța dintre cele mai apropiate două puncte, care oscilează simultan; distanța, la care se propagă unda în timpul, care este egal cu o perioadă T :

$$\lambda = vT$$

Unitatea de măsură a lungimii de undă în SI — **metrul**: $[\lambda] = 1 \text{ m (m)}$.

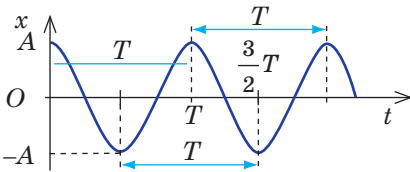
Ținând cont, că $T = 1/v$, vom obține formula relației reciproce dintre lungime, frecvență și viteza de propagare a undei — **formula undei**:

$$v = \lambda\nu$$

Atrageți atenția! Viteza de propagare a undei este determinată mai mult de proprietățile elastice ale mediului, în care se propagă unda, de aceea, *dacă unda trece dintr-un mediu în altul, viteza ei de propagare se schimbă, dar iată frecvența undei rămâne neschimbată*, deoarece se determină prin frecvența oscilațiilor sursei de undă. Deci, în conformitate cu formula undei în cazul trecerii undei dintr-un mediu în altul *lungimea de undă se schimbă*.

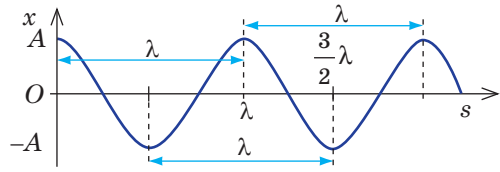
Unda este periodică în timp și în spațiu. Ce înseamnă aceasta?

Orice particulă a mediului, unde se propagă unda, efectuează oscilații periodice în timp: *peste un anumit interval de timp T oscilațiile particulei se repetă*.



Perioada T — caracteristica periodicității undei în timp.

Dacă se va fixa un anumit moment de timp, atunci *peste o distanță, care este egală cu lungimea de undă λ , forma undei se repetă*. Particulele, amplasate la distanța λ una de alta oscilează la fel (simultan).

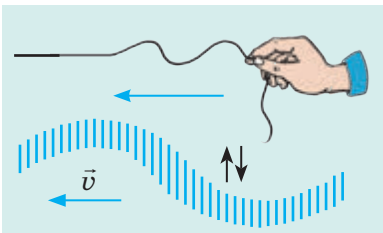


Lungimea de undă λ — caracteristica periodicității undei în spațiu.

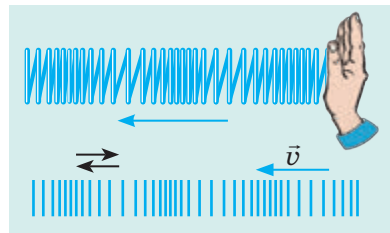
4 Ce feluri de unde mecanice există

Din cursul de fizică pentru clasa a 9-a voi știți, că după direcția de mișcare a particulelor mediului în raport cu direcția de propagare a undei se deosebesc *unde longitudinale și transversale*.

Unda transversală — unda, în care particulele mediului oscilează perpendicular pe direcția de propagare a unde



Unda longitudinală — unda, în care particulele mediului oscilează în lungul direcției de propagare a undei



În unda transversală are loc *deplasarea* pe rând a unor straturi ale mediului în raport cu altele. *Deformația de deplasare* provoacă apariția forțelor elastice numai în corpurile solide, de aceea *unde transversale se pot propaga numai în corpurile solide*.

În unda *longitudinală* are loc *comprimarea* sau *alungirea* mediului. Asemenea *deformații* provoacă apariția forțelor elastice în orice mediu, de aceea *unde longitudinale se pot propaga în toate mediile* (lichide, solide, gazoase).

Undele pe suprafața apei nu sunt nici longitudinale nici transversale. Acestea sunt unde de tip mixt. Particulele de apă se deplasează atât de-a lungul direcției de propagare a undei, cât și perpendicular pe ea. În caz general particulele se mișcă după elipse.



Undele, care se propagă prin odgon, coardă sau arc se pot propaga numai în două direcții — de-a lungul odgonului (coardei, arcului). Dar iată, dacă sursa de undă oscilează în interiorul mediului, unda se propagă în toate direcțiile și cuprinde din ce în ce mai multe puncte ale spațiului, care formează o anumită suprafață. Suprafața, la care au ajuns oscilațiile la momentul dat, se numește **front de undă**.

Toate particulele frontului de undă oscilează la fel (în aceeași fază). Suprafețele de aceeași fază se numesc **suprafețe de undă**. Deci, frontul de undă — aceasta-i suprafața limită de undă. După forma suprafeței de undă se deosebesc *unde sferice, cilindrice, plate*.

Unda sferică (fig. 22.3) apare, dacă sursa de undă este un punct material sau o sferă, ce pulsează. În acest caz energia, pe care au primit-o straturile alăturate ale mediului de la sursa de undă, se repartizează pe o suprafață tot mai mare, de aceea cu mărirea distanței de la sursă amplitudinea undei se micșorează. Același lucru se referă și la **unde cilindrice** (o astfel de undă este creată, de exemplu de o vergea, care pulsează).

Altă vorbă, când **unda etse plată** (fig. 22.4). unda plată poate fi obținută, dacă va oscila o placă perpendicular pe suprafața ei. În acest caz energia se va repartiza tot pe așa o suprafață, de aceea, dacă forțele de frecare în mediu sunt neglijabil de mici, amplitudinea undei va rămâne neschimbată.

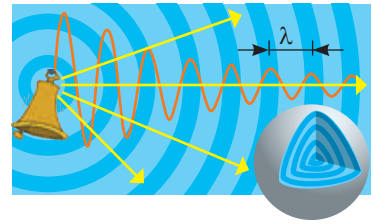


Fig. 22.3. Suprafețele de undă ale unei sferice; cu mărirea distanței de la sursă amplitudinea undei se micșorează

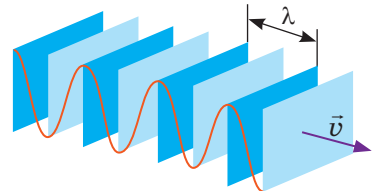


Fig. 22.4. Suprafețele de undă ale unei plate longitudinale. Cu culoare albastră sunt indicate regiunile unde comprimarea mediului este maximă, cu albastru deschis — minimă

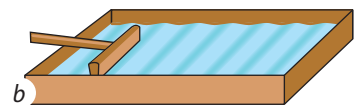


Fig. 22.5. Undele pe suprafața lichidului: unda circulară (a); unda plată (b)

? Cum se va schimba amplitudinea suprafeței de undă a lichidului (fig. 22.5) în cazul undei circulare? undei plate?

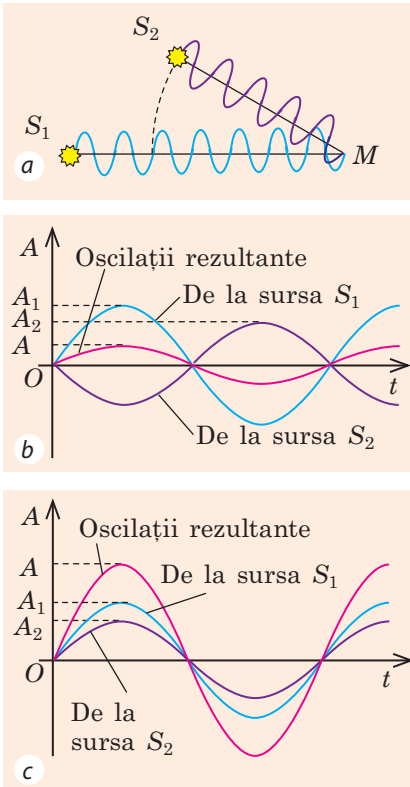


Fig. 22.6. Dacă undele au ajuns în punctul M în faze opuse, amplitudinea oscilațiilor rezultante se micșorează: $A = A_1 - A_2$ (b), dar dacă în aceeași fază, amplitudinea oscilațiilor rezultante se mărește: $A = A_1 + A_2$ (c)

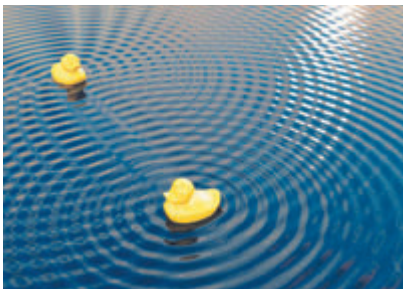


Fig. 22.7. Figura de interferență a două unde circulare de la surse punctiforme. Pe suprafața apei se pot vedea porțiuni, unde oscilații aproape că nu au loc

5 Interferența undelor

Pentru unde cu amplitudini nu prea mari este satisfăcut *principiul superpoziției*: dacă într-un anumit punct al spațiului ajung unde de la câteva surse, atunci aceste unde se suprapun una pe cealaltă. Ca urmare a unei astfel de suprapuneri în unele puncte ale spațiului tot timpul se poate observa amplificarea oscilațiilor, iar în altele — atenuarea. Să clarificăm, de ce și când are loc aceasta. Fie că într-un anumit punct M ajung două unde coerente — unde de la două surse S_1 și S_2 , ce oscilează *sincronic*, adică în aceeași fază și cu aceeași frecvență (fig. 22.6, a).

Dacă undele ajung în punctul M în faze opuse (în unul și același moment o undă «împinge» punctul M în sus, iar alta îl «împinge» în jos), atunci undele tot timpul se vor atenua una pe alta (fig. 22.6, b).

Dacă însă undele au ajuns în punctul M în aceeași fază, atunci în punctul M tot timpul se vor observa oscilații cu amplitudine mărită (fig. 22.6, c).

■ Fenomenul suprapunerii undelor, în urma căruia în anumite puncte ale spațiului se observă amplificarea sau atenuarea, stabile în timp, ale oscilațiilor rezultante, se numește **interferență**.

❓ Examinați fig. 22.7 și amintiți-vă, când ați observat ceva asemănător. Vom vedea oare noi figura de interferență, dacă rățuștele vor oscila cu frecvență diferită?

6 Difracția undelor

Corabia, ce plutește pe mare, formează pe suprafața apei o undă. Dacă în drumul său unda întâlnește o stâncă sau o trestie, care iese din apă, atunci în urma stâncii se formează o umbră (adică nemijlocit după stâncă unda nu va pătrunde), iar după trestie umbra nu se va face (unda pur și simplu o va înconjura).

■ Fenomenul ocolirii de către unde a obstacolelor, se numește **difracție** (de la latinescul *diffractus* — rupt) (fig. 22.8).

În exemplul dat difracția undelor are loc pe trestie, dar nu are loc pe stâncă. Însă aceasta nu întotdeauna e așa. Dacă stâncă e suficient de îndepărtată de mal, atunci la o anumită distanță de la stâncă umbra dispore — unda va ocoli și stâncă. Chestia constă în aceea, că difracția se observă în două cazuri: 1) când dimensiunile liniare ale obstacolelor, înspre care se propagă unda (sau dimensiunile orificiilor, prin care unda se propagă) sunt comparabile cu lungimea de undă; 2) când distanța de la obstacol până la locul de observare e cu mult mai mare decât dimensiunea obstacolului.

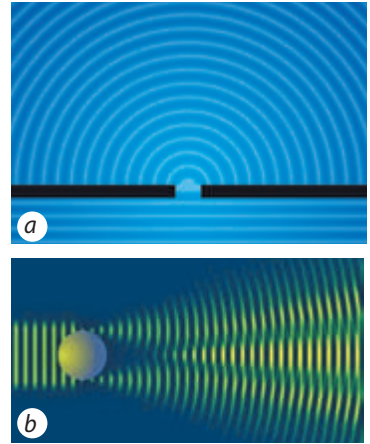


Fig. 22.8. Difracția undelor mecanice pe un orificiu (a); pe un obstacol (b)



Facem totalurile

- Propagarea în spațiu a oscilațiilor substanței sau câmpului, se numește undă. Undă mecanică se numește propagarea oscilațiilor într-un mediu elastic.
- Undele se propagă în spațiu nu instantaneu, ci cu o anumită viteză. În timpul propagării undei are loc transferarea energiei fără transferul de substanță.
- În anumite puncte ale spațiului în urma suprapunerii undelor una pe alta se poate observa amplificarea sau atenuarea oscilațiilor rezultante. Acest fenomen se numește interferență. Undele pot ocoli obstacole — acest fenomen se numește difracție.
- Unda, în care particulele mediului oscilează perpendicular pe direcția de propagare a undei se numește transversală. Unda, în care particulele mediului oscilează de-a lungul direcției de propagare a undei se numește longitudinală.
- Unda este periodică în timp și în spațiu. Periodicitatea undei în timp este caracterizată de perioada oscilațiilor fiecărui punct aparte al undei. Periodicitatea undei în spațiu este caracterizată de lungimea de undă. Lungimea de undă — aceasta-i distanța, la care se propagă unda în timpul, care este egal cu o perioadă de oscilații. Lungimea de undă λ și frecvența undei sunt legate prin formula undei $v = \lambda \nu$, unde v — viteza de propagare a undei.



Întrebări de control

1. Dați definiția undei mecanice, descrieți mecanismul creării ei.
2. Numiți principalele proprietăți ale mișcării oscilatorii.
3. Ce mărimi fizice caracterizează unda?
4. Ce este lungimea de undă? De ce depinde ea?
5. Cum sunt legate lungimea, frecvența și viteza de propagare a undei?
6. Ce înseamnă expresia «unda este periodică în timp și în spațiu»?
7. Care unde se numesc longitudinale? transversale? În ce medii ele se propagă?
8. Care unde se numesc sferice? plane? Cum cu îndepărtarea de la sursă se schimbă energia undei?
9. În ce constă fenomenul interferenței? În ce cazuri unele se amplifică una pe alta? se atenuază una pe alta?
10. Dați exemple de difracție a undelor mecanice.



Exercițiul nr. 22

1. Un corp pe suprafața apei efectuează 90 de oscilații în 36 s. De la corp cu viteza de 1,5 m/s se propagă o undă mecanică. Stabiliți corespondența dintre mărimea fizică și valoare ei numerică în unități ale SI.

- | | |
|--|-------|
| 1 Lungimea de undă | A 0,4 |
| 2 Frecvența oscilațiilor | B 0,6 |
| 3 Perioada oscilațiilor sursei de undă | C 2,4 |
| | D 2,5 |

2. În fig. 1 este reprezentată propagarea undei printr-un arc. Determinați lungimea de undă. Ce undă este aceasta — longitudinală sau transversală?

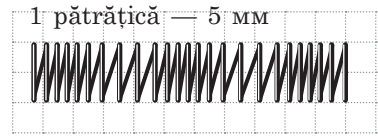


Fig. 1

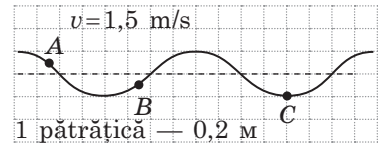


Fig. 2

3. Prin odgon se propagă o undă transversală. În momentul de timp reprezentat în fig. 2 punctul B se mișcă în sus. Determinați: 1) amplitudinea, lungimea, frecvența undei; 2) direcția de propagare a undei; 3) direcția, în care în momentul de timp dat se mișcă punctele A și C ale undei; 4) direcția accelerației mișcării punctelor A și C.

4. Folosind surse suplimentare de informații, aflați cum se formează și cum se propagă undele seismice în timpul cutremurului. Care pot fi frecvența, lungimea, viteza de propagare a unor astfel de unde? Cum de prezis cutremurul? Compuneți o problemă după datele obținute.

5. Undele sonore — unde mecanice. amintiți-vă cursul de fizică din clasa a 9-a și dați câteva exemple de surse de unde sonore.



Problemă experimentală

Confecționați dispozitivele (vezi fig. 22.5, b), cu ajutorul cărora se pot crea unde circulare și plane pe suprafața apei în vană. Faceți înregistrarea video a unor astfel de unde și determinați caracteristicile lor. Urmăriți interferența undelor de la două surse (chibzuiți, cum ele trebuie de le oscilat), difracția undelor în orificiu, în obstacol.



Fizica și tehnica în Ucraina



Institutul problemelor de robustețe G.S. Pâsarenco al ANȘ a Ucrainei (Kiev) creat în anul 1966; fondatorul și primul director al lui a fost academicianul *Gheorghii Stepanovici Pâsarenco*.

Principalele direcții de activitate de știință ale institutului — mecanica ruinării și supraviețuirii construcțiilor, oscilațiile sistemelor mecanice neconservative — i-au adus instituției recunoștința mondială (amintim una dintre problemele mecanicii de construcție: de ce grosime trebuie să fie pereții clădirilor, pentru

a rezista suprasarcina nu numai în condiții normale dar și în cazul cutremurilor). Savanții institutului au realizat o contribuție enormă în dezvoltarea cercetărilor teoretice și experimentale de stabilire a criteriilor de rezistență și a metodelor de ridicare a capacității de durabilitate a materialelor și elementelor construcțiilor tehnice.

§ 23. UNDE SONORE



Sunetul flautului, zgomotul megapolisului, foșnetul ierbii, sunetul cascadei, vorbirea oamenilor, sunetul muzical, zgomotul, rezonanța acustică... Toate acestea sunt legate cu propagarea în spațiu a undelor mecanice, care se numesc unde sonore. Ele sunt studiate de **acustică** — știința despre sunet. Cu elemente de acustică voi ați început să faceți cunoștință în cursul de fizică pentru clasa a 9-a. Așadar, ne amintim și aflăm ceva nou.



1 Ne amintim undele sonore

Undele sonore (acustice) — aceasta-s undele mecanice cu frecvențele de la 20 Hz până la 20 kHz.

Undele sonore de obicei ajung la ureche prin aer — în formă de comprimări și rarefierii alternante (adică în aer undele sonore sunt longitudinale). În zonele comprimărilor (rarefierilor) presiunea aerului este puțin mai mare (mai mică) decât cea atmosferică. (fig. 23.1).

Deoarece sunetul este o undă sonoră, toate proprietățile mișcării ondulatorii se referă și la sunet.

- *Sunetul se propagă în mediu cu viteză finită, care depinde de temperatura, densitatea, compoziția și alte caracteristici ale mediului.* Astfel, în lichide sunetul se propagă mai repede decât în gaze, și mai încet decât în corpurile solide. Viteza de propagare a sunetului de obicei crește cu mărirea temperaturii mediului (așa, în aer la temperatura de 0 °C viteza de propagare a sunetului este egală aproximativ cu 330 m/s, iar la temperatura de 20 °C — cu 340 m/s). Pe lângă acestea cu cât este mai mică masa moleculelor mediului, cu atât mai repede se propagă sunetul.

- *Sursă de sunete este corpul, care oscilează* (fig. 23.2). Asemenea oscilații pot fi forțate (difuzorul), libere (struna chitarei), *autooscilații* (strunele instrumentelor cu corzi).

- *Undele sonore nu se propagă în vid.*

- *În timpul propagării sunetului nu are loc transferul de substanță, dar are loc transferul de energie.*

- *Undele sonore se pot suprapune una pe alta (fenomenul interferenței); pot ocoli obstacolele (fenomenul difracției).*

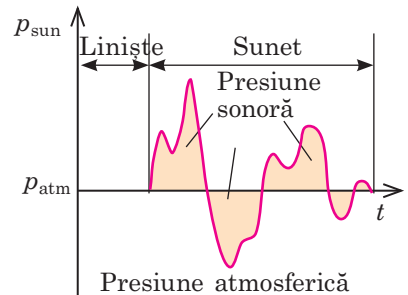


Fig. 23.1. Urechea omului percepe undele sonore cu un surplus de presiune aproximativ de la 20 μPa (0 decibeli — pragul auzului) până la 20 Pa (120 decibeli — pragul de durere). Pentru comparație $p_{\text{atm}} = 100\,000\text{ Pa}$

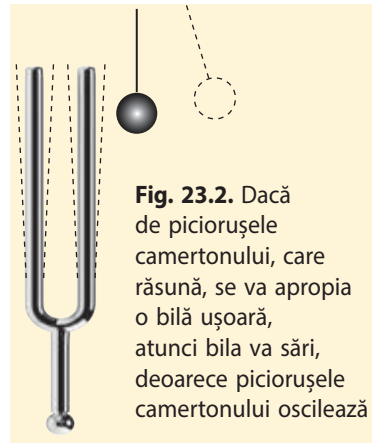


Fig. 23.2. Dacă de piciorușele camertonului, care răsună, se va apropia o bilă ușoară, atunci bila va sări, deoarece piciorușele camertonului oscilează

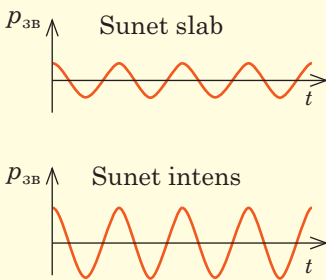
? Care experiențe și observări pot confirma proprietățile menționate ale sunetului?

2 Cum sunt legate caracteristicile subiective și obiective ale sunetului

Toate mărimile fizice, care caracterizează undele mecanice (*amplitudinea, frecvența, lungimea, energia*), de asemenea sunt și caracteristici ale sunetului. Aceste mărimi nu depind de particularitățile percepției sunetului de către om, de aceea ele sunt numite caracteristici *obiective, sau fizice ale sunetului*. Caracteristicile subiective ale sunetului (*intensitatea, înălțimea, timbrul sunetului*) se bazează pe particularitățile auzului omului, de aceea ele se numesc *fiziologice*. Bineînțeles, că caracteristicile fizice și fiziologice ale sunetului sunt legate (vezi tabelul).

Caracteristicile subiective (fiziologice) ale sunetului

Intensitatea sunetului

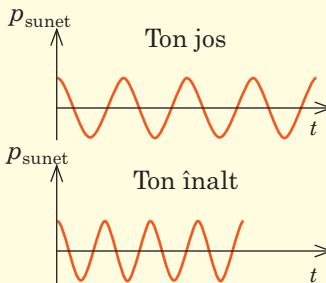


Intensitatea sunetului este determinată în primul rând de *amplitudinea undei sonore* (și deci de presiunea sonoră), însă depinde și de frecvența undei sonore. Urechea omului percepe rău sunetele de frecvențe joase (în jur de 20 Hz) și înalte (în jur de 20 kHz), cel mai bine — de frecvențe medii (1–3 kHz).

Intensitatea sunetului se măsoară în *decibeli* (dB). De exemplu, pentru o frecvență a sunetului de 1 kHz și presiune sonoră de 20 Pa intensitatea sunetului constituie 120 dB — acesta este *pragul de durere* — cel mai intens sunet, pe care-l poate percepe omul, fără a simți durere (sunet de așa o intensitate îl emite motorul avionului reactiv).

Atrageți atenția! Sunetul intens poate duce la înrăutățirea auzului și chiar la surditate, mai ales aceasta se referă la ascultarea muzicii intense în căști. *Trebuie de ascultat muzica în căști la intensitate minimă!*

Înălțimea sunetului

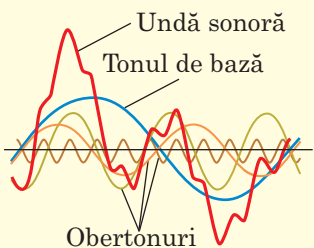


Înălțimea sunetului este determinată în principal de *frecvența undei sonore*: cu cât este mai mare frecvența ei, cu atât mai înalt este tonul sunetului.

De exemplu, notei «la» din octava întâi îi corespunde frecvența de 440 Hz; notei «la» din octava a doua — frecvența de 880 Hz.

Capacitatea urechii omului de a deosebi sunetele după frecvența lor la fel depinde de intensitatea sunetelor. În cazul măririi intensității sunetului înălțimea lui pare a fi mai joasă.

Timbrul sunetului

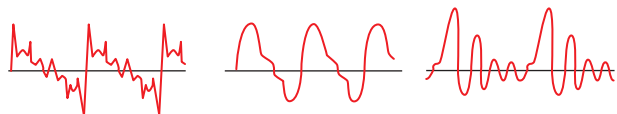


Timbrul sunetului este determinat de *compoziția undei sonore*: în afară de frecvența principală (după care noi și apreciem înălțimea sunetului) orice sunet conține câteva frecvențe suplimentare mai slabe și mai înalte — *obertonuri*. Anume datorită timbrului noi recunoaștem oameni după voce, deosebim sunetele fortepianului de sunetele flautului etc. Fiecare instrument muzical, fiecare om sau animal are timbrul lui.

Fortepianul

Flautul

Glasul omului



3 Ce este rezonanța acustică

Asupra oricărui corp amplasat în limitele propagării undei sonore acționează o anumită forță periodică, frecvența căreia este egală cu frecvența undei. Sub acțiunea acestei forțe corpul începe să efectueze oscilații forțate. Dacă frecvența oscilațiilor proprii ale corpului coincide cu frecvența undei sonore, atunci amplitudinea oscilațiilor corpului se mărește și el începe să emită sunet — se observă *rezonanța acustică*..

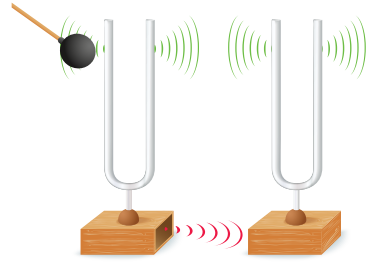


Fig. 23.3. Dacă se va face să sune unul dintre camertoane, din cauza rezonanței va începe să sune și cel de-al doilea

Rezonanța acustică — aceasta-i fenomenul creșterii bruste a amplitudinii semnalului sonor în cazul apropierii frecvenței semnalului-excitantor de frecvența oscilațiilor proprii ale sistemului.

Rezonanța acustică poate fi observată cu ajutorul experienței cu două camertoane, ce au aceeași frecvență (fig. 23.3).

Rezonanța acustică se aplică pentru mărirea intensității sunetului, creat de o anumită sursă (strună, piciorușele camertonului, coardele vocale etc.). De exemplu, pentru mărirea intensității camertonului el se leagă de o cutie de lemn (rezonator), frecvența proprie a oscilațiilor aerului în care este egală cu frecvența oscilațiilor camertonului. Camertonul, legat de rezonator sună cu mult mai tare, decât cel, care este ținut în mână.

? Dar în ce caz camertonul va suna mai mult timp — cu rezonator sau fără?

Rezonanța acustică se aplică în multe instrumente muzicale. Aerul în tuburile organului, corpul harpelor, bandurelor, chitarelor etc. rezonază cu tonurile și obertoanele sunetelor, create de corpurile oscilatorii, și le amplifică. Cavitatea bucală este un rezonator pentru undele sonore, care sunt create datorită oscilațiilor coardelor vocale.

Cum noi auzim

Unda sonoră, atingând urechea, suferă un șir de transformări. Mai întâi ea acționează asupra *timpanului*, impunându-l să oscileze. Cu cât este mai intens sunetul, cu atât mai tare vibrează timpanul, transmițând oscilațiile sonore la *urechea medie*, unde ele se amplifică.

Sunetul amplificat nimerește în urechea internă și melcul umplut cu lichid. Suprafața melcului este acoperită cu celule ciliate, cantitatea cărora atinge 15 mii. Fiecare celulă rezonază cu un anumit diapazon de frecvențe. Descoperind frecvența «proprie», celula începe să oscileze, excitând capetele nervilor și în creier merge un impuls nervos — omul aude sunetul.

Cu vârsta cantitatea celulelor ciliate scade (de la 15 mii la copil până la 4 mii la un om în vârstă). Primele mor celulele care «răspund» de frecvența înaltă, de aceea omul matur nu aude sunetele înalte (minorul aude sunetele de până la 22 kHz, iar omul în vârstă — până la 12 kHz).



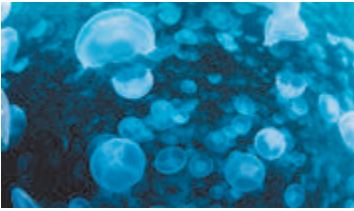


Fig. 23.4. Meduzele percep infrasunetul de la furtuna, ce se apropie cu 15 ore până la începutul ei, de aceea din timp plutesc dinspre mal

4

Ne amintim Infra- și ultrasunetul

Infrasunetul (de la cuv. latin *infra* — mai jos, sub) — unde mecanice, frecvența cărora este mai mică decât 20 Hz.

Undele infrasonore apar în timpul furtunelor, cutremurilor de pământ, ținami, erupțiilor vulcanelor, în urma bățăilor de mal a valurilor mării. Unele ființe sunt capabile să perceapă undele infrasonore (fig. 23.4). Sursă de infrasunet pot fi și obiectele, create de om: turbinele, motoarele cu ardere internă etc. În orașe cel mai înalt nivel de infrasunet este lângă automagistrale.

Infrasunetul este foarte periculos pentru animale și oameni: el poate provoca simptomele bolii maritime, amețeli de cap, orbire, să provoace agresivitate sporită. În cazul acțiunii îndelungate radiația infrasonoră intensă poate duce la oprirea inimii. În acest timp omul nici nu-și dă seama, ce se întâmplă, doar el nu aude infrasunetul.

Undele mecanice, frecvența cărora depășește 20 kHz, se numesc **unde ultrasonore** (de la cuv. latin *ultra* — peste, după limite).

Ultrasunetul este prezent în zgomotul vântului și cascadei, în sunetele, pe care le emit unele ființe. S-a stabilit, că ultrasunetul de 100 kHz este perceput de multe insecte și rozătoare; îl prind pe el și câinii. Ultrasunetul este aplicat în tehnică, medicină.

Ultrasunetul slab de obicei se aplică pentru **locația ultrasonoră** — *determinarea amplasării și caracterului mișcării obiectului cu ajutorul ultrasunetului*. Astfel, lilieci și rechini, emițând ultrasunet și captând ecoul lui, pot chiar în întuneric să găsească drumul sau să prindă prada. Cercetarea ultrasonoră permite «de a vedea» copilul încă nenăscut, de a cerceta starea organelor interne, de a depista corpurile străine în țesuturi. Locația ultrasonoră se aplică de asemenea pe navele maritime — pentru depistarea obiectelor în apă (*sonarele*) și cercetarea reliefului fundului mărilor (*ecoloturile*); în metalurgie — pentru depistarea și stabilirea dimensiunilor defectelor în produse (*defectoscoapele*).

Ultrasunetul puternic se aplică în *tehnică* (prelucrarea materialelor dure, sudarea, purificarea suprafețelor de murdării); în *medicină* (mărunțirea pietrelor în organism, ceea ce permite evitarea operațiilor chirurgicale); în *industria alimentară* (confecționarea brânzeturilor, sosurilor); în *cosmetologie* (confecționarea cremelor, pastei de dinți).



Facem totalurile

- Undele mecanice cu frecvențele de 20 Hz — 20 kHz se numesc unde sonore (sunet). Caracteristicile subiective ale sunetului: înălțimea sunetului (se determină prin frecvența undei sonore); intensitatea sunetului (se determină prin amplitudinea și frecvența undei sonore); timbrul sunetului (se determină prin spectrul undei sonore).

- Fenomenul creșterii bruște a amplitudinii semnalului sonor în cazul apropierii frecvenței semnalului-excitator de frecvența oscilațiilor proprii ale sistemului se numește rezonanță acustică. Rezonatoare acustice au aproape toate instrumentele muzicale.
- Undele mecanice, frecvența cărora este mai mică decât 20 Hz se numesc unde infrasonore (infrasonet). Undele mecanice, frecvența cărora este mai mare decât 20 kHz se numesc unde ultrasonore (ultrasonet).



Întrebări de control

1. Ce este sunetul? 2. Dați exemple de surse și receptori de sunete. 3. De ce depinde viteza de propagare a sunetului? 4. Prin ce mărime fizică se determină înălțimea sunetului? intensitatea sunetului? 5. Unde se aplică rezonanța acustică? 6. Ce este infrasonetul? Cum el influențează asupra omului? 7. Ce este ultrasonetul? Dați exemple de aplicare a ultrasonetului în natură, medicină, tehnică.



Exercițiul nr. 23

Considerați, că viteza de propagare a sunetului în aer — 340 m/s, în apă — 1500 m/s, în fontă — 5000 m/s.

1. Frecvența tonului muzical principal «la» este de 440 Hz. Determinați lungimea de undă a acestui ton în aer; apă; fontă.
2. Care este adâncimea mării, dacă semnalul ultrasonor, reflectându-se de la fundul mării s-a întors peste 0,8 s după emiteră?
3. De câte ori și cum se va schimba lungimea unei sonore în timpul trecerii ei din apă în aer?
4. De ce în pădure noi ne auzim unul pe altul, doar în «calea» unei sonore sunt copaci, dar copacii absorb bine sunetul?
5. De ce rezonatorul camertonului reprezintă în sine o cutie obișnuită, iar corpul violancelului, scripcii, pianului au o formă complicată? Verificați răsunsul vostru, folosindu-vă de surse suplimentare de informații.
6. După cum se știe, noaptea sunetul de-a lungul suprafeței pământului se paopagă la distanțe mai mari, decât ziua. Folosiți-vă de surse suplimentare de infomații și aflați, cum se poate explica acest lucru.



Problemă experimentală

«Proiector de lumini acasă». Pentru efectuarea experimentului aveți nevoie: un pahar tare de plastic sau hârtie, peliculă alimentară, bandă de izolat sau scotch, o suprafață oglizită mică (o bucată de oglindă sau SD-disc cu dimensiunile aproximativ de 1×1 cm, lac, arătător laser, foarfece.

Pregătirea pentru experiment. Tăiați fundul paharului, acoperiți partea lată a conului obținut cu peliculă alimentară și fixați pelicula cu banda de izolat. La mijlocul peliculei fixați cu lac «oglinzita».

Experimentul. Puneți paharul cu partea deschisă lipit de dufuzorul magnetofonului, calculatorului etc. Conectați muzica și orientați fasciculul de la arătătorul laser spre oglindă. «Iepurașul de soare» de la fasciculul laserului «va juca» în tactul muzicii.

Explicați fenomenul observat.

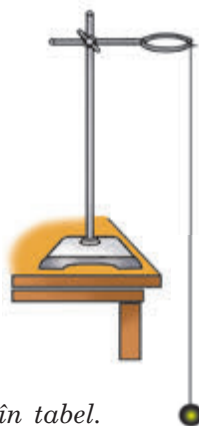


LUCRARE DE LABORATOR NR. 5

Tema. Studiarea oscilațiilor pendulului cu fir, măsurarea accelerației căderii libere.

Scopul: de a confecționa un pendul cu fir, de a determina cu ajutorul lui accelerația căderii libere; de a se convinge în veridicitatea formulei lui Huygens

Utilajul: un stativ cu mufă și clește, o bilă de metal (sau o greutate) cu buclă, ață cu lungimea de 1,5–2 m, bandă de măsurat, cronometru.



INDICAȚII LA LUCRARE

II Pregătirea pentru experiment

Confecționați pendulul (vezi des.). firul pendulului trebuie să fie destul de lung — bila trebuie aproape că să se atingă de podea.

▶ Experimentul

Rezultatele măsurătorilor și calculelor introduceți-le imediat în tabel.

1. Măsurați lungimea pendulului (distanța de la punctul de suspensie până la centrul bilei).
2. Abateți pendulul de la poziția de echilibru cu 5–8 cm și eliberați-o.
3. Măsurați intervalul de timp, în care pendulul efectuează 20 de oscilații.
4. Repetați experiența încă de trei ori, micșorând ultima dată (experimentul 4) lungimea pendulului de două ori.

Numărul experienței	Lungimea pendulului l , m	Numărul de oscilații N	Timpul oscilațiilor		Perioada oscilațiilor T , s
			t , s	t_{med} , s	

▶▶ Prelucrarea datelor experimentului

Partea 1. Măsurarea accelerației căderii libere

1. După datele experiențelor 1-3 determinați: 1) timpul mediu a 20 de oscilații: $t_{\text{med}} = (t_1 + t_2 + t_3) / 3$; 2) perioada oscilațiilor pendulului: $T = t_{\text{med}} / N$; 3) accelerația căderii libere: $g_{\text{măs}} = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$.
2. Apreciați eroarea relativă a experimentului, comparând valoarea accelerației căderii libere, obținută în timpul experimentului ($g_{\text{măs}}$), cu cea tabelară (g_{tab}): $\varepsilon_g = \left| 1 - \frac{g_{\text{măs}}}{g_{\text{tab}}} \right| \cdot 100\%$.

Partea 2. Verificarea formulei lui Huygens

1. Pentru experimentul 4 calculați perioada oscilațiilor pendulului prin două metode: 1) folosind definiția perioadei: $T = \frac{t}{N}$; 2) folosind formula lui Huygens: $T' = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$; considerați, că $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.
2. Apreciați eroarea relativă a experimentului: $\varepsilon_T = \left| 1 - \frac{T}{T'} \right| \cdot 100\%$.

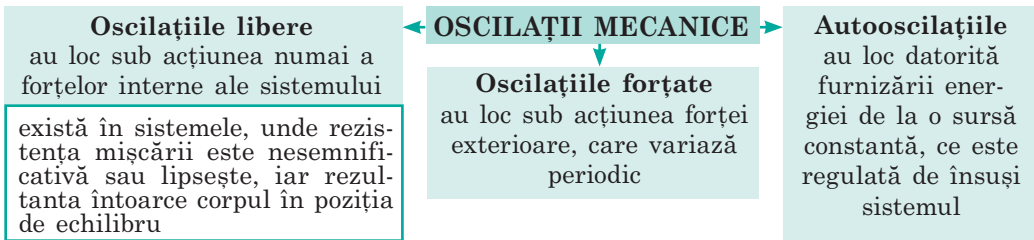
□ Analiza experimentului și a rezultatelor lui

Analizați experimentul și rezultatele lui. În concluzie menționați: 1) măsurile, pe care le-ați măsurat; 2) depind oare valorile acestor mărimi de lungimea firului (dacă depind, atunci cum); 3) cauza erorii.

FACEM TOTALURILE CAPITOLULUI I «MECANICA».

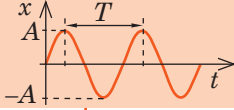
Partea 3. Oscilații mecanice și unde

1. Voi ați aprofundat cunoștințele voastre despre *oscilațiile mecanice*.



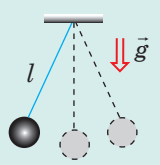

2. Voi ați aflat despre mișcarea oscilatorie ideală — *oscilațiile armonice*.

Oscilațiile armonice — oscilațiile, în timpul cărora coordonata punctului material variază după legea sinusului sau cosinusului: $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$ sau $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$



Amplitudinea A, m $A = x_{\max}$ deplasarea maximă	Perioada T, s $T = \frac{t}{N}$ — timpul unei oscilații	Frecvența ν, Hz $\nu = \frac{N}{t}$ — numărul de oscilații în 1 s	Frecvența ciclică ω, s⁻¹ $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ — numărul de oscilații în 2π s
--	---	---	--


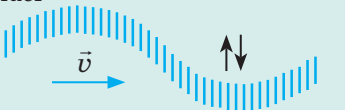
3. Voi ați făcut cunoștință cu *oscilațiile libere ale pendulelor matematic și elastic*.

<p>Pendulul matematic</p> $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ $E = E_c + E_p = \frac{mv^2}{2} + mgh$ 	<p>Pendulul elastic</p> $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ $E = E_c + E_p = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2}$ 
---	--

4. Voi ați aflat despre *fenomenul rezonanței*, care apare în sistemele oscilante.

Rezonanța — fenomenul creșterii bruste a amplitudinii oscilațiilor forțate, dacă frecvența forței periodice exterioare coincide cu frecvența proprie a oscilațiilor sistemului.

5. V-ați amintit **unde mecanice** (procesul de propagare a oscilațiilor mecanice într-un mediu elastic), felurile de unde mecanice, formula undei.

<p>Unde longitudinale: particulele mediului oscilează de-a lungul direcției de propagare a undei</p> 	<p>Formula undei</p> $v = \lambda\nu$	<p>Unde transversale: particulele mediului oscilează perpendicular pe direcția de propagare a undei</p> 
---	--	---

6. V-ați amintit *unde sonore* și caracteristicile lor obiective și subiective.

Infrasunetul (1 mHz — 20 Hz)	UNDELE SONORE	Ultrasunetul (peste 20 kHz)
<p>Sunetul auzibil (20 Hz — 20 kHz). Înălțimea (tonul) <i>sunetului</i> se determină prin frecvența undei sonore; <i>intensitatea sunetului</i> — prin amplitudinea oscilațiilor (valoarea presiunii sunetului); <i>timbrul sunetului</i> — prin spectrul undei sonore (cantitatea și frecvența obertonurilor).</p>		

PROBLEME PENTRU AUTOVERIFICARE LA CAPITOLUL I «MECANICA». Partea 3. Oscilații mecanice și unde

Problemele 1, 2, 5 conțin numai un răspuns corect.

- (1 bal) Care ființe pot percepe infrasunetul?
a) rechinul; b) liliecii; c) meduzele; d)pinguinii.
- (1 bal) Fenomenul oculirii obstacolelor de către undă se numește:
a) interferență; b) difracție; c) rezonanță; d)ecolocație.
- (2 baluri) Stabiliți corespondența dintre definițiile și denumirile mărimilor fizice, ce caracterizează unda.

1 Abaterea maximă de la poziția de echilibru	A Lungimea de undă
2 Numărul de oscilații într-o unitate de timp	B Frecvența oscilațiilor
3 Distanța dintre două puncte cele mai apropiate, ce oscilează la fel	C Perioada oscilațiilor
4 Timpul unei oscilații	D Energia oscilațiilor
	E Amplitudinea oscilațiilor
- (2 baluri) Stabiliți corespondența dintre tipul oscilațiilor și corpul, care efectuează astfel de oscilații.

1 Oscilații libere	A Bătăile inimii
2 Oscilații forțate	B Oscilațiile plutei pe suprafața apei
3 Autooscilații	C Schimbarea periodică a zilei cu noaptea
	D Oscilațiile strunei chitarei
- (2 baluri) Piciorușul camertonului emite nota «la» din prima octavă. Determinați lungimea undei sonore, dacă viteza de propagare a sunetului este egală cu 330 m/s.
a) 75 cm, b) 37,5 cm; c) 29 cm; d) 14,5 cm
- (3 baluri) În fig. 1 este reprezentată o undă transversală, ce aleargă pe o sfoară elastică. Cum sunt orientate la momentul dat de timp viteza și accelerația mișcării punctelor A și B ale sforii?
- (3 baluri) Din graficul oscilațiilor corpului (fig. 2) scrieți ecuația oscilațiilor.
- (3 baluri) Corpul, suspendat de resort, a fost abătut cu 5 cm în jos de la poziția de echilibru și s-a slobozit. Ce drum va parcurge corpul în 10 s și care va fi deplasarea lui în acest timp, dacă frecvența oscilațiilor — 0,625 Hz?
- (3 baluri) Determinați perioada oscilațiilor pendulului (fig. 3), dacă lungimea firului $l=1,6$ m.



Fig. 1

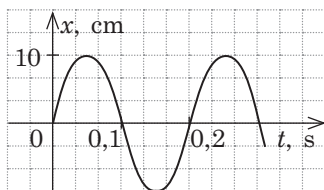


Fig. 2

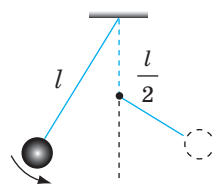


Fig. 3

- (4 baluri) Ecuația oscilațiilor greutății pe arc are forma: $x=0,05 \cos 2\pi t$ (m). Determinați rigiditatea arcului, viteza maximă a oscilațiilor greutății și energia potențială a arcului în faza $\pi/4$, dacă masa greutății — 200 g.

Confrunțați răspunsurile voastre cu cele indicate la sfârșitul manualului. Notați însărcinările, pe care le-ați efectuat corect, calculați suma balurilor și împărțiți-o la doi. Rezultatul obținut va corespunde nivelului vostru de reușită la învățatură.



Însărcinările de antrenare cu verificare computațională le veți găsi pe resursul electronic de învățământ «Învățământul interactiv».

Visurile fantaștilor devin realitate

La mijlocul anului 2017 întreaga lume discuta videoclipul, în care robotul pentru prima dată în istorie a făcut un salt. Dar cum această spectaculoasă reprezentare este legată de noțiunea de mecanică?

În primul rând, aceasta este frumos! Aceasta este o hotărâre tehnică și estetică frumoasă. De milioane de ani natura a întruchipat în organismele vii o mulțime de «hotărâri tehnice» impresionante, pe care astăzi le reproduc inginerii. Așa, principiul de lucru al escavatorului amintește mișcarea mâinii omului, planorii zboară pe cer asemănător cu păsările. A apărut chiar și un capitol nou în tehnică — *bionica*, care utilizează ideile naturii pentru crearea noilor hotărâri tehnice. Bineînțeles, că roboții asemănători cu oamenii — aceasta, probabil, este cel mai «avansat» exemplu.

Dar iată în al doilea rând, se referă nemijlocit la mecanică. Omul — o ființă destul de slabă. Chiar și oamenii antrenați de obicei nu pot alerga peste 40 km/oră și ridica mai mult de 250 kg. Din timpuri străvechi pentru mărirea posibilităților sale omul a utilizat animalele (caii, elefanții, bivolii etc), sau mecanismele simple (pârghia, roata ș. a.), totodată mii de ani a predominat anume utilizarea animalelor. Oamenii au călătorit pe jos, dar pentru a accelera procesul — se așezau pe cal sau în caretă. Arau de asemenea cu ajutorul animalelor.

Situația a început să se schimbe în jur de 150 de ani în urmă. Dezvoltarea mecanicii a permis ca caii să fie înlocuiți cu trenuri și automobile. Atrageți atenția la date: automobilul pentru prima dată a început să se miște mai repede decât ghepardul (cel mai rapid animal de pe pământ, dezvoltă o viteză

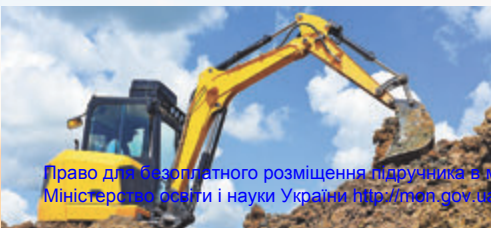


de 110–115 km/oră) abia la limita sec XIX și XX — puțin mai mult de 100 de ani în urmă! Aproximativ în același timp (decembrie anul 1903) asemănător păsărilor în cer s-a înălțat avionul — aparat mecanic, mai greu decât aerul. Iar pe cea mai rapidă pasăre (șoimul este capabil să dezvolte o viteză de 322 km/oră) avionul «a întrecut-o» atingând viteza de 350–400 km/oră, abia la mijlocul anilor 1920 (dar aceasta e cu totul nu demut — atunci, s-ar putea, străbunicile și străbunii voștri mergeau la școală!). E clar, că astăzi situația s-a schimbat cardinal: pe nimeni nu-i uimește călătoria cu avionul de pasageri cu viteza de peste 800 km/oră, dar pentru automobile din motive de securitate chiar sunt introduse limitări pentru viteză.

Necătând la progresul indiscutabil al dispozitivelor mecanice, ele de cele mai multe ori nu pot funcționa fără om. Așadar în realitate în mecanismele contemporane funcționează două componente ale mecanicii: însuși dispozitivul creat de către ingineri și experiența omului, care conduce acest dispozitiv și capacitățile cărui la fel se bazează pe legile mecanicii.

Să revenim la săritura prin salt a robotului. Acesta este unul dintre primele exemple de îmbinare a unei hotărâri tehnice într-adevăr frumoase (pe imagini robotul se aseamănă foarte mult cu un om în scafandru) și a «creierului» creativ: pe baza ecuațiilor mecanicii inginerii «au învățat» mecanismul să facă mișcări corecte.

Așteptăm realizările viitoare...



CAPITOLUL II. ELEMENTELE TEORIEI RELATIVITĂȚII RESTRÂNSE

§ 24. POSTULATELE TEORIEI RELATIVITĂȚII RESTRÂNSE. LEGEA RELATIVISTĂ DE COMPUNERE A VITEZELOR



«De când s-au luat matematicienii de teoria relativității, — a recunoscut *A. Einstein*, — nici eu însumi nu o mai înțeleg». Și nu este de mirare că în jurul teoriei relativității iată deja 100 de ani nu încetează discuțiile înverșunate ale celor, care nu o «înțeleg». Dar ce a servit drept pricină de a crea acest, la prima vedere, capitol pur teoretic al fizicii? Lese la iveală, că la început, aproape ca întotdeauna, în fizică a fost experiența.

1 Principiul relativității Galilei — Newton

Mecanica — știința despre natură. În mecanica lui I. Newton orice mișcare se cercetează în raport cu un sistem de referință (SR) inerțial. Rezolvând problema, se alege un anumit sistem de referință SR, considerându-l convențional imobil. Însă aceasta nu înseamnă, că SR ales — unicul sistem corect ales. Se poate alege orice SR inerțial — rezultatul va fi același.

Pentru SR inerțiale este adevărat **principiul mecanic al relativității (principiul relativității Galilei Newton)**:

Orice procese mecanice în toate SR inerțiale au loc la fel, adică cu nici un fel de experiențe mecanice, efectuate în interiorul sistemului, nu se poate stabili, dacă se mișcă acest sistem rectiliniu uniform sau se află în stare de repaus.

În SR inerțiale se confirmă **legea clasică de compunere a vitezelor**: viteza \vec{v} a mișcării corpului în raport cu SR imobil este egală cu suma vitezei \vec{v}_1 a mișcării corpului în raport cu SR mobil și viteza \vec{v}_2 a mișcării SR mobil în raport cu cel imobil: $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$.

2 Care au fost premisele creării teoriei relativității restrânse

După ce la mijlocul secolului al XIX-lea fizicianul englez James Maxwell (1831–1879) a formulat principalele legi ale electrodinamicii a apărut întrebarea: oare se extinde principiul relativității Galilei — Newton și asupra fenomenelor electromagnetice? Cu alte cuvinte: oare au loc procesele electromagnetice (interacțiunea sarcinilor electrice, fenomenul inducției electromagnetice, propagarea undelor electromagnetice ș. a.) la fel în toate SR inerțiale? Deja primele raționamente asupra acestei întrebări au adus, s-ar părea, la un răspuns contradictoriu.

De exemplu, în conformitate cu legile electrodinamicii viteza propagării undelor electromagnetice în vid, inclusiv viteza propagării luminii, este aceeași în toate direcțiile și este egală cu 299 792 456 m/s (pentru calcule de obicei se ia valoarea rotunjită: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s). Însă în conformitate cu legea clasică de compunere a vitezelor viteza de propagare a luminii trebuie să fie diferită în diferite SR.

Oare așa este, oare depinde viteza de propagare a luminii de alegerea SR? Pentru a răspunde la această întrebare savanții americani *Albert Michelson* (1852–1931) și *Edward Morli* (1838–1923) în anul 1887 au făcut o experiență.

Ideea savanților era următoarea. Dacă de la sursa de lumină de pe Pământ de direcționat raza de lumină mai întâi de-a lungul liniei mișcării Pământului, iar apoi perpendicular pe ea, atunci de fiecare dată viteza de propagare a luminii față de SR imobil trebuie să fie diferită. Într-adevăr, conform legii clasice de compunere a vitezelor viteza c_1 a luminii, care se propagă în direcția mișcării Pământului trebuie să fie egală cu:

$$c_1 = c + v,$$

unde $v = 2,96 \cdot 10^4$ m/s — viteza mișcării Pământului în jurul Soarelui.

Dacă lumina se propagă în direcția, opusă direcției mișcării Pământului, atunci viteza c_2 a propagării ei ar trebui să fie egală cu: $c_2 = c - v$. Corespunzător viteza luminii c_3 , care se propagă perpendicular pe direcția mișcării Pământului, ar trebui să constituie: $c_3 = \sqrt{c^2 + v^2}$.

Experiențele lui A. Michelson și E. Morli au demonstrat, că viteza propagării luminii în orice caz este aceeași (fig. 24.1). Aceasta i-a băgat într-un «colț păraginit» pe fizicienii de frunte de la sfârșitul sec. XIX — începutul sec. XX, doar rezultatul obținut contrazicea legea clasică de compunere a vitezelor.

Totuși care teorie este adevărată — mecanica clasică a lui I. Newton sau teoria electromagnetică a lui J. Maxwell? De soluționarea problemei s-au cointerestat mulți fizicieni de frunte ai aceluși timp, printre care *Hendrik Anton Lorentz* (1853–1928), *Juli Anri Poincare* (1854–1912), *Gherman Minkovskii* (1864–1909), *Albert Einstein* (1879–1955). Era clar, că problema poate fi soluționată numai pe baza a noi închipuiri despre spațiu și timp. Astfel de închipuiri au început să se dezvolte încă de la sfârșitul sec. XIX, iar definitiv au fost formulate de către A. Einstein în lucrarea «Către electrodinamica mediilor mobile». A. Einstein și J. A. Poincare independent unul de celălalt, au formulat postulate importante, care au devenit pietre de temelie a teoriei relativității restrânse, sau ale mecanicii relativiste (de la latin. *relativus* — relativ).

Teoria relativității restrânse (TRR) cercetează interconexitatea proceselor fizice numai în SR inerțiale, adică în SR care se mișcă unul față de altul uniform rectiliniu.

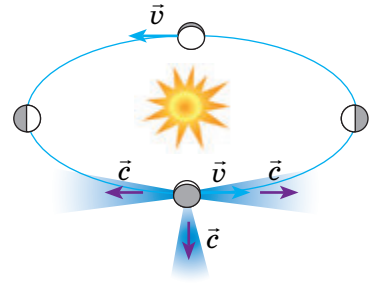


Fig. 24.1. Independența vitezei de propagare a luminii de alegerea SR. Viteza propagării luminii în lungul liniei mișcării Pământului și perpendicular pe linia mișcării lui este constantă și este egală cu viteza de propagare a luminii în vid: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

3

Postulatele teoriei relativității restrânse

Primul postulat al TRR:

În sistemele de referință inerțiale toate legile naturii sunt aceleași.

Aceasta înseamnă, că toate SR inerțiale sunt echivalente (egale în drepturi). În cazul existenței a două SR inerțiale nu are rost de clarificat, care din

ele se mișcă, iar care este în stare de repaus. *Nici un fel de experiențe în orice ramură a fizicii (electricitate și magnetism, fizică moleculară, fizică nucleară, mecanică și altele) nu permit evidențierea SR inerțial absolut (preponderent).*

Al doilea postulat al TRR:

Viteza propagării luminii în vid este una și aceeași în toate SR inerțiale.

Aceasta înseamnă că viteza propagării luminii în vid este *invariantă* — ea nu depinde de viteza sursei sau a receptorului de lumină.

Constanța vitezei de propagare a luminii — proprietatea fundamentală a naturii. În conformitate cu acest postulat *viteza propagării luminii este viteza maximală posibilă a propagării oricărei interacțiuni*. Corpurile materiale nu pot avea o viteză mai mare decât viteza luminii.

4 Oare este absolut timpul

A doua noțiune importantă a TRR este noțiunea *de eveniment*.

Eveniment — orice fenomen, care are loc în punctul dat al spațiului într-un oarecare moment de timp.

Evenimentul pentru punctul material se consideră că este dat, dacă *sunt date coordonatele* (x, y, z) *ale locului, unde are loc evenimentul și timpul* t , *când acest eveniment are loc*. Din punct de vedere geometric *a da evenimentul înseamnă a da punctul în spațiul cuadridimensional «coordoanatele-timpul»*.

În mecanica clasică a lui I. Newton timpul este același în orice SR inerțial, adică așa noțiuni ca «acuma», «mai devreme», «mai târziu», «simultan», nu depind de alegerea SR. *În mecanica relativistă timpul depinde de alegerea SR*. Evenimentele, care au avut loc într-un SR simultan, în alt SR pot fi despărțite de un interval de timp, adică **simultanietatea a două evenimente este relativă**.

Fie că în interiorul navei cosmice (fig. 24.2), care se mișcă cu viteza în raport cu observatorul exterior, a avut loc o declanșare de lumină. Pentru observatorul, care se află în interiorul navei, *lumina ajunge la prora și pupa navei simultan*, adică în sistemul de referință K' , legat de navă aceste două evenimente au loc în același timp (vezi fig. 24.2, a). Pentru observatorul exterior *lumina ajunge la pupă mai înainte decât la prora navei*, deoarece pupa

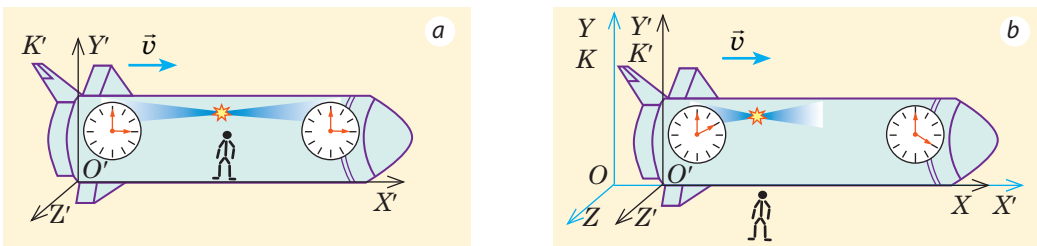


Fig. 24.2. Relativitatea simultanietății evenimentelor: *a* — pentru observatorul din interiorul navei lumina ajunge la prora și pupa navei simultan; *b* — pentru observatorul din afara navei lumina ajunge la prora navei mai târziu decât la pupă

se apropie de observator, iar prora navei se îndepărtează de el, adică în sistemul de referință K , legat de observatorul exterior, *aceste două evenimente au loc nu același timp* (vezi fig. 24.2, b).

5 Legea relativistă de compunere a vitezelor

În conformitate cu al doilea postulat al TRR viteza de propagare a luminii în vid este constantă și nu depinde de viteza mișcării sursei sau receptorului de lumină. Aceasta înseamnă, că legea clasică de compunere a vitezelor în mecanica relativistă nu poate fi utilizată. În TRR este utilizată *legea relativistă de compunere a vitezelor*. Să scriem această lege printru un caz particular — cazul compunerii vitezelor, orientate în lungul unei drepte, de exemplu, a axei OX (fig. 24.3). Atunci legea relativistă de compunere a vitezelor are aspectul:

$$v_x = \frac{v_{1x} + v_{2x}}{1 + \frac{v_{1x}v_{2x}}{c^2}},$$

unde v_x — proiecția vitezei mișcării corpului în raport cu SR imobil K ; v_{1x} — proiecția vitezei mișcării corpului în raport cu SR mobil K' ; v_{2x} — proiecția vitezei SR mobil K' în raport cu SR imobil K .

Să comparăm legile relativistă și clasică de compunere a vitezelor. Dacă vitezele sunt cu mult mai mici decât viteza luminii ($v_1 \ll c$, $v_2 \ll c$), atunci

$1 + \frac{v_{1x}v_{2x}}{c^2} \approx 1$ și legea relativistă de compunere a vitezelor primește aspectul legii clasice: $v_x = v_{1x} + v_{2x}$.

? Se poate oare, de exemplu, studiind mișcarea automobilului în raport cu trenul de se folosit de legea relativistă de compunere a vitezelor? Dar oare are rost?

6 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. Demonstrați, folosind legea relativistă de compunere a vitezelor, că în cazul trecerii de la un SR inercial la altul viteza de propagare a luminii nu se schimbă.

Analiza problemei fizice. Pentru rezolvarea problemei trebuie să facem un desen explicativ (noi ne vom folosi de fig. 24.3). Fie că o cuantă de lumină M se mișcă cu viteza \vec{v}_1 ($v_1 = c$) de-a lungul axei $O'X'$ a sistemului de referință K' , care la rândul său, se mișcă cu viteza \vec{v}_2 în direcția axei OX a sistemului de referință K . Noi trebuie să determinăm viteza de mișcare a cuantei în raport cu SR K .

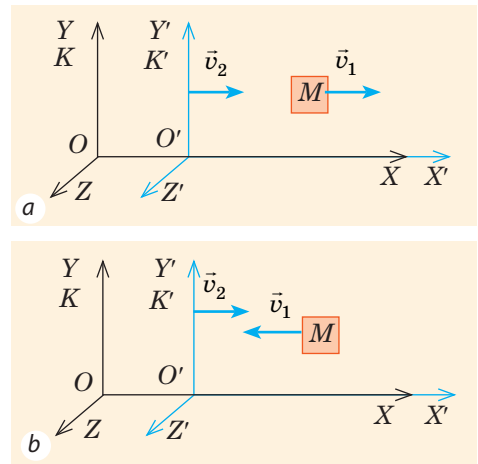


Fig. 24.3. Corpul M se mișcă cu viteza \vec{v}_1 în raport cu SR K' , care la rândul său se mișcă cu viteza \vec{v}_2 în raport cu SR M : a — direcția mișcării corpului coincide cu direcția axei $O'X'$; b — direcția mișcării corpului este opusă direcției axei $O'X'$

Rezolvarea. Să cercetăm două cazuri.

Cazul 1: cuanta de lumină se mișcă în direcția axei $O'X'$ (fig. 24.3, a).

Cazul 2: cuanta de lumină se mișcă în direcție opusă axei $O'X'$ (fig. 24.3, b).

Să scriem legea relativistă de compunere a vitezelor: $v_x = \frac{v_{1x} + v_{2x}}{1 + \frac{v_{1x}v_{2x}}{c^2}}$ (*).

Aflăm proiecțiile vitezelor pe axa OX :

$$v_{1x} = v_1 = c, \quad v_{2x} = v_2.$$

$$v_{1x} = -v_1 = -c, \quad v_{2x} = v_2.$$

Substituind expresiile obținute în formula (*), avem:

$$v_x = \frac{c + v_2}{1 + \frac{cv_2}{c^2}} = \frac{c + v_2}{1 + \frac{v_2}{c}} = \frac{c + v_2}{\frac{c + v_2}{c}} = c.$$

$$v_x = \frac{v_2 - c}{1 - \frac{cv_2}{c^2}} = \frac{v_2 - c}{1 - \frac{v_2}{c}} = \frac{v_2 - c}{\frac{c - v_2}{c}} = -c.$$

Așadar, în orice caz viteza mișcării cuantei în raport cu SR K este egală cu c ; semnul « \rightarrow » înseamnă, că cuanta se mișcă în direcție opusă direcției axei OX .

Răspuns: viteza de propagare a luminii nu depinde de alegerea SR.



Facem totalurile

• La baza teoriei relativității restrânse (TRR) stau două postulate: 1) în toate sistemele de referință inerțiale legile naturii sunt aceleași; 2) viteza propagării luminii în vid este una și aceeași în toate SR inerțiale; aceasta este viteza maximală posibilă a mișcării și propagării intercațiunii în Univers.

• Simultanietatea a două evenimente este relativă: evenimentele simultane într-un SR inerțial, nu sunt simultane în SR ce se mișcă în raport cu primul SR.

• În TRR pentru determinarea vitezei mișcării corpurilor este folosită legea relativistă de compunere a vitezelor: $v_x = \frac{v_{1x} + v_{2x}}{1 + \frac{v_{1x}v_{2x}}{c^2}}$. Ea obține aspectul clasic,

când vitezele sunt cu mult mai mici decât viteza luminii. În cazul general mecanica clasică a lui I. Newton este un caz particular al TRR.



Întrebări de control

1. În ce rezultatele experiențelor lui A. Michelson și E. Morli contraziceau legii clasice de compunere a vitezelor?
2. Formulati postulatele TRR și explicați conținutul lor.
3. În ce constă deosebirea primului postulat al TRR de principiul relativității în mecanica lui I. Newton?
4. Cu ce este egală viteza propagării luminii în vid?
5. Ce este evenimentul? Când se consideră că evenimentul este determinat?
6. Ce înseamnă expresia «simultanietatea a două evenimente este relativă»?
7. Pentru care viteze legea relativistă de compunere a vitezelor capătă aspectul clasic?



Exercițiul nr. 24

1. Două automobile se mișcă unul în întâmpinarea celuilalt. Cu ce este egală viteza de propagare a luminii, radiate de farele primului automobil în SR, legat de al doilea automobil?
2. Un atom ionizat, zburând dintr-un accelerator cu viteza de $0,5c$ (c — viteza de propagare a luminii), a emis un foton în direcția mișcării sale. Care este viteza mișcării fotonului în raport cu acceleratorul?

- O rachetă cosmică se îndepărtează de observator cu viteza de $0,8c$. Ce viteză față de Pământ va avea obuzul, lansat de rachetă în direcția mișcării ei cu viteza de $0,6c$? Care ste viteza mișcării obuzului față de Pământ, dacă el este lansat în direcția, opusă direcției mișcării rachetei?
- Două rachete se îndepărtează una de cealaltă, mișcându-se cu vitezele de $0,7c$ în raport cu un observator imobil. Determinați: a) viteza mișcării rachetelor una față de cealaltă; b) cu cât se mărește în fiecare secundă distanța dintre rachete din punctul de vedere al observatorului.
- Folosiți-vă de surse suplimentare de informații și aflați, de ce există găurile negre.

§ 25. CONSECINȚE DIN POSTULATELE TEORIEI RELATIVITĂȚII RESTRÂNSE

«Durata existenței obstacolelor rămâne tot aceeași independent de aceea, dacă sunt mișcările lor mai rapide, sau mai lente, sau că în general ele nu sunt», — scria I. Newton. Creatorii mecanicii clasice considerau pe deplin evident, că și timpul, și dimensiunile corpului sunt absolute și nu depind de viteza mișcării lui. Să clarificăm, dacă este aceasta așa de evident din punctul de vedere al mecanicii relativiste.

1 Se modifică oare dimensiunile liniare ale obiectelor în timpul mișcării lor

Lungimea tijei este numită distanța dintre capetele ei, coordonatele cărora sunt fixate *simultan* (după ceasornicul aceluși sistem, în care se măsoară lungimea). Deoarece simultanietatea a două evenimente este relativă, reiese că lungimea tijei va fi diferită în diferite SR.

Fie că o tijă se află în repaus în SR K' , care se mișcă cu o anumită viteză în raport cu SR K . Dacă tijă este amplasată de-a lungul sistemului K' , atunci conform teoriei relativității are loc reducerea lorentzeană a lungimii (fig. 25.1):

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

unde l_0 — lungimea tijei în SR K' , în raport cu care tijă se află în repaus; l — lungimea tijei în SR K , în raport cu care tijă se mișcă.

Atrageți atenția!

1. *Dimensiunile corpului se micșorează numai de-a lungul mișcării lui:* dacă tijă este amplasată de-a lungul mișcării sale, atunci lungimea ei se micșorează, dar iată diametrul rămâne neschimbat.

2. *Efectul relativist de reducere al lungimii devine vizibil numai în cazul mișcării corpului cu o viteză, care este comparabilă cu viteza de propagare a luminii:* chiar dacă racheta se mișcă cu a doua viteză cosmică ($v = 11,2$ km/s — cea mai mică viteză, care trebuie comunicată rachetei pentru ca ea să învingă

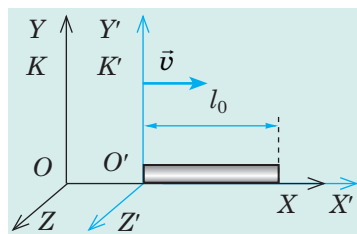


Fig. 25.1. Lungimea l a barei în SR K , în raport cu care bara se mișcă, este mai mică decât lungimea «proprie» l_0 a bara — lungimea tijei în SR K' , în raport cu care tijă se află în repaus

atracția Pământului și să devină satelit al Soarelui), lungimea ei aproape că nu se schimbă; dar iată pentru o particulă, accelerată în accelerator până la viteza $v=0,99c$, efectul reducerii lungimii devine foarte evident.

? Demonstrați ultima afirmație de sinestătător, efectuând calculele necesare.

2 În ce constă efectul încetinerii timpului

Să cercetăm cum se schimbă intervalul de timp dintre două evenimente succesive în cazul trecerii de la un SR inerțial la altul. Pentru aceasta să ne folosim de *ceasornicul de lumină* — o tijă cu lungimea L_0 , la capetele căreia sunt fixate (perpendicular față de tijă) două oglinzi (vezi fig. 25.2, a). Impulsul luminos se mișcă de la o oglindă la alta, și fiecare reflexie a impulsului de la oglindă se fixează. Observatorul, față de care ceasornicul se află în repaus va observa, că timpul dintre două reflexii succesive este egal cu: $\tau_0 = \frac{L_0}{c}$.

Pentru observatorul, față de care ceasornicul se mișcă cu o oarecare viteză v , impulsul luminos va parcurge distanța $L > L_0$ (fig. 25.2, b), de aceea acest observator va fixa un alt timp dintre două reflexii succesive: $\tau = \frac{L}{c}$.

Conform teoremei lui Pitagora: $L^2 = l^2 + L_0^2$, sau:

$$(c\tau)^2 = (v\tau)^2 + (c\tau_0)^2 \Rightarrow \tau^2(c^2 - v^2) = c^2\tau_0^2 \Rightarrow \frac{\tau_0^2}{\tau^2} = \frac{c^2 - v^2}{c^2} \Rightarrow \frac{\tau_0}{\tau} = 1 - \frac{v^2}{c^2}.$$

De aici timpul τ , măsurat de observator, în raport cu care ceasornicul se mișcă este egal cu:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Intervalul de timp τ_0 cronometrat în SR, în raport cu care ceasornicul este în stare de repaus (timpul propriu al evenimentului), este mai mic, decât intervalul de timp cronometrat în SR, în raport cu care se mișcă ceasornicul. Cu alte cuvinte, timpul în SR mobil se încetinește.

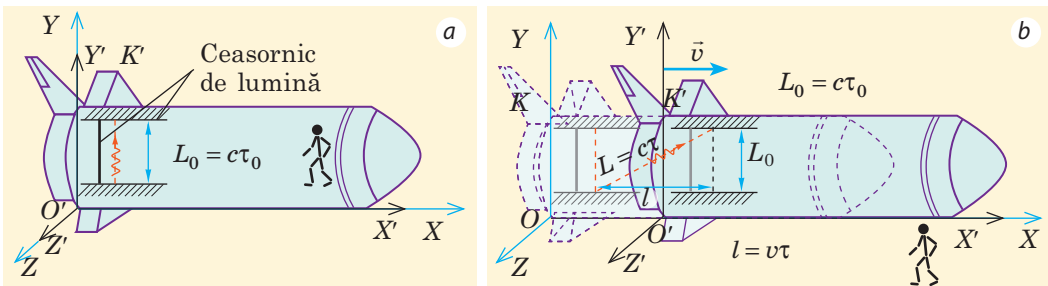


Fig. 25.2. Măsurarea timpului cu ceasornicul de lumină: a — măsurarea timpului propriu a evenimentului de către observatorul, care se mișcă o dată cu ceasornicul; b — măsurarea timpului τ de către observatorul, în raport cu care se mișcă ceasornicul, — pentru acest observator lumina parcurge o distanță mai mare, și deci, într-un interval de timp mai mare: $L > L_0 \Rightarrow \tau > \tau_0$

Atrageți atenția! Încetinirea timpului va arăta orice ceasornic din SR mobil. *Efectul încetinerii timpului — proprietatea a însuși timpului.* În SR mobil încetinesc toate procesele fizice, încetinește și procesul îmbătrânirii.

Încetinirea timpului se observă pe cale experimentală, de exemplu, în timpul dezintegrării radioactive a nucleelor. Fie că în SR, în raport cu care nucleul se află în repaus, perioada lui de semidezintegrare este egală cu $\tau_0 = 0,1$ s. Dacă cu ajutorul acceleratorului de accelerat nucleul până la astfel de viteze, că $1 - \frac{v^2}{c^2} = 0,01$ (adică $v^2 = 0,99 c^2$), atunci perioada de semidezintegrare a nucleului va constitui:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{0,1 \text{ c}}{0,1} = 1 \text{ s.}$$

Deci, din punct de vedere al observatorului imobil dezintegrarea radioactivă a nucleelor accelerate este încetinită în comparație cu dezintegrarea radioactivă a tot astfel de nucleu, ce se află în stare de repaus.

3 Cum sunt legate masa și energia

Încă un rezultat foarte important al TRR — dependența energiei E a corpului de viteza mișcării lui. Din punctul de vedere al TRR, dacă corpul cu masa m se mișcă cu viteza v în raport cu un oarecare SR, atunci energia E a corpului în acest SR constituie:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (*)$$

Această formulă a trecut controlul deplin în experimentele de accelerare a nucleelor, protonilor, electronilor. Din ea rezultă o serie de consecințe importante.

1. *Orice corp (orice particulă), ce are masă, duce cu sine o rezervă de energie.* Într-adevăr, chiar dacă viteza mișcării corpului (particulei) scade până la zero ($v=0$), atunci conform cu formula (*) corpul totuna are energia:

$$E = mc^2$$

Această energie se numește **energie de repaus**.

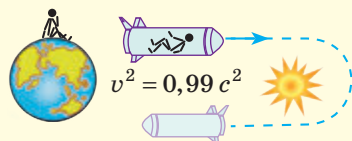
«Paradoxul gemenilor»


Pentru vizualizarea încetinerii ritmului proceselor în sistemele, care se mișcă cu viteze mari, A. Einstein a propus o experiență intuitivă strălucită. Să-l punem pe unul din gemeni în rachetă și o accelerăm până la viteza de $v^2 = 0,99 c^2$. Îl întoarcem pe Pământ peste un an după ceasornicul, care funcționează în rachetă: $\tau_0 = 1$ an. Ceasornicul pe Pământ va arăta, că între două evenimente — plecarea și întoarcerea rachetei — au trecut:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1 \text{ an}}{0,1} = 10 \text{ ani.}$$

Deci, gemenele, care a rămas pe Pământ, v-a îmbătrâni mai mult decât gemenele, care se mișcă cu viteza apropiată de viteza luminii.

Să facem o observație importantă: TRR cercetează numai SR inerțiale. SR, legat de racheta, care își ia zborul de pe Pământ și apoi revine pe el nu este inerțial: racheta cel puțin de trei ori este accelerată — în timpul lansării, în timpul întoarcerii la cursul de înapoiere și în timpul aterizării. Din această pricină nu poate fi aplicată nemijlocit formula încetinerii timpului pentru cazul cu gemenii. Ea trebuie cercetată cu metodele teoriei relativității generalizate (TRG). Vom menționa, că în TRG «paradoxul gemenilor» se păstrează.



 Convingeți-vă, că energia de repaus este enormă: calculați, ce energie este «ascunsă» în 1 g de apă și comparați-o cu energia cinetică a unui camion cu masa de 5 t, care se mișcă cu viteza de 30 m/s.

2. *Variația energiei corpului este direct proporțională cu variația masei lui:* $\Delta E = \Delta mc^2$. Transmiterea energiei corpului imobil totdeauna este însoțită de mărirea masei lui, și invers: degajarea energiei de către corp este însoțită de micșorarea masei lui. De exemplu, dacă corpul este încălzit, masa lui se mărește, iar când corpul se răcește, masa lui se micșorează.

Formula legăturii energiei cu masa au apreciat-o după merit în anii 1940, când creau bomba atomică. Chestia constă în aceea, că nucleele atomilor de Uraniu-235 fisionează în procesul ciocnirilor cu neutronii lenți, ca urmare se degajă o cantitate enormă de energie. Calculele au arătat, că masa nucleului de Uraniu până la fisionarea lui este mai mare, decât masa totală a particulelor, care se formează după fisionare. Iată acest *defect de masă* (Δm) și se degajă în formă de energie.

3. În cazurile, când corpurile (particula) se mișcă cu o viteză, care este mult mai mică decât viteza luminii ($v \ll c$), formula (*) poate fi scrisă astfel:

$$E(v) = mc^2 + \frac{mv^2}{2},$$

unde mc^2 — *energia de repaus*; $\frac{mv^2}{2}$ — energia cinetică (surplusul de energie, care apare în urma mișcării corpului (particulei)).



Facem totalurile

- Lungimea corpului în diferite SR este diferită. Corpul are cea mai mare lungime în acel SR, unde el se află în stare de repaus.
- Timpul în diferite SR se scurge cu diferite viteze. În SR mobile timpul se scurge mai lent, decât în cele imobile.
- Energia corpului (particulei), care se mișcă depinde de viteza mișcării lui

(ei): $E(v) = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$. Dacă viteza v a mișcării corpului (particulei) este egală

cu zero, atunci $E = mc^2$ — energia de repaus a corpului (particulei).



Întrebări de control

1. Cum variază lungimea obiectului, dacă el se mișcă cu viteză constantă?
2. Care timp se numește timpul propriu al evenimentului?
3. Cum se schimbă intervalul de timp al corpului, care se mișcă cu viteză constantă?
4. Care experiență confirmă efectul încetinerii timpului?
5. Scrieți formula dependenței energiei corpului de viteza mișcării lui. Ce aspect primește această formulă în cazul vitezelor mici de mișcare ($v \ll c$)
6. Ce conținut are mărirea mc^2 ?



Exercițiul nr. 25

1. Într-o rachetă care zboară față de Pământ cu viteza de 0,8c, au trecut 2 ani. Cât timp a trecut conform calculelor observatorului de pe Pământ?

2. Lungimea unei tije în raport cu un observator imobil pe Pământ — 2 m. Care este lungimea proprie a acestei tije, dacă ea se mișcă cu viteza de $0,6c$?
3. De câte ori se va încetini timpul într-o rachetă, care se mișcă în raport cu Pământul cu viteza de $2,6 \cdot 10^8$ m/s?
4. Soarele în fiecare secundă emite în spațiul cosmic $3,83 \cdot 10^{26}$ J de energie. Cu cât se micșorează masa Soarelui într-un an?
5. Folosiți-vă de surse suplimentare de informații și aflați, în care domenii ale tehnicii trebuie neapărat de luat în considerație efectul încetinerii timpului.

FACEM TOTALURILE CAPITOLULUI II «ELEMENTELE TEORIEI RELATIVITĂȚII RESTRÂNSE»

1. Ați făcut cunoștință cu *ideile principale ale mecanicii relativiste; cu postulatele teoriei relativității restrânse (TRR)*.

Postulatele TRR

I. În SR inerțiale toate legile naturii sunt aceleași

II. Viteza propagării luminii în vid este aceeași în toate SR inerțiale

2. Voi ați conștientizat că *viteza propagării luminii în vid este viteza maximală posibilă de transmitere a oricărei interacțiuni*:

$$c = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3. Voi ați aflat despre *relativitatea simultanității evenimentelor*.

Simultanitatea a două evenimente, care au loc în diferite puncte ale spațiului este relativă: evenimentele, simultane într-un SR inerțial nu sunt simultane în alte SR inerțiale, care se mișcă față de primul SR cu o anumită viteză

4. Voi ați făcut cunoștință cu *legile mecanicii relativiste și ați aflat despre consecințele postulatelor TRR*.

Legea inter-conexiunii masei și energiei

$$E_0 = mc^2;$$

$$E(v) = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Legea compunerii vitezelor în cazul SR unidimensional

$$v_x = \frac{v_{1x} + v_{2x}}{1 + \frac{v_{1x}v_{2x}}{c^2}}$$

Consecințele postulatelor TRR

Reducerea lorentzeană a lungimii

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Efectul încetinerii timpului

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

CAPITOLUL III. FIZICA MOLECULARĂ ȘI TERMODINAMICA

PARTEA 1. FIZICA MOLECULARĂ

§ 26. PRINCIPIILE FUNDAMENTALE ALE TEORIEI CINETICO-MOLECULARE

«Dacă <...> toate cunoștințele științifice acumulate ar fi fost nimicite și până la generațiile noastre ar fi ajuns numai o frază, atunci care afirmație ar fi adus cea mai mare informație? Eu consider, că aceasta e ipoteza atomică: toate corpurile sunt compuse din atomi, corpulețe mici, care se află în mișcare neconținută, se atrag la distanțe mici, dar se resping, dacă unul dintre ele este strâns apăsător pe altul». Aceste cuvinte îi aparțin lui Richard Feynman, laureat al premiului Nobel pentru fizică anul 1965, și ele practic mot a mot repetă ideile filozofului grec *Democrit*, expuse cu mai mult de 25 de secole în urmă.

1

Principiile fundamentale ale teoriei cinetico-moleculare

Teoria cinetico-moleculară (TCM) — teoria, ce studiază structura substanței din punctul de vedere a trei principii fundamentale.

1. *Toate substanțele sunt compuse din particule* — atomi, molecule, ioni, adică au o structură discretă; între particule sunt intervale (fig. 26.1).

2. *Particulele substanței se află într-o mișcare dezordonată (haotică) neconținută*; o astfel de mișcare se numește termică.

3. *Particulele interacționează una cu alta* (se atrag sau se resping).

Să ne amintim definiția principalelor unuțări de structură ale substanței.

Atomul — cea mai mică particulă, care este un purtător de proprietăți ale elementului chimic.

Fiecărui element chimic îi corespunde un anumit atom, care se notează cu simbolul elementului (atomul de Hidrogen H, atomul de Carbon C, atomul de Uraniu U).

Atomul are o structură complicată și reprezintă în sine un nucleu, înconjurat de un nor de electroni. Cantitatea de electroni în atom este egală cu cantitatea de protoni din nucleul lui. Sarcina electronului după modul este egală

cu sarcina protonului, de aceea atomul este neutru din punct de vedere electric. Îmbinându-se, atomii formează molecule.

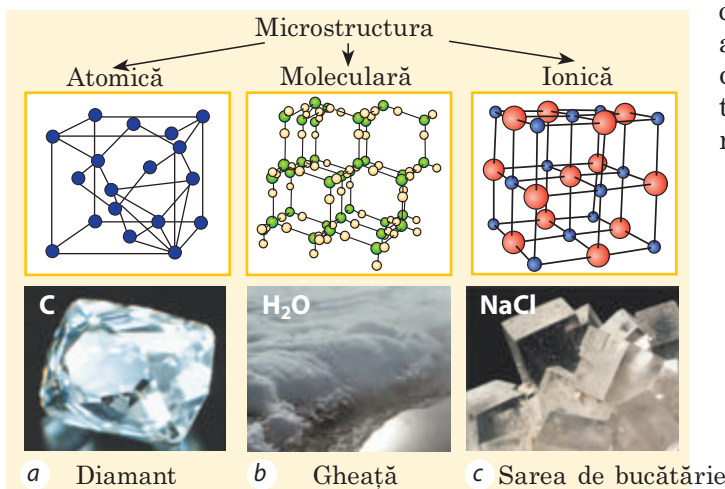


Fig. 26.1. Microstructura unor substanțe în stare cristalină

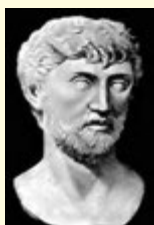
Molecula — cea mai mică particulă a substanței, care are proprietățile chimice ale acestei substanțe și este compusă din atomi.

Moleculele diferitelor substanțe au o structură atomară diferită. Toată diversitatea enormă de substanțe este condiționată de îmbinarea diferită a atomilor în molecule. Dacă atomul sau molecula a pierdut unul sau câțiva electroni, ei devin **ioni pozitivi**; dacă însă la atom (moleculă) s-a alipit unul sau câțiva electroni, se formează **ionul negativ**.

2 Care fapte demonstrează existența atomilor și moleculelor

Noi nu putem vedea particulele substanței din cauza dimensiunilor lor microscopice, însă deja filozofii antici aduceau numeroase dovezi indirecte ale existenței lor.

? Citiți rândurile din poemul poetului și filozofului roman *Titus Lucretius Carus* (apr. 99–55 ani î.e.n.), în care el a expus părerile filozofilor-atomiști ai antichității. Ce dovezi ai existenței atomilor și moleculelor aduce Lucretius?



Haine, atârinate pe coasta, unde spumegau valurile, —
E umedă, dar pune-o la soare — într-o minută se va usca,
Și nu poți reuși să vezi, cum se așază pe ea umiditatea
Cum fuge, abea vor aluneca pe ea razele solare.
Deci, apa în așa mici și fragile fărămituri se descompune,
Încât nici cel mai isteț ochi nu le poate observa.
Și iată, că inelul, pe care îl porți pe deget permanent,
Din an în an fără a observa își pierde ceva, se face mai subțire.
Piatra este zdrobită de picătura încăpățânată. Brăzdarul, cu toate că-i de fier
De asemenea treptat se micșorează — se roade, tâind pământul.

(*Cit. După: Lucretius. Despre natura lucrurilor*)

Cu timpul au apărut dovezi indirecte despre existența particulelor substanței, și aceste dovezi erau bazate pe calcule cantitative precise. Astfel, la sfârșitul sec. XVIII a fost stabilită legea relațiilor multiple: dacă două elemente, ce reacționează între ele formează câțiva compuși, atunci masele diferite ale unui element ce se combină cu o masă neschimbată a altui element se raportează una către cealaltă ca numere întregi mici. De exemplu, azotul și oxigenul au format trei compuși N_2O , N_2O_2 , N_2O_5 . În timpul formării lor pentru o masă constantă a azotului masele oxigenului, ce a intrat în reacție, se raportează ca 1:2:5 corespunzător. Aceasta se explică ușor, comparând compoziția moleculelor substanțelor formate.

Astăzi fizicienii au creat un șir de aparate (proiectoarele ionice, microscopul electronic și de tunel), care permit să se cerceteze nu numai compoziția moleculelor (fig. 26.2), ci și structura internă a atomului (fig. 26.3).

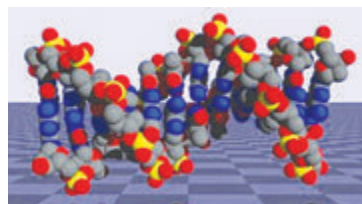


Fig. 26.2. Structura moleculei ADN este calculată după datele, care sunt obținute cu ajutorul microscopului de tunel



Fig. 26.3. Imaginea norilor electronici ai atomului de Carbon; pentru prima dată au fost obținute în anul 2009 la institutul fizico-tehnic din Harcov

Dimensiunile moleculelor

Dimensiunile moleculelor sunt într-atât de mici, că aceasta e greu de imaginat. Dacă molecula de apă ($d \approx 3 \cdot 10^{-10}$ m) va fi mărită de un milion de ori, atunci ea va avea dimensiunile unei picături ($\approx 0,3$ mm). În urma unei astfel de mărimi grosimea unui fir de păr (0,1 mm) va fi 100 m, diametrul vișinei (1 cm) — 10 km, iar înălțimea medie a omului (170 cm) — 1700 km.

Pentru a demonstra cantitatea enormă de molecule, fizicianul englez *William Thomson (lordul Kelvin)* a propus o experiență intuitivă: «Să admitem, că am luat un păhar de molecule de apă «marcate», am răsturnat acest păhar în oceanul Planetar și la-m amestecat minuțios. Apoi am luat un păhar de apă din ocean la alt capăt al Pământului și am numărat toate moleculele «marcate». În păhar ele se vor isca în jur de o mie!»



❓ Încercați să verificați calculele lui W. Thomson. Volumul oceanului Planetar — $1,34 \cdot 10^{18}$ m³.

3 Cât de mică este molecula

S-a stabilit destul de exact: dimensiunile majorității moleculelor și diametrele tuturor atomilor constituie ordinul 10^{-10} m. Bineînțeles, că și masele atomilor și moleculelor la fel sunt mici (de ordinul 10^{-26} kg). A le măsura în astfel de unități ca kilogramul e foarte incomod, de aceea s-a introdus *unitatea de măsură în afara sistemului* — **unitatea atomică de masă**, care este egală cu 1/12 din masa atomului de Carbon $^{12}_6\text{C}$:

$$1 \text{ u. a. m.} = \frac{1}{12} m_0(^{12}_6\text{C}) \approx 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Masa moleculei (atomului) exprimată în unități atomice de masă, se numește **masă moleculară (masă atomică) relativă** M_r :

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_0(^{12}_6\text{C})}$$

Masa moleculară relativă arată de câte ori masa moleculei m_0 este mai mare decât 1/12 din masa atomului de carbon $^{12}_6\text{C}$.

4 În ce unități se numără moleculele

Corpurile macroscopice sunt compuse dintr-un număr enorm de particule. Să determinăm, de exemplu, cantitatea moleculelor într-un păhar cu apă ($m=0,2$ kg). Masa moleculei de apă $m_0 \approx 3,0 \cdot 10^{-26}$ kg. Așadar, în păharul cu apă se conțin: $N = \frac{m}{m_0} \approx 7 \cdot 10^{24}$ molecule. Se socoate așa o cantitate enormă de microparticule prin anumite «porții» — moli. Într-un mol de orice substanță se conține aceeași cantitate de atomi sau molecule — atâtea, câți atomi de Carbon se conțin în carbonul cu masa de 12 g. Acest număr are denumirea de **constanta lui Avogadro**:

$$N_A \approx 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$

Mărimea fizică, care este egală cu cantitatea de moli de particulele ai substanței se numește

cantitate de substanță v : $v = \frac{N}{N_A}$,

unde N — numărul de particule ale substanței.

Unitatea de măsură a cantității de substanță în SI — **molul**:

$$[v] = 1 \text{ mol (mol)}.$$

Masa substanței date, luată în cantitate de 1 mol ($6,02 \cdot 10^{23}$ molecule) se numește **masă molară a substanței M** :

$$M = m_0 \cdot N_A,$$

unde m_0 masa moleculei (atomului) substanței date.

Unitatea de măsură a masei molare în SI —

kilogram pe mol:

$$[M] = 1 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right).$$

? Obțineți formulele reprezentate în dreapta de sine stătător.

5 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. Câți electroni liberi se conțin într-o bară de aluminiu cu dimensiunile de $1 \times 4 \times 5$ cm? Considerați, că fiecare atom de Aluminiu dă un electron liber.

Analiza problemei fizice. Din condiția problemei numărul de electroni este egal cu numărul de atomi de Aluminiu în bara cu volumul de 20 cm^3 ($1 \times 4 \times 5$ cm). Masa molară a aluminiului o vom afla, folosind sistemul Periodic al elementelor chimice: $M = M_r \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} = 27 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$. Densitatea aluminiului o vom afla din tabelul densităților.

♦ Masa molară este egală cu masa moleculară relativă exprimată în grame:

$$M = M_r \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

♦ Cantitatea de substanță cu masa m și masa molară M poate fi determinată după formula:

$$v = \frac{m}{M}$$

♦ Numărul N de molecule ale substanței este egal cu:

$$N = \frac{m}{M} N_A$$

Se dă:

$$V = 20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M = 27 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

$$\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$N_A \approx 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

N — ?

Rezolvarea:

$$N = \frac{m}{M} N_A, \text{ unde } m = \rho V \text{ — masa Aluminiului}$$

$$\text{Definitiv avem: } N = \frac{\rho V}{M} N_A = \frac{\rho V N_A}{M}.$$

Verificăm unitatea de măsură, aflăm valoarea mărimii căutate:

$$[N] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}}{\text{m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 1;$$

$$N = \frac{2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{23}}{27 \cdot 10^{-3}} = 12 \cdot 10^{23}.$$

$$\text{Răspuns: } N = 12 \cdot 10^{23}.$$



Facem totalurile

• Toate substanțele sunt compuse din particule: atomi, molecule, ioni. Particulele sunt despărțite prin intervale și sunt foarte mici: dimensiunile lor sunt de ordinul 10^{-10} m, iar masa — ordinul 10^{-26} kg. Masa microparticulelor e primit să se măsoare în unități atomice de masă: 1 a.o.m. $\approx 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg.

• Numărul de particule ale substanței este enorm, de aceea ele se numără în moli. Într-un mol de orice substanță se conține același număr de particule — atâtea, câți atomi de Carbon se conțin în carbonul cu masa de 12 g. Acest număr se notează cu simbolul N_A și se numește numărul lui Avogadro (constanta lui Avogadro): $N_A \approx 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

- Mărimea fizică, care este egală cu cantitatea de moli de particulele ai substanței se numește cantitate de substanță: $\nu = \frac{N}{N_A}$. Masa substanței, luată în cantitate de 1 mol se numește masă molară a substanței: $M = m_0 \cdot N_A$.



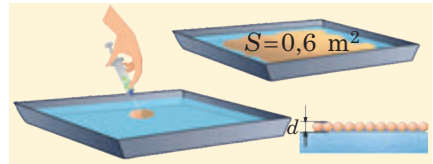
Întrebări de control

1. Numiți principiile fundamentale ale TCM.
2. Din care particule este compusă molecula?
3. Ce structură are atomul?
4. Enumerați dovezile directe și indirecte de existență a atomilor și moleculelor, pe care le cunoașteți.
5. În ce unități e primit să se măsoare masa moleculelor? cantitatea de molecule?
6. Care este sensul fizic al constantei lui Avogadro?
7. Dați caracteristica a așa mărimi fizice, ca cantitatea de substanță; masa molară.



Exercițiul nr. 26

1. Pe suprafața apei s-a picurat o picătură de ulei de măsline cu volumul de 1 mm^3 (vezi des.). Întingându-se, uleiul a format o peliculă cu aria de $0,6 \text{ m}^2$. Evaluați dimensiunile moleculei uleiului de măsline.
2. Câte molecule se conțin în apă cu volumul de $1,0 \text{ l}$?
3. Pentru fiecare din substanțele date determinați masa molară; numărul de molecule în 100 mol ; cantitatea de moli în 1 kg ; masa unei molecule de: a) azot (N_2); b) dioxid de carbon (CO_2); c) metan (CH_4).
4. Într-un iaz cu adâncimea medie de 2 m și aria suprafeței de apă de $15\,000 \text{ m}^2$ s-a aruncat un cristal de iod cu masa de 6 mg . Imaginați-vă, că apa în iaz s-a amestecat și iodul s-a repartizat uniform pe tot volumul apei. Câți atomi de Iod s-ar fi iscat în fiecare probă de apă cu volumul de 200 cm^3 ?
5. Folosindu-vă de surse suplimentare de informații, găsiți exemple interesante, care explică, cât de mici sunt atomii și moleculele. Pregătiți o comunicare sau prezentare scurtă.



Problemă experimentală

Efectuați experiența asemănătoare celei reprezentate în figura din exercițiul nr. 26, și evaluați dimensiunea moleculei de ulei pe cale experimentală. Sugestii: 1) suprafața apei, pe care se întinde picătura trebuie să aibă o arie destul de mare (nu mai mică de 1 m^2); 2) volumul picăturii se poate afla cu ajutorul seringii, numărând, de exemplu, câte picături se conțin în 1 ml de ulei.

PROFESIILE DE VIITOR

MEDICINĂ



Dietologul molecular

specialist în confecționarea schemelor individuale de nutriție, bazate pe datele despre compoziția moleculară a alimentelor, luând în considerație analiza genetică a omului și a particularităților lui fiziologice.

Dietologul molecular examinează comportamentul moleculelor în anumite medii, influența lor asupra proceselor fiziologice în corpul omului; clarifică pierderile de energie în timpul alergatului, mersului pe jos, inotului și a altor activități de mișcare ale omului; calculează, ce fel anume de alimente și în ce cantități sunt necesare omului pentru a obține energia necesară.

§ 27. MIȘCAREA ȘI INTERACȚIUNEA MOLECULELOR*



«...Repede zboară în câmpul de vedere al microscopului, particulele mici, aproape că instantaneu, schimbându-și direcția de mișcare, mai lent se mișcă cele mari, însă și ele încontinuu își schimbă direcția. Particulele mari practic se mișcă pe loc <...>. Nicăieri nu există nici o urmă de un sistem sau a unei ordini ...». Astfel, după cuvintele fizicianului german *Robert Paul* (1884–1976), apare în fața observatorului *mișcarea browniană* — fenomen, care se explică prin mișcarea moleculelor. Ne amintim, cum se mișcă moleculele și ce fapte confirmă interacțiunea lor.

1 Ce este mișcarea browniană*

Mișcarea browniană — mișcarea haotică a microparticulelor mici vizibile la microscop, aflate în suspensie în lichid sau gaz, care are loc sub acțiunea loviturilor moleculelor de lichid sau gaz.

Acest fenomen este numit în cinstea botanistului scoțian *Robert Brown* (1773–1858), care pentru prima dată l-a studiat în anul 1827. Cercetând la microscop grăuncioarele de polen ce se aflau în suspensie în apă, Brown a observat, că ele se mișcă neconținut, schimbându-și permanent viteza.

Cauza mișcării browniene — *mișcarea haotică a moleculelor mediului*. Mișcându-se, microparticulele mediului bombardează continuu macroparticula suspendată în el (fig. 27.1). În acest caz, forța sumară a loviturilor dintr-o parte poate întâmplător să fie mai mare decât din altă parte. Dacă macroparticula este suficient de mică ($\approx 1 \mu\text{m}$), atunci ea începe să se miște în urma loviturilor; apoi alte lovituri provoca schimbarea vitezei ei.

? De ce particulele mai mari «merg» pe loc? De ce cu mărirea temperaturii lichidului viteza mișcării particulei browniene se mărește?

Teoria mișcării browniene, creată de către *A. Einstein* și fizicianul polonez *M. Smoluchowski* în anii 1905–1906 și confirmată pe cale experimentală de către fizicianul francez *J. Perrin* (fig. 27.2), a întărit definitiv biruința atomismului.

2 Ce este difuzia și unde ea este aplicată

Mișcarea continua haotică a moleculelor are loc în interiorul oricărui corp macroscopic. În cursul

* Aici și în continuare vom nota cu termenul «moleculă» orice unitate structurală a substanței: moleculă, atom sau ion.

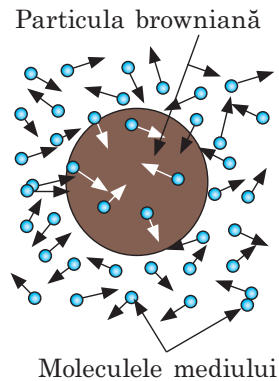


Fig. 27.1. Mecanismul apariției mișcării browniene

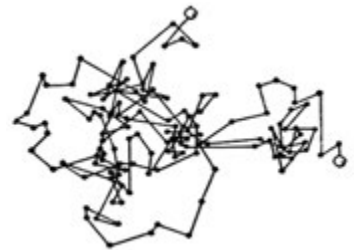


Fig. 27.2. Una dintre miile de scheme, obținute de către Jean Perrin, care a marcat poziția particulei browniene peste intervale de timp egale (1 s). Bineînțeles, că traiectoria adevărată a mișcării particulei conține mai multe legături

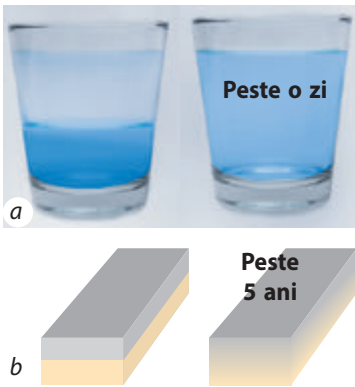


Fig. 27.3. Difuzia în lichide și corpuri solide. În urma mișcării termice haotice a moleculelor siropul s-a amestecat cu apa în decursul unei zile (a), două plăci de plumb și de aur șlefuite și presate una pe alta au «concescut» cu 1 mm în decurs de 5 ani (b)



Fig. 27.4. Procesul de saturare a stratului superficial al oțelului cu carbon se numește *cimentare*. Dacă se va confecționa o piesă din oțel cu conținut scăzut de carbon, iar apoi ea se va pune într-un amestec cu temperatură înaltă, care conține carbon, atunci datorită difuziei stratul superficial din oțel va fi îmbogățit cu carbon. Piesa obținută va fi în același timp solidă (din exterior — fontă dură) și nu se va distruge în urma încărcăturilor de șoc (din interior — oțel elastic)

de fizică pentru clasa a 7 voi ați învățat difuzia — mai un fenomen, cauzat de o astfel de mișcare (din lat. *diffusio* — răspândire, împrăștiere).

Difuzia — procesul de pătrundere reciprocă a moleculelor unei substanțe între moleculele altei substanțe, care are loc în urma mișcării termice a moleculelor.

Dacă într-un pahar de apă se va turna sirop de zahăr colorat, după o perioadă, toată apa din pahar va obține culoare și va deveni dulce (fig. 27.3, a). Difuzia în lichid are loc destul de încet, însă în corpurile solide difuzia este mai lentă de sute și mii de ori (fig. 27.3). În gaze difuzia se petrece cu mult mai repede decât în lichide, dar totuși: dacă nu ar exista convecția, mirosul de parfum s-ar răspândi în cameră timp de câteva ore.

În orice mediu, viteza difuziei crește odată cu creșterea temperaturii și a presiunii.

Procesele de difuzie sunt extrem de importante pentru obținerea și prelucrarea anumitor materiale. Difuzia în corpurile solide asigură legătura dintre metale în timpul sudării, lipirii, nichelării. Cu ajutorul difuziei stratul de la suprafața produselor din metal este saturat cu carbon, asigurându-i durabilitatea (fig. 27.4).

O varietate a difuziei este **osmoza** (de la grec. *osmos* — șoc, presiune) — procesul de difuzie unilaterală printr-o diafragmă semipermeabilă (membrană) de molecule a solventului în partea cu concentrația mai mare a solventului. De exemplu, dacă cu un cuțit ascuțit se va tăia o felie subțire de lămâie, atunci suclic practic nu se va scurge; dacă însă se va stropi felia cu zahăr, atunci va apărea suclic. Scurgându-se din lămâie, suclic parcă tinde să dilueze soluția concentrată de zahăr, ce s-a format la tăietură.

În natură, datorită osmozei substanțele nutritive și apa pătrund din sol la rădăcinile plantelor, din tractul digestiv — în organismele ființelor și nemijlocit în celule; oxigenul din alveolele pulmonare pătrunde în sânge ș. a. m. d. În industrie osmoza este folosită pentru purificarea apei, producerea băuturilor, obținerea unor polimeri.

3 Cât de repede se mișcă moleculele

Moleculele în gaze se mișcă foarte repede — cu viteza glontului (vezi tab.), însă departe nu pot «zbură», deoarece în fiecare secundă suferă peste un miliard de ciocniri cu alte molecule. De aceea traiectoriile mișcării moleculelor reprezintă în sine linii frânte complicate, asemănătoare cu traiectoriile mișcării particulei browniene.

? Explicați, de ce, necătând la viteza enormă a mișcării moleculelor mirosul în aer se propagă destul de lent.

Atrageți atenția! În substanță întotdeauna sunt molecule, care se mișcă lent și molecule, viteza mișcării cărora este enormă. În urma ciocnirilor vitezele mișcării moleculelor permanent variază. Este imposibil de descris mișcarea chiar și a unei molecule, și nici nu e nevoie. Nouă ne este important să știm, la ce rezultat duce mișcarea întregii totalități de molecule ale unui anumit obiect.

Cum a fost măsurată viteza mișcării moleculelor

Pentru prima dată viteza mișcării moleculelor a fost măsurată de către fizicianul german Otto Stern (1888–1969) în anul 1920.

Pentru experiență Stern a folosit aparatul (vezi fig. 1), care era compus din doi cilindri goi uniți rigid și îmbrăcați pe o axă comună; peretele cilindrului interior avea o crăpătură. De-a lungul axei era trasă o ață metalică acoperită cu un strat de argint. Aerul din cilindru a fost evacuat. Când prin ață trecea curentul, argintul se evaporă și cilindrul interior se umplea cu atomi de Argint, o parte a cărora trecea prin crăpătură și se depuneau pe peretele interior al cilindrului exterior. În rezultat în dreptul crăpăturii se forma o franjă îngustă de argint (A în fig. 2).

Cînd cilindrii erau roțiți, franja de argint devenea neclară și se forma nu în dreptul crăpăturii, dar la o anumită distanță s de la franja A (franja A'). Doar până atomii au parcurs distanța l (vezi fig. 2), cilindrii s-au rotit cu un anumit unghi. Cu cât mai repede se mișcau atomii, cu atât mai aproape de franja A ei se depuneau.

Cunoscând razele cilindrului, viteza unghiulară de rotație ω și măsurând distanța s , Stern a determinat viteza mișcării v a atomilor de Argint.

Într-adevăr, timpul mișcării atomilor de la crăpătură până la cilindrul exterior este egal cu $t = \frac{l}{v} = \frac{R_2 - R_1}{v}$.

În acest timp punctul de pe suprafața cilindrului exterior trece distanța s , de aceea $t = \frac{s}{v_c} = \frac{s}{\omega R_2}$.

$$\text{Astfel, } \frac{R_2 - R_1}{v} = \frac{s}{\omega R_2} \Rightarrow v = \frac{\omega R_2 (R_2 - R_1)}{s}.$$

Viteza mișcării atomilor, măsurată de către Stern coincidea cu viteza calculată pe cale teoretică.

Temperatura gazului, °C	Viteza pătratică medie a mișcării moleculelor gazului, m/s		
	H ₂	O ₂	CO ₂
0	1693	425	362
20	1755	440	376
100	1980	496	422
200	2232	556	475

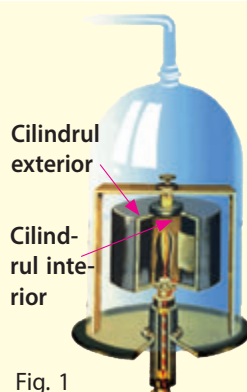


Fig. 1

Locul ciocnirii celor mai rapide molecule **Locul ciocnirii celor mai lente molecule**

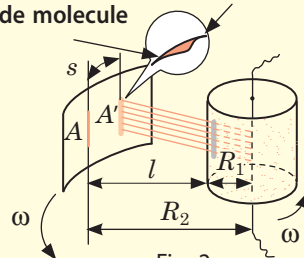


Fig. 2

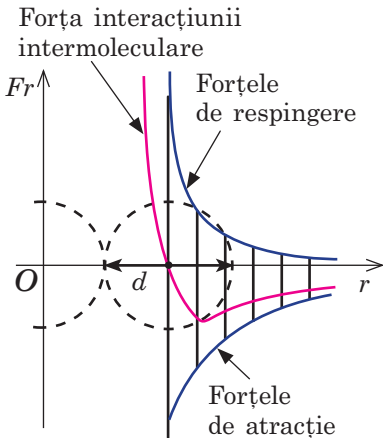


Fig. 27.5. Graficul dependenței forțelor de atracție, forțelor de respingere și forței interacțiunii intermoleculare (F_r) de distanța r dintre molecule. Forța interacțiunii intermoleculare se calculează ca suma algebrică dintre forțele de respingere și forțele de atracție

cu toate acestea nucleele acestor atomi se resping unul de altul, se resping și norii lor electronici.

Dacă distanța dintre molecule este mai mică decât dimensiunile d ale moleculei însăși ($r < d$), atunci predomină forțele de respingere, de aceea moleculele se resping una de cealaltă (fig. 27.5). Pe măsura măririi distanței r și forțele de atracție și forțele de respingere scad, dar forțele de respingere se micșorează mai repede. La distanța $r = d$ forțele de atracție și forțele de respingere se echilibrează. În cazul măririi în continuare a distanței dintre molecule ($r > d$) încep să predomine forțele de atracție și moleculele se atrag una de alta.

Astfel, la distanța d moleculele se află în stare de echilibru: în cazul oricăror abateri ale moleculei de la această poziție forțele intermoleculare tind să o readucă în starea de echilibru.

? Va fi oare vizibilă forța de interacțiune dintre două molecule, dacă distanța dintre ele va fi de zece ori mai mare decât dimensiunea moleculelor? de zece ori mai mică (vezi fig. 27.5)?

5 Stările de fază ale substanței

În TCM se deosebesc trei stări de fază (de agregare) ale substanței: lichidă, cristalină, gazoasă (există și a patra stare — plasma, ea este cea mai răspândită în Univers, doar anume în stare de plasmă se află substanța în stele). Schimbarea stării de fază se numește trecere de fază. Să examinăm diferite stări ale substanței și să clarificăm particularitățile mișcării și interacțiunii moleculelor substanței în diferite stări de fază.

4 Cum și de ce interacționează moleculele

E destul de simplu să ne convingem în aceea, că moleculele se atrag una de cealaltă. Încercați, de exemplu, să rupeți o sârmă de oțel sau să sfărâmați o cărămidă — aceasta va fi complicat, cu toate că ele sunt compuse din particule separate. Faptul, că corpurile solide și lichidele nu se descompun în molecule aparte, transformându-se în gaz, de asemenea ne vorbește despre aceea, că între molecule există forțe de atracție. Cu toate acestea moleculele se resping una de alta. În aceasta ne putem convinge ușor, încercând să strângem aceeași sârmă sau aceeași cărămidă — probabil că nu veți reuși.

TCM afirmă, că între molecule concomitent există atât forțe de atracție, cât și forțe de respingere. Cauza principală a apariției acestor forțe — atracția electrică și respingerea particulelor încărcate, care formează atomul: nucleul încărcat pozitiv al unui atom se atrage de norul electronic încărcat negativ al altui atom;

Stările de fază (de agregare) ale substanței		
Gazoasă	Lichidă	Solidă cristalină
<p>Cuvântul «gaz» provine de la cuvântul grecesc chaos («haos»). Moleculele gazului sunt amplasate dezordonat și la distanțe, care depășesc de zeci de ori dimensiunile moleculelor înseși. La astfel de distanțe moleculele practic nu interacționează una cu cealaltă. De aceea, ciocnindu-se permanent moleculele gazelor zboară în direcții opuse până atunci, până când nu vor întâlni un oarecare obstacol, de exemplu, pereții vasului. Anume din această cauză gazele nu au formă și ocupă tot volumul pus la dispoziție. Prin distanțele mari dintre molecule se explică și acel fapt, că gazele ușor se comprimă.</p>	<p>Moleculele lichidului sunt amplasate în general haotic, însă în amplasarea celor mai apropiate molecule se păstrează o anumită ordine (apropiată). Distanța medie dintre molecule este aproximativ egală cu dimensiunile moleculelor însăși, de aceea forțele intermoleculare le mențin lângă poziția de echilibru. Fiecare moleculă a lichidului un anumit timp (aproximativ 10^{-11} s) efectuează o mișcare similară cu cea oscilatorie, apoi sare în alt loc și din nou oscilează lângă noua poziție de echilibru. Timpul de «viață sedentară» a moleculei este de sute de ori mai mare decât timpul «tranziției». Saltul (tranziția) moleculelor de la o stare de echilibru la alta are loc, în principal, în direcția forței exterioare, de aceea lichidul este fluid: sub acțiunea forțelor exterioare el ia forma aceluși vas, în care se conține, totodată volumul lichidului rămâne neschimbat.</p>	<p>În substanțele, care se află în stare solidă cristalină moleculele sunt amplasate într-o anumită ordine (formează o rețea cristalină) la distanțe, ce sunt aproximativ egale cu dimensiunea moleculelor însăși, de aceea forțele de interacțiune intermoleculară le mențin lângă poziția de echilibru. Spre deosebire de lichide, salturile moleculelor în starea solidă are loc foarte rar — fiecare moleculă își păstrează poziția de echilibru destul de mult timp, iar mișcarea ei se reduce la oscilații lângă poziția de echilibru. De aceea, corpurile solide își păstrează și volumul, și forma; ca și lichidul, el foarte greu se comprimă.</p>

Vom menționa, că moleculele unor corpuri solide în general sunt amplasate haotic. O asemenea stare a substanței se numește **amorfă**. Substanțele în stare amorfă amintesc lichidele foarte vâscoase. Dacă se va pune într-un vas cristale de sare, ele niciodată nu se vor îmbina într-un cristal mare. Dar iată dacă se va pune în vas bucățele de smoală, care este o substanță amorfă, atunci pe câteva zile smoala se va contopi și va lua forma vasului.

Spre deosebire de cele cristaline *substanțele amorfe nu au o anumită temperatură de topire*, dar trec în starea lichidă treptat înmuindu-se.

Starea amorfă a substanței este comparativ nestabilă — treptat are loc cristalizarea. Astfel, sticla are o structură amorfă, dar cu timpul în ea se formează tulburări — mici cristale de cuarț. Zahărul — acesta-i un cristal molecular. Dacă el se va topi și răci, se va forma o bomboană — starea amorfă a zahărului. Dar peste un timp oarecare în bomboană va începe să crească cristale mici de zahăr. Anume din această pricină se zahărește dulceța, care a stat mult timp.



Facem totalurile

- Moleculile, atomii, ionii se află într-o mișcare continuă haotică. Anume prin mișcarea particulelor substanței pot fi explicate astfel de fenomene, ca mișcarea browniană (vizibilă la microscop, deplasarea haotică a microparticulelor mici, ce sunt în suspensie în lichid sau gaz) și difuzia (pătrunderea reciprocă a substanțelor tangențiale una în alta).
- Particulele substanței interacționează între ele. Principala cauză a interacțiunii intermoleculare — atracția electrică și respingerea particulelor încărcate, care formează atomul. La distanțe, care sunt mai mari decât dimensiunea moleculelor, moleculele se atrag între ele; la distanțe, care sunt puțin mai mici decât dimensiunea moleculelor — se resping.
- Substanța se poate afla în stările fazice (de agregare) solidă, lichidă și gazoasă în funcție de faptul cum sunt amplasate, cum se mișcă și cum interacționează particulele ei.



Întrebări de control

1. Care este cauza mișcării browniene? 2. Ce este difuzia? Dați exemple de manifestare și aplicarea difuziei în știință, tehnică, natură, viața omului. 3. Oare este corectă afirmația, că vitezele moleculelor unui anumit gaz la aceeași temperatură sunt egale? 4. Care este cauza interacțiunii intermoleculare? 5. În ce condiții între molecule apar forțe intermoleculare de atracție? de respingere? 6. Explicați proprietățile fizice ale substanțelor în diferite stări de fază din punctul de vedere al TCM. 7. În ce constă deosebirea dintre stările amorfă și cristalină ale substanței?



Exercițiul nr. 27

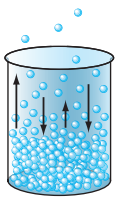
1. De ce dioxidul de carbon, pe care noi îl expirăm nu rămâne lângă noi, dar se răspândește în spațiu?
2. Prin ce fenomen fizic se explică procesul de murare a castraveților? Cum are loc acest proces? În ce încăpere — caldă sau rece — castraveții se murează mai repede?
3. S-a constatat, că prin pereții capilarelor în organismul omului se deplasează 60 l de lichid pe minut. Datorită cărui fenomen fizic are loc acest lucru?
4. Sunt două metode de fertilizare a plantelor: udarea cu soluții speciale (fertilizarea rădăcinală); stropirea (fertilizarea nerădăcinală). Explicați ambele metode.
5. Dacă se vor pune două sticle de la geam una peste cealaltă, suprafețele lor se vor lipi (anume din această cauză în timpul păstrării între ele se pune hârtie). Dacă se vor apăsa una pe alta două rigle de lemn, ele nu se vor lipi. De ce?
6. Va arde oare lumânarea într-o navă cosmică? Dacă va arde, atunci cât de mult? Argumentați răspunsul.
7. Folosiți-vă de surse suplimentare de informații și aflați, ce importanță au procesele de difuzie (în special osmoza) în culinarie. De ce tehnologia de preparare a mâncării necesită înțelegerea esenței acestor procese?



Problemă experimentală

Gândiți-vă și efectuați experiențe de observare a difuziei și osmozei în condiții casnice. Clarificați, de ce factori depinde viteza difuziei.

§ 28. ECUAȚIA FUNDAMENTALĂ A TCM A GAZULUI IDEAL



Fiecare corp macroscopic este compus dintr-o cantitate enormă de molecule. TCM cercetează structura și proprietățile corpurilor macroscopice, și de asemenea procesele, ce au loc în aceste corpuri din punctul de vedere al structurii lor moleculare. Comportarea corpurilor macroscopice este descrisă de un șir de mărimi fizice — *parametrii microscopici și macroscopici*. Să clarificăm, ce fel de parametri sunt aceștia și cum ei sunt legați.

1 Parametrii microscopici și macroscopici

Să examinăm sistemul, care este compus dintr-o cantitate foarte mare de atomi sau molecule. Așa un sistem poate fi, de exemplu, un gaz oarecare. În orice moment de timp fiecare microparticulă de gaz are energie, se mișcă cu o viteză oarecare, are o anumită masă.

Mărimile fizice, care caracterizează proprietățile și comportarea microparticulelor aparte luate ale substanței, se numesc **parametrii microscopici**.

Parametrii microscopici pot varia fără o influență din exterior asupra sistemului. De exemplu, vitezele de mișcare ale moleculelor gazului permanent se schimbă în urma ciocnirilor lor dintre ele.

Totodată gazul de o masă dată ocupă un oarecare volum, are o anumită presiune, temperatură. Valorile acestor mărimi fizice sunt determinate de o totalitate enormă de molecule, — de exemplu, noi nu putem vorbi despre presiunea, temperatura sau densitatea unei molecule.

Mărimile fizice, care caracterizează proprietățile și comportarea corpurilor macroscopice fără a lua în considerație structura lor moleculară, se numesc **parametrii macroscopici**.

Parametrii macroscopici pot varia numai pe contul influenței exterioare asupra sistemului sau pe contul schimbului de căldură. Astfel, pentru a schimba presiunea gazului, el trebuie încălzit (să i se transmită o anumită cantitate de căldură) sau comprimat (adică de efectuat un lucru).

2 Care gaz se numește ideal

Legitățile cantitative, ce leagă parametrii macroscopici și microscopici ai corpurilor sunt destul de complicate. Să cercetăm cel mai simplu caz — gazele suficient de rarefiate (astfel, de exemplu, sunt de obicei gazele în condiții normale*). În gazele rarefiate distanța dintre molecule de multe ori depășește dimensiunile moleculelor însăși, de aceea aceste molecule pot fi considerate puncte materiale, iar interacțiunea lor, cu excepția momentelor de ciocnire, poate fi neglijată. În afară de aceasta, proprietățile gazelor rarefiate practic nu depind de compoziția lor moleculară, iar ciocnirile moleculelor unui asemenea gaz sunt apropiate de cele elastice. Astfel, în loc de gazele reale se poate cerceta modelul fizic al lor — *gazul ideal*.

* Gazul se află în *condiții normale*, dacă presiunea lui este 760 mm c. Hg $\approx 1,01 \cdot 10^5$ Pa și temperatura de 0°C.

Gazul ideal — modelul fizic al gazului, moleculele cărui sunt considerate puncte materiale, ce nu interacționează la distanță unul cu altul și interacționează elastic în momentul ciocnirii.

3 Ecuția fundamentală a TCM a gazului ideal

Să începem cu așa un parametru macroscopic ca *viteza mișcării moleculelor*. Vom atrage atenția asupra faptului, că n-are sens de cercetat mișcarea fiecărei molecule aparte și de stabilit viteza mișcării ei în momentul dat de timp, și aceasta e și imposibil: numărul de molecule este enorm și într-o secundă fiecare moleculă își schimbă viteza mișcării sale de miliarde de ori. De aceea fizicienii folosesc valorile medii ale vitezelor moleculelor. Cea mai importantă în TCM este noțiunea de **pătratul vitezei medii** \bar{v}^2 :

$$\bar{v}^2 = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N},$$

unde N — numărul de molecule; v_1, v_2, \dots, v_N — vitezele de mișcare ale particulelor aparte luate.

Rădăcina pătrată din pătratul vitezei medii se numește **viteză pătratică medie** $\bar{v}_{\text{păt}}$:

$$\bar{v}_{\text{păt}} = \sqrt{\bar{v}^2}$$

Bineînțeles, că pătratul vitezei medii (așadar și viteza pătratică medie) nu poate fi determinată cu ajutorul măsurătorilor directe. Însă această mărime este legată de anumiți parametrii macroscopici (măsurăți) ai gazului, de exemplu, cu presiunea.

Să ne amintim, că presiunea este cauzată de loviturile moleculelor lui (fig. 28.1). Aflându-se în mișcare haotică neconținută, moleculele gazului se ciocnesc cu pereții vasului și cu suprafața oricărui corp în gaz, acționând asupra lor cu o anumită forță. Forța sumară a acțiunii particulelor asupra unei unități de arie a suprafeței și este presiunea gazului: $p = \frac{F}{S}$.

Nu e greu de se dumerit: cu cât mai repede se mișcă moleculele gazului și cu cât mai mare este masa acestor molecule, cu atât mai mare va fi forța loviturilor lor și cu atât o presiune mai mare va crea gazul.

Ecuția dependenței presiunii p a gazului ideal de masa moleculelor lui m_0 și pătratul vitezei medii \bar{v}^2 a mișcării lor — aceasta-i **ecuția fundamentală a teoriei cinetico-moleculare a gazului ideal**:

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2$$

Aici n — **concentrația moleculelor gazului** — mărimea fizică, care este egală cu numărul de molecule într-o unitate de volum: $n = \frac{N}{V}$, $[n] = 1 \text{ m}^{-3}$.

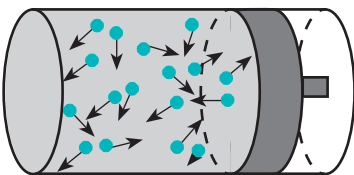


Fig. 28.1. Presiunea gazului este rezultatul ciocnirii moleculelor gazului cu pereții vasului

? Explicați de ce presiunea gazului se mărește odată cu creșterea concentrației moleculelor.

Energia cinetică medie a mișcării de translație a moleculelor gazului ideal (energia cinetică a mișcării de translație, ce în medie revine unei molecule) este egală cu: $\bar{E}_c = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$. De aceea ecuația fundamentală a TCM a gazului ideal poate fi scrisă și în felul următor:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_c$$

? Energia cinetică medie a mișcării de translație a moleculelor unui gaz este egală cu $1,2 \cdot 10^{-21}$ J. Aflați energia cinetică a mișcării de translație a tuturor moleculelor într-un mol al acestui gaz.

4 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. Determinați densitatea gazului ideal, care se află sub o presiune de $1,0 \cdot 10^5$ Pa, dacă viteza pătratică medie a mișcării moleculelor lui este de 500 m/s.

Se dă:

$$p = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\bar{v}_{\text{pătr}} = 500 \text{ m/s}$$

ρ — ?

Analiza problemei fizice, rezolvarea. În problemă trebuie de aflat un parametru macroscopic — densitatea gazului. Pentru rezolvarea problemei ne vom folosi de ecuația fundamentală a TCM a gazului ideal:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2. \quad (1)$$

Deoarece $\rho = \frac{m}{V}$, iar $m = m_0 N$ (masa gazului este egală cu produsul dintre numărul de molecule a gazului și masa unei molecule), atunci $\rho = \frac{m_0 N}{V} = m_0 n$, unde $n = \frac{N}{V}$ concentrația moleculelor gazului.

Substituind în formula (1) expresia $m_0 n$ cu ρ , avem:

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2. \quad (2)$$

De aici $\rho = \frac{3p}{\bar{v}^2} = \frac{3p}{\bar{v}_{\text{pătr}}^2}$. (Formula (2) trebuie memorizată!)

Verificăm unitatea de măsură, aflăm valoarea mărimii căutate:

$$[\rho] = \frac{\text{Pa}}{\text{m}^2/\text{s}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2 \cdot \text{m}^2} \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \quad \rho = \frac{3 \cdot 1,0 \cdot 10^5}{500^2} = \frac{3,0 \cdot 10^5}{2,5 \cdot 10^5} = 1,2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right).$$

Analiza rezultatului. Densitățile gazului în condiții normale variază de la 0,09 până la 1,5 kg/m³, adică am obținut un rezultat real.

Răspuns: $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$.



Facem totalurile

• Mărimile fizice, care caracterizează proprietățile și comportarea microparticulelor aparțin ale substanței, se numesc parametrii microscopici. Mărimile fizice, care caracterizează proprietățile și comportarea corpurilor macroscopice fără a lua în considerație structura lor moleculară, se numesc parametrii macroscopici.

• Gazul ideal — modelul fizic al gazului, moleculele cărui sunt considerate puncte materiale, ce nu interacționează la distanță unul cu altul și interacționează elastic în momentul ciocnirii.

• Ecuația fundamentală a TCM a gazului ideal leagă parametrul macroscopic (presiunea) cu parametrii microscopici (masa și pătratul vitezei medii a mișcării moleculelor): $p = \frac{1}{3}nm_0\bar{v}^2$. Această formulă poate fi scrisă și sub forma:

$$p = \frac{2}{3}n\bar{E}_c; \quad p = \frac{1}{3}\rho\bar{v}^2.$$



Întrebări de control

1. Dați definiția parametrilor macroscopici și microscopici. Dați exemple. **2.** Dați definiția gazului ideal. **3.** Ce este pătratul vitezei medii a mișcării moleculelor? viteza pătratică medie a mișcării moleculelor? **4.** De ce gazul apasă asupra pereților vasului? **5.** Care parametri leagă ecuația fundamentală a TCM a gazului ideal? Scrieți această ecuație. **6.** Prin ce corelație sunt legate presiunea și energia cinetică medie a mișcării de translație a moleculelor gazului ideal? presiunea și densitatea gazului ideal?



Exercițiul nr. 28

- Sunt dați următorii parametri ai gazului: presiunea; volumul; temperatura; viteza pătratică medie a mișcării moleculelor; masa moleculelor; densitatea.
 - Care dintre acești parametri este microscopic? macroscopic?
 - Orificiul unei seringi fără ac a fost acoperit cu degetul, iar apoi: a) s-a apăsat lin asupra pistonului; b) brusc s-a tras pistonul. Care dintre parametrii amintiți ai gazului și cum au variat în acest caz?
- Cum s-a schimbat presiunea gazului ideal, care se conține într-un vas închis, dacă în urma încălzirii viteza pătratică medie a mișcării moleculelor lui s-a mărit de 2 ori?
- În urma comprimării volumul gazului ideal s-a micșorat de 3 ori, iar energia cinetică medie a moleculelor lui s-a mărit de 3 ori. Cum s-a schimbat presiunea gazului?
- Viteza pătratică medie a mișcării moleculelor gazului ideal este egală cu 400 m/s. Ce volum ocupă acest gaz cu masa de 2,5 kg, dacă presiunea lui este egală cu 1 atm?
- Azotul cu masa de 2,5 kg într-un vas cu volumul de 2,0 m³ exercită o presiune de 1,5 · 10⁵ Pa. Determinați energia cinetică medie a mișcării de translație a moleculelor de azot.

Fizica și tehnica în Ucraina



Pomeranciuc Isaac Iacovici (1913–1966) — fizician-teoretician ucrainean sovietic, academician.

A început a lucra la institutul fizico-tehnic din Harcov sub conducerea lui *L.D. Landau*.

I.I.Pomeranciuc a obținut rezultate remarcabile în diferite domenii ale fizicii contemporane — în fizica corpului solid (împrăștierea neutronilor în cristale, teoria conductibilității termice a dielectricilor); în fizica lichidelor cuantice («efectul lui Pomeranciuc»); în teoria cuantică a câmpului («teorema lui Pomeranciuc»), în fizica energiilor înalte, în teoria razelor cosmice. Savantul a făcut o contribuție semnificativă în teoria și crearea primelor reactoare nucleare, în special în teoria difuzoare a reactorului.

În cinstea lui I.I.Pomeranciuc este numită pseudo-particula *pomeronul*.

§ 29. TEMPERATURA. SCARA KELVIN A TEMPERATURILOR



Înainte de a merge la plajă, mulți se interesează de prognoza meteo. Și dacă se așteaptă temperatura aerului de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, atunci, cel mai probabil, planurile vor fi schimbate. Dar oare merită să refuzi să mergi la plimbare, dacă se așteaptă o temperatură de 300 K (Kelvin)? Și ce în realitate subînțeleg fizicienii prin noțiunea de «temperatură»?

1 Ce este temperatura

Experiențele demonstrează, că într-un șir întreg de cazuri sistemul macroscopic trece dintr-o stare în alta. De exemplu, dacă într-o zi geroasă se va aduce în cameră un balon umplut cu heliu, atunci heliul în balon treptat se va încălzi și totodată se va schimba presiunea, volumul și alți parametri ai gazului. După ce balonul va sta în cameră un anumit timp, variațiile vor înceta. Unul dintre postulatele fizicii moleculare și termodinamicii — afirmă: *orice corp macroscopic sau sistem de corpuri în condiții exterioare neschimbate trece de sinestatător în stare termodinamică echilibrată (starea de echilibru termic), după atingerea căreia toate părțile sistemului au aceeași temperatură.*

Începutul nul al termodinamicii practic introduce și determină noțiunea de temperatură.

Temperatura — mărimea fizică, care caracterizează starea de echilibru termic a sistemului macroscopic.

Starea de echilibru termic — aceasta e așa o stare a sistemului macroscopic, când toți parametrii macroscopici rămân neschimbați oricât de mult.

Atrageți atenția! În stare de echilibru termic toate componentele sistemului au aceeași temperatură, totodată alți parametri macroscopici ai lui pot fi diferiți. Amintiți-vă exemplul cu balonul: după ce se va stabili starea de echilibru termic, temperatura mediului înconjurător și temperatura heliului în balon vor fi aceleași, iar presiunea, densitatea și volumul — diferite.

2 Cum funcționează termometrele

Temperatura — aceasta-i o mărime fizică, așadar, ea poate fi măsurată. Pentru aceasta trebuie de stabilit o *scară de temperaturi*. Cele mai răspândite scări de temperaturi sunt scările Celsius, Kelvin, Fahrenheit (fig. 29.1).

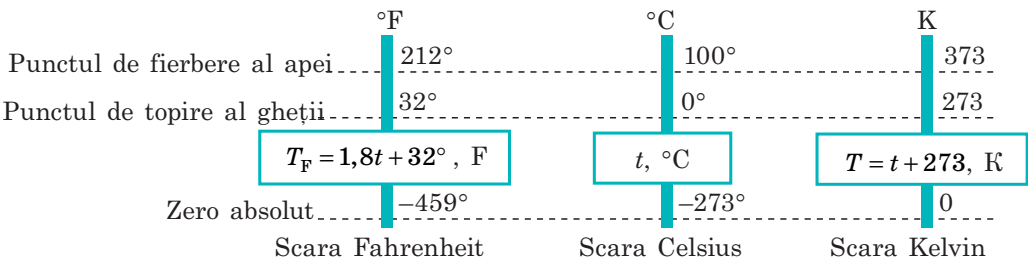


Fig. 29.1. Scările contemporane de temperaturi

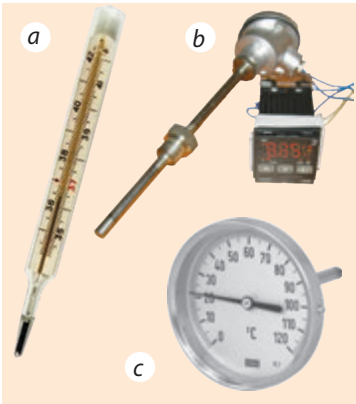


Fig. 29.2. Diferite tipuri de termometre: *a* — cu lichid (princiipiul de lucru: variația volumului lichidului odată cu variația temperaturii); *b* — de rezistență (variația rezistenței conductorului odată cu variația temperaturii); *c* — bimetalic de deformație (variația lungimii a două plăci metalice diferite odată cu variația temperaturii)

Atrageți atenția!

- Termometrul fixează temperatura proprie, ce este egală cu temperatura corpului, cu care termometrul se află în echilibru termodinamic.
- Corpul termometric nu trebuie să fie masiv, de altfel el va schimba esențial temperatura corpului, cu care contactează.

3 Temperatura și energia cinetică medie a moleculelor

Faptul, că temperatura corpului trebuie să fie legată de energia cinetică a moleculelor lui reiese din considerente simple. De exemplu, odată cu mărirea temperaturii se mărește viteza mișcării browniene a particulelor, se accelerează difuzia, se mărește presiunea gazului, dar aceasta înseamnă, că moleculele se mișcă mai repede și energia lor cinetică devine mai mare. Se poate presupune: *dacă gazele se află în stare de echilibru termic, atunci energiile cinetice medii ale moleculelor acestor gaze vor fi aceleași*. Dar cum de demonstrat aceasta, doar de măsurat nemijlocit aceste energii este imposibil?

Ne vom adresa la ecuația fundamentală a TCM a gazului ideal: $p = \frac{2}{3} n \bar{E}_c$.

Conform definiției $n = \frac{N}{V}$, de aceea $p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \bar{E}_c$. După transformări avem: $\bar{E}_c = \frac{3}{2} \frac{pV}{N}$. Astfel, pentru a ne convinge pe cale experimentală în egalitatea

Construcția scării de temperaturi începe cu alegerea *punctelor de reper (de referință)*, care trebuie în mod obligatoriu să fie asociate cu unele procese fizice ușor de reprodus. De exemplu, pentru punctul zero al scării **de temperatură Celsius** este ales punctul de topire al gheții la presiune atmosferică normală ($t = 0^\circ\text{C}$). Temperaturii de fierbere a apei la presiune atmosferică normală este aleasă valoarea $t = 100^\circ\text{C}$. *Unitatea de măsură a temperaturii după scara Celsius — gradul Celsius:*

$$[t] = 1^\circ\text{C} (^\circ\text{C}).$$

Aparatele pentru măsurarea temperaturii — **termometre** (fig. 29.2). Părțile principale ale oricărui termometru sunt corpul termometric (mercurul sau spirtul în termometrul cu lichid, placa bimetalică în termometrul metalic de deformație etc.) și scara. Dacă corpul termometric se va aduce în contact termic cu corpul, temperatura căruia trebuie de măsurat, atunci sistemul va primi o stare neechilibrată. În procesul trecerii în starea echilibrată se vor schimba unii parametri macroscopici ai corpului termodinamic (volumul, rezistența electrică etc.). Știind cum acești parametri depind de temperatură, se determină temperatura corpului.

energiilor cinetice medii ale moleculelor diferitelor gaze luate la aceeași temperatură, trebuie de măsurat volumul (V), presiunile (p) și masele (m) ale gazelor și cunoscând masa lor molară (M) de aflat numărul de molecule (N) după formula $N = \frac{m}{M} N_A$.

Pentru a asigura aceeași temperatură se poate, de exemplu, de scufundat baloane cu gaze diferite într-un vas cu apă și de așteptat starea de echilibru termic (fig. 29.3).

Experimentele ne demonstrează, că pentru toate gazele în starea de echilibru termic raportul $\theta = \frac{pV}{N}$ este același, și deci sunt egale și energiile cinetice medii ale moleculelor gazelor. (Raportul $\theta = \frac{pV}{N}$ deseori este notat cu litera θ (teta).)

De exemplu, la temperatura de 0°C (vasele cu gaze sunt scufundate în gheața, care se topește) $\theta_0 = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{ J}$, adică $\bar{E}_c = \frac{3}{2} \theta_0 = 5,64 \cdot 10^{-21} \text{ J}$; la temperatura de 100°C (vasele sunt scufundate în apă fierbinte) $\theta_{100} = 5,14 \cdot 10^{-21} \text{ J}$, iar $\bar{E}_c = \frac{3}{2} \theta_{100} = 7,71 \cdot 10^{-21} \text{ J}$. Deoarece în starea de echilibru termic valoarea θ pentru orice fel de gaze este aceeași, temperatura poate fi măsurată în jouli.

4 Scara absolută de temperaturi

Bineînțeles, că a exprima în jouli temperatura este incomod (mai întâi de toate de aceea, că valorile θ sunt foarte mici), pe lângă aceasta este incomod de refuzat definitiv la scara Celsius. În anul 1848 fizicianul englez *William Thomson (lordul Kelvin)* (1824–1907) a propus **scara absolută de temperaturi** (astăzi ea este numită **scara Kelvin**).

Temperatura T , măsurată în scara Kelvin se numește temperatură absolută.

Unitatea de măsură a temperaturii absolute — kelvinul — unitate fundamentală în SI:

$$[T] = 1 \text{ K (K)}.$$

Scara Kelvin este construită în așa un mod, încât:

- variația temperaturii după scara Kelvin este egală cu variația temperaturii după scara Celsius: $\Delta T = \Delta t$, adică valoare unei diviziuni a scării Kelvin este egală cu valoarea unei diviziuni a scării Celsius: $1^\circ\text{C} = 1 \text{ K}$; temperaturile măsurate după scările Kelvin și Celsius sunt legate prin relațiile:

$$T = t + 273; \quad t = T - 273$$

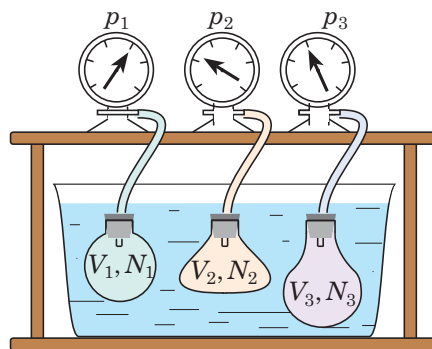


Fig. 29.3. Experiență, care permite de a stabili legătura dintre temperatură și energia cinetică medie a mișcării de translație a moleculelor gazului. Gazele în vase se află în stare de echilibru termic cu mediul, și deci, și unul cu altul

Constanta lui Boltzmann

este numită în cinstea fizicianului austriac *Ludwig Boltzmann* (1844–1906). Valoarea ei poate fi determinată, folosind datele pentru θ_0 și θ_{100} , obținute în rezultatul experimentului (vezi p. 3 § 29):

♦ dacă $t = 100$ °C,

atunci $\theta_{100} = 5,14 \cdot 10^{-21}$ J;

♦ dacă $t = 0$ °C,

atunci $\theta_0 = 3,76 \cdot 10^{-21}$ J.

Deoarece $\theta = kT$,

atunci $\Delta\theta = k\Delta T$, deci,

$$k = \frac{\Delta\theta}{\Delta T} = \frac{\theta_{100} - \theta_0}{\Delta T}.$$

Ținând cont, că

$$\Delta T = \Delta t = 100 \text{ K},$$

iar $\theta_{100} - \theta_0 = 1,38 \cdot 10^{-21}$ J, avem:

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

- temperatura după scara Kelvin este legată cu mărimea $\theta = \frac{pV}{N}$ prin relația $\theta = kT$, unde k constanta lui *Boltzmann* — coeficient de proporționalitate, care nu depinde nici de temperatură, nici de compoziția și cantitatea gazului:

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \left(\frac{\text{J}}{\text{K}} \right)$$

Temperatura absolută are un conținut fizic profund.

Energia cinetică medie a mișcării de translație a moleculelor gazului ideal este direct proporțională cu temperatura absolută:

$$\bar{E}_c = \frac{3}{2} kT \quad (1)$$

Adică, dacă gazul va fi răcit până la temperatura $T = 0$ K, mișcarea moleculelor lui trebuie să înceteze ($\bar{E}_c = 0$). Astfel, punctul zero al scării Kelvin — *aceasta-i temperatura cea mai joasă posibilă din punct de vedere teoretic*. În realitate mișcarea moleculelor nu încetează niciodată, de aceea este imposibil de atins temperatura de 0 K (−273 °C).

Limita absolută inferioară a temperaturii, la care mișcarea moleculelor și atomilor trebuie să înceteze, se numește **zero absolut al temperaturii**.

Presiunea gazului este total determinată de temperatura lui T și de concentrația moleculelor $p = nkT$ (2).



Folosind relația $\frac{pV}{N} = \theta = kT$ și ecuația $p = \frac{2}{3} n\bar{E}_c$, obțineți formulele (1) și (2) de sinestătător.



Facem totalurile

• Mărimea fizică, care caracterizează starea de echilibru termic al unui sistem macroscopic se numește temperatură. Limita absolută inferioară a temperaturii, la care mișcarea moleculelor și atomilor trebuie să înceteze, se numește zero absolut al temperaturii. Scara, punctul zero al căreia este ales zero absolut al temperaturii se numește scară absolută de temperaturi (scara Kelvin). Unitatea de măsură a temperaturii absolute — kelvinul (K) — unitate fundamentală în SI. Temperaturile după scările Kelvin și Celsius sunt legate prin relațiile: $T = t + 273$; $t = T - 273$.

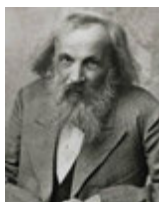
• Energia cinetică medie a mișcării de translație a moleculelor gazului ideal este direct proporțională cu temperatura absolută, iar presiunea gazului se determină prin temperatura absolută și concentrația moleculelor gazului: $\bar{E}_c = \frac{3}{2} kT$; $p = nkT$, unde $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K constanta lui Boltzmann.

**Întrebări de control**

1. Formulați începutul noului al termodinamicii.
2. În ce condiții sistemul se află în stare de echilibru termic?
3. Dați definiția temperaturii.
4. Ce este termometrul? Care este principiul lui de lucru? Ce tipuri de termometre voi cunoașteți?
5. Caracterizați scările de temperaturi Celsius și Kelvin. Cum ele sunt legate?
6. Demonstrați, că temperatura — măsura energiei cinetice a mișcării moleculelor.
7. Cum sunt legate presiunea gazului și temperatura absolută?

**Exercițiul nr. 29**

1. De ce pe scara Kelvin lipsesc temperaturile negative?
2. Cea mai joasă temperatură pe Pământ ($-89\text{ }^{\circ}\text{C}$) a fost fixată în Antarctida în anul 1983. Exprimați această temperatură în kelvini; în grade Fahrenheit.
3. Temperatura absolută a gazului, care se conține într-un balon închis s-a mărit de 4 ori. Cum în acest caz s-a schimbat presiunea și viteza pătratică medie a mișcării moleculelor gazului?
4. Câte molecule de gaz se conțin într-o încăpere cu volumul de 150 m^3 la o presiune de 1 atm și temperatura de $27\text{ }^{\circ}\text{C}$?
5. Folosind surse suplimentare de informații, aflați: 1) cum erau primele termometre; 2) de ce după măsurarea temperaturii termometrul medical trebuie scuturat; 3) cu ce precizie poate fi măsurată temperatura cu termometrele moderne.

i**§ 30. ECUAȚIA DE STARE A GAZULUI IDEAL. IZOPROCESE**

D. Mendeleev



B. Clapeyron

Ecuațiile lui Clapeyron și Mendeleev — Clapeyron; legile lui Charles, Gay-Lussac, Boyle — Mariotte, Avogadro, Dalton — probabil așa o cantitate de legi «cu nume» nu există nici într-un capitol al fizicii. În urma fiecăreia dintre ele — lucru minuțios în laboratoare, măsurări profunde, chibzueli analitice de lungă durată și calcule exacte. Nouă ne este cu mult mai ușor. Noi deja cunoaștem principiile fundamentale ale teoriei și «să descoperim» toate legile amintite mai sus nu ne va fi greu.

1 Ecuația de stare a gazului ideal

Presiunea gazului este complet determinată de temperatura lui și de concentrația moleculelor: $p = nkT$. Să scriem această ecuație sub forma $pV = NkT$. Dacă compoziția și masa sunt cunoscute, atunci numărul moleculelor gazului se poate afla din relația: $N = \frac{m}{M} N_A$. După înlocuire avem: $pV = \frac{m}{M} N_A kT$ (*).

Produsul dintre numărul lui Avogadro N_A și constanta lui Boltzmann k se numește constanta universală a gazelor (R):

$$R = N_A k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}; \text{ deci:}$$

$$R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

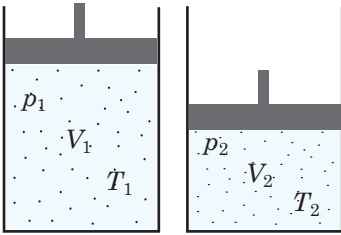


Fig. 30.1. Pentru deducerea ecuației lui Clapeyron

Înlocuind în ecuația (*) $N_A k$ cu R , vom obține **ecuația de stare a gazului ideal (ecuația lui Mendeleev — Clapeyron*)**:

$$pV = \frac{m}{M}RT, \text{ sau } pV = \nu RT$$

Atrageți atenția! Starea gazului dat de o anumită masă este univoc determinată de doi parametri macroscopici ai lui; valoarea celui de-al treilea parametru poate fi aflată din ecuația de stare.

2 Ecuația lui Clapeyron

Cu ajutorul ecuației lui Mendeleev — Clapeyron se poate determina legătura dintre parametrii macroscopici ai gazului în cazul trecerii dintr-o stare în alta. Fie că gazul cu masa m și masa molară M trece din starea (p_1, V_1, T_1) în starea (p_2, V_2, T_2) (fig. 30.1). Pentru fiecare stare scriem ecuația lui Mendeleev — Clapeyron: $p_1 V_1 = \frac{m}{M} R T_1$; $p_2 V_2 = \frac{m}{M} R T_2$. Împărțind ambele părți ale primei ecuații la T_1 , iar a celei de-a doua la — T_2 , avem: $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{m}{M} R$; $\frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{m}{M} R$.

Părțile drepte ale acestor ecuații sunt egale; egalând părțile stângi, vom obține **ecuația lui Clapeyron**:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, \text{ adică } \frac{pV}{T} = \text{const}$$

Pentru gazul dat de o anumită masă raportul dintre produsul presiunii și volumului către temperatura gazului este o mărime constantă.

3 Izoprocese

Procesul, în timpul căruia unul dintre parametrii macroscopici ai gazului dat de o anumită masă rămâne constant se numește **izoproces**. Deoarece starea gazului de o masă determinată este caracterizată de trei parametri macroscopici, atunci izoprocese posibile sunt de asemenea trei: procesul, ce are loc *la temperatură constantă*; procesul, ce are loc *la presiune constantă*; procesul, ce are loc *la volum constant*. Să le studiem:

4 Care proces se numește izotermic. Legea lui Boyle — Mariotte

O bulă de aer, ridicându-se de la fundul unui lac, se poate mări în volum de câteva ori, totodată presiunea în interiorul bulei scade, doar în urma presiunii hidrostatice suplimentare a apei ($p_{\text{hidr}} = \rho gh$) presiunea la adâncime este mai mare, decât cea atmosferică. Însă temperatura în bulă practic nu se schimbă. În acest caz avem de afaceră cu *procesul dilatării termice*.

* Numită în cinstea chimistului și fizicianului rus *Dmitrii Ivanovici Mendeleev* (1834–1907) și fizicianului francez *Benoît Paul Emile Clapeyron* (1799–1864).

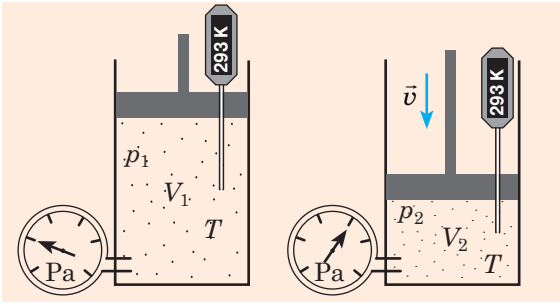


Fig. 30.2. Comprimarea izotermică a gazului. Dacă pistonul se va lăsa lin, temperatura gazului sub piston va rămâne neschimbată și va fi egală cu temperatura mediului înconjurător. Presiunea gazului în acest timp se va mări

Procesul izotermic — procesul de schimbare a stării gazului de o oarecare masă, ce are loc la temperatură constantă.

Fie că un gaz oarecare trece din starea (p_1, V_1, T) în starea (p_2, V_2, T) , adică *temperatura gazului rămâne neschimbată* (fig. 30.2). Atunci conform ecuației lui Clapeyron are loc egalitatea $\frac{p_1 V_1}{T} = \frac{p_2 V_2}{T}$. După simplificare prin T vom obține: $p_1 V_1 = p_2 V_2$.

Legea lui Boyle — Mariotte*:

Pentru gazul dat de o anumită masă produsul dintre presiunea și volumul lui este constant, dacă temperatura gazului nu se schimbă:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2, \text{ sau } pV = \text{const} = \frac{m}{M} RT$$

Graficele proceselor izoterme se numesc **izoterme**.

După cum reiese din legea lui Boyle — Mariotte, la temperatură constantă presiunea gazului de o masă dată este invers proporțională cu volumul lui: $p = \frac{\text{const}}{V}$. Această dependență în coordonatele p, V poate fi reprezentată sub formă de hiperbolă (fig. 30.3, a). Deoarece în timpul procesului izotermic temperatura gazului este constantă, atunci în coordonatele p, T și V, T izotermele sunt perpendiculare pe axele temperaturilor (fig. 30.3, b).

5 Care proces se numește izobar. Legea lui Gay-Lussac

Procesul izobar — procesul de schimbare a stării gazului dat de o masă oarecare, ce are loc la presiune constantă.

Fie că un oarecare gaz trece din starea (p, V_1, T_1) în starea (p, V_2, T_2) , adică *presiunea gazului rămâne*

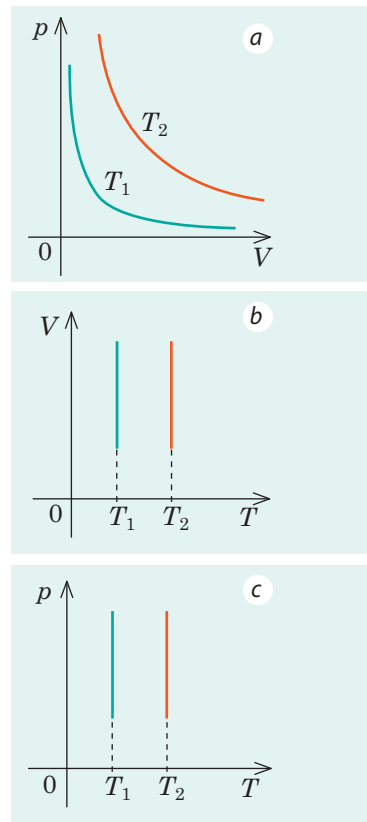


Fig. 30.3. Graficele procesului izotermic; $T_1 < T_2$

* Această lege independent unul de altul au descoperit-o fizicianul și chimistul irlandez *Robert Boyle* (1627–1691) în anul 1662 și fizicianul francez *Edme Mariotte* (1620–1684) în anul 1676.

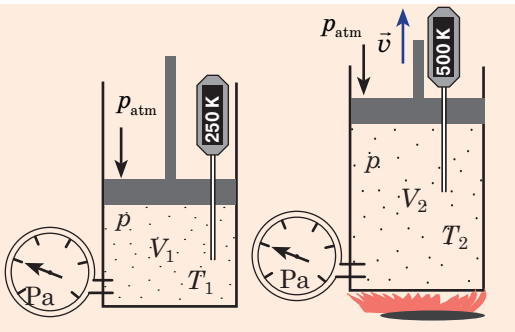


Fig. 30.4. Dilatarea izobară a gazului. Dacă gazul se află sub un piston greu cu masa M și aria S , care se poate deplasa practic fără frecare, atunci în cazul măririi temperaturii volumul gazului se va mări, iar presiunea gazului va rămâne constantă și egală cu $p = p_{\text{atm}} + Mg/S$

neschimbată (fig. 30.4). Atunci are loc egalitatea $\frac{pV_1}{T_1} = \frac{pV_2}{T_2}$.

După simplificare prin p vom obține: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$.

Legea lui Gay-Lussac*:

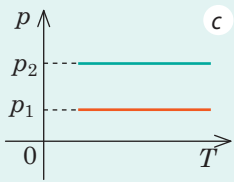
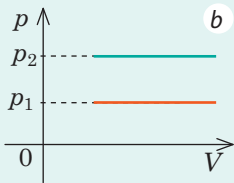
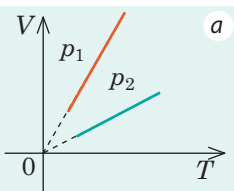
Pentru gazul dat de o anumită masă raportul volumului gazului către temperatură este constant, dacă presiunea gazului nu se schimbă:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \text{ sau } \frac{V}{T} = \text{const} = \frac{m}{M} \cdot \frac{R}{p}$$

Graficele proceselor izobare se numesc **izobare**.

După cum reiese din legea lui Gay-Lussac, la presiune constantă volumul gazului de masă dată este direct proporțional cu temperatura lui: $V = \text{const} \cdot T$. Graficul acestei dependențe în coordonatele V, T este o dreaptă, ce trece prin originea coordonatelor (fig. 30.5, a). Din grafic vedem, că cu apropierea de zero absolut volumul gazului ideal trebuie să scadă până la zero. Bineînțeles, că aceasta este imposibil, deoarece gazele reale la temperaturi joase se transformă în lichide. În coordonatele p, V și p, T izobarele sunt perpendiculare pe axele presiunii (fig. 30.5, b, c).

Fig. 30.5. Graficele procesului izobar. Cu cât este mai mare presiunea gazului, la care are loc procesul izobar ($p_2 > p_1$), cu atât mai mic volum ocupă gazul și cu atât mai jos este amplasată izobara



6 Procesul izocor. Legea lui Charles

Dacă un balon cu gaz se va încălzi tare la soare, atunci presiunea în el se va mări într-atât, că balonul poate se explodeze. Aici avem de afacere cu *procesul încălzirii izocore*.

Procesul izocor — procesul de schimbare a stării gazului dat de o masă oarecare, ce are loc la volum constant.

Există oare «dilatarea izocoră»?

Fie că un oarecare gaz trece din starea (p_1, V, T_1) în starea (p_2, V, T_2) , adică volumul gazului nu se schimbă

* Această lege a fost stabilită pe cale experimentală în anul 1802 de către fizicianul francez *Joseph Louis Gay-Lussac* (1778–1850).

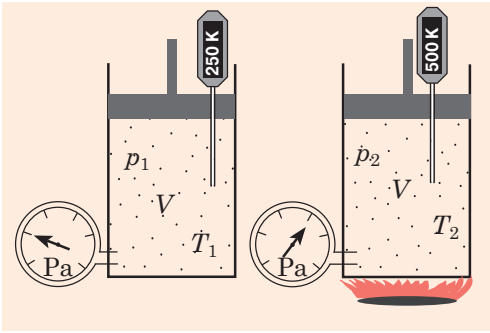


Fig. 30.6. Încălzirea izocoră a gazului. Dacă gazul se află într-un cilindru sub un piston fixat, atunci cu mărirea temperaturii presiunea gazului de asemenea crește. Experiența arată, că în orice moment de timp raportul presiunii gazului către temperatura lui va fi constant: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

(fig. 30.6). În acest caz are loc egalitatea $\frac{p_1 V}{T_1} = \frac{p_2 V}{T_2}$. După simplificare prin V avem: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$.

Legea lui Charles*:

Pentru gazul dat de o oarecare masă raportul presiunii gazului către temperatura lui este constant, dacă volumul gazului nu se schimbă:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}, \text{ sau } \frac{p}{T} = \text{const} = \frac{m}{M} \cdot \frac{R}{V}$$

Graficele proceselor izocore se numesc **izocore**.

Din legea lui Gay-Lussac reiese, că la volum constant presiunea gazului de masă dată este direct proporțională cu temperatura lui: $p = \text{const} \cdot T$. Graficul acestei dependențe în coordonatele p, T este o dreaptă, ce trece prin originea coordonatelor (fig. 30.7, a). În coordonatele p, V și p, T izocorele sunt perpendiculare pe axele volumului (fig. 30.7, b, c).

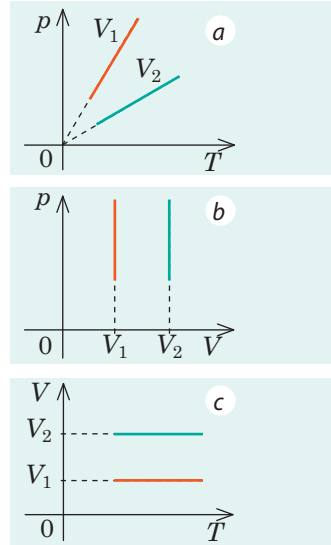


Fig. 30.7. Graficele procesului izocor: cu cât este mai mare volumul gazului ($V_2 > V_1$), cu atât mai mică este concentrația acestui gaz și cu atât el exercită o presiune mai mică

7 Ne învățăm a rezolva probleme

Problema 1. Într-un vas cilindric vertical sub un piston, care se deplasează ușor se conțin 2 moli de heliu și 1 mol de hidrogen molecular. Temperatura amestecului s-a mărit de 2 ori și tot hidrogenul s-a descompus în atomi. De câte ori s-a mărit volumul amestecului sub piston?

Se dă:
$v(\text{H}_2) = 1 \text{ mol}$
$v(\text{He}) = 2 \text{ mol}$
$\frac{T_2}{T_1} = 2$
$V_2/V_1 = ?$

Analiza problemei fizice. Amestecul de gaze se află sub un piston, care se deplasează ușor, de aceea presiunea amestecului nu se schimbă: $p_1 = p_2$, însă noi nu ne putem folosi de legea lui Boyle — Mariotte, doar în urma disocierii (descompunerii) masa molară și numărul de moli ai hidrogenului crește de 2 ori: $v(\text{H}) = 2v(\text{H}_2)$.
Rezolvarea. Ne vom folosi de ecuația de stare a gazului ideal: $pV = \nu RT$. Vom scrie aceste ecuații pentru stările amestecului de gaze până și după descompunere: $p_1 V_1 = \nu_1 R T_1$ (1); $p_2 V_2 = \nu_2 R T_2$ (2).

* Această lege a fost stabilită în anul 1787 savantul francez *Alexandre Cesar Charles* (1746–1823).

Împărțind ecuația (2) la ecuația (1) și luând în considerație, că $p_1 = p_2$, avem:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{v_2}{v_1} \cdot \frac{T_2}{T_1}, \text{ unde } v_1 = v(\text{H}_2) + v(\text{He}) = 1 \text{ mol} + 2 \text{ moli} = 3 \text{ moli};$$

$$v_2 = v(\text{H}) + v(\text{He}) = 2v(\text{H}_2) + v(\text{He}) = 2 \text{ moli} + 2 \text{ moli} = 4 \text{ moli}.$$

Aflăm valoarea mărimii căutate: $\frac{V_2}{V_1} = \frac{4}{3} \cdot 2 = \frac{8}{3}$.

Răspuns: de $\frac{8}{3}$ ori.

Problema 2. În fig. 1 este reprezentat graficul variației stării gazului ideal de masă constantă în coordonatele V, T . Reprezentați graficul acestui proces în coordonatele p, V și p, T .

Rezolvarea:

1. Din grafic (fig. 1) vom clarifica, care izoproces corespunde fiecărei porțiuni a lui; cunoscând legile, după care au loc aceste procese vom determina, cum în timpul izoproceselor variază parametrii macroscopici ai gazului.

Porțiunea 1—2: dilatare izotermică; $T = \text{const}$, $V \uparrow$, deci conform legii lui Boyle — Mariotte $p \downarrow$.

Porțiunea 2—3: încălzire izocoră; $V = \text{const}$, $T \uparrow$, deci conform legii lui Charles $p \uparrow$.

Porțiunea 3—1: răcire izobară; $p = \text{const}$, $T \downarrow$, deci conform legii lui Gay-Lussac $V \downarrow$.

2. Luând în vedere, că punctele 1 și 2 sunt situate pe o izotermă, punctele 1 și 3 — pe o izobară, iar punctele 2 și 3 pe o izocoră, și folosind rezultatele analizei vom construi graficul procesului în coordonatele p, V și p, T (fig. 2).

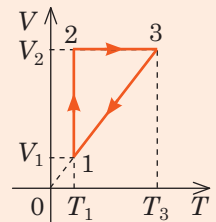


Fig. 1

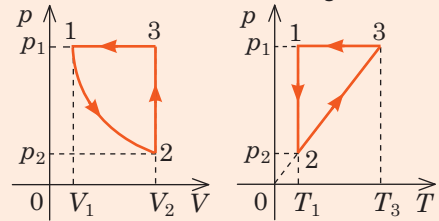


Fig. 2



Facem totalurile

• Din relația $p = nkT$ se pot obține un șir de legi foarte importante, stabilite la timpul său pe cale experimentală.

♦ Ecuația de stare a gazului ideal (ecuația Mendeleev — Clapeyron):

$$pV = \frac{m}{M} RT, \text{ unde } R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \text{ — constanta universală a gazelor.}$$

♦ Ecuația lui Clapyron: pentru o masă dată de gaz raportul dintre produsul presiunii și a volumului către temperatura gazului este constant:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, \text{ adică } \frac{pV}{T} = \text{const.}$$

• Izoproces — procesul, în timpul căruia unul dintre parametrii macroscopici ai unei mase oarecare de gaz rămâne neschimbat.

Procesul izotermic, $T = \text{const}$	Procesul izobar, $p = \text{const}$	Procesul izocor, $V = \text{const}$
Legea lui Boyle — Mariotte: $p_1 V_1 = p_2 V_2$	Legea lui Gay-Lussac: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	Legea lui Charles: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$



Întrebări de control

1. Care parametrii macroscopici leagă ecuația de stare a gazului ideal? **2.** Dați definiția izoprocesului. **3.** Care proces se numește izotermic? Formulați legea, ce caracterizează acest proces. **4.** Care proces se numește izobar? Formulați legea, care caracterizează acest proces. Descrieți experiența, cu ajutorul căreia poate fi stabilită această lege. **5.** Care proces se numește izocor? Formulați legea, care caracterizează acest proces. Descrieți experiența, cu ajutorul căreia poate fi stabilită această lege.



Exercițiul nr. 30

- Cum se va schimba presiunea gazului, dacă temperatura lui se va mări de 2 ori, iar volumul se va micșora de 4 ori?
- Determinați adâncimea iazului, dacă volumul bulei de aer în timpul ridicării de la fundul iazului la suprafața lui se mărește de 3 ori. Considerați presiunea atmosferică normală, neglijați variația temperaturii în balon.
- Înainte de călătorie șoferul a umflat anvelopele automobilului până la presiunea de 2 atm. În timpul călătoriei temperatura aerului în anvelope s-a mărit de la 17 până la 37 °C. Care a devenit presiunea în anvelope la sfârșitul călătoriei?
- Reprezentați procesele, expuse în graficele variației stării gazului ideal (fig. 1), în coordonatele: V, T și p, T (fig. 1, a); p, V și p, T (fig. 1, b); V, T și p, V (fig. 1, c).
- În fig. 2 este reprezentat graficul variației stării gazului ideal în coordonatele V, T . Se va schimba oare presiunea acestui gaz? Dacă se va schimba atunci cum?

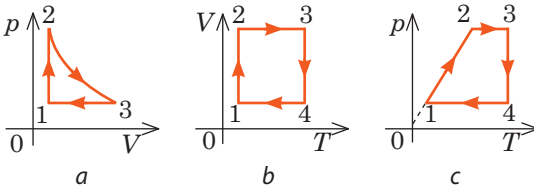


Fig. 1

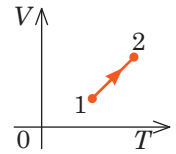


Fig. 2

- Deduceți legea lui Avogadro*: în volume egale de gaze la aceeași presiune și aceeași temperatură se conține același număr de molecule.
- Deduceți legea lui Dalton**: presiunea amestecului de gaze, care nu interacționează chimic unul cu altul este egală cu suma presiunilor parțiale*** ale acestor gaze: $p = p_1 + p_2 + \dots + p_m$.



Problemă experimentală

Chibzuiți și efectuați un șir de experiențe, care confirmă legile gazelor, folosind o pungă din hârtie de la lapte sau de la suc. De exemplu, dacă pungă goală, care s-a aflat la temperatura camerei se va pune în frigider, volumul aerului în pungă va scădea esențial (fig. 3).



Fig. 3

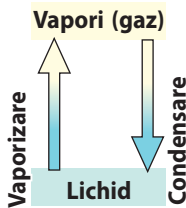
* *Legea lui Avogadro* a fost formulată în anul 1811 de către fizicianul și chimistul italian *Amadeo Avogadro* (1776–1856).

** *Legea lui Dalton* a fost formulată în anul 1801 de către fizicianul și chimistul englez *Josef Dalton* (1776–1844).

*** *Presiunea parțială* — presiunea, pe care ar fi creat-o gazul, ce intră în compoziția amestecului de gaze, dacă la aceeași temperatură el ar fi ocupat volumul, pe care-l ocupă amestecul.



§ 31. VAPORIZAREA ȘI CONDENSAREA. VAPORI SATURAȚI ȘI NESATURAȚI. FIERBEREA



Orice substanță în anumite condiții poate trece dintr-o stare de fază (de agregare) în alta. Hainele umede pot «îngheța», dar se pot și usca, vaporii de apă se pot aduna în picături de apă, formând ceața sau roua, dar se poate transforma și în brumă. Să ne amintim, în ce condiții are loc transformarea substanței din starea lichidă în starea gazoasă și invers.

1

Care sunt particularitățile evaporării lichidului

Procesul de trecere a substanței din starea lichidă în starea gazoasă se numește **vaporizare**.

Sunt două metode de trecere a lichidului în gaz: *evaporarea și fierberea*.

Evaporarea — aceasta-i procesul vaporizării de pe suprafața lichidului.

Din punctul de vedere al TCM vaporizarea — acesta-i procesul, când de pe suprafața lichidului zboară cele mai rapizi molecule. Într-adevăr, moleculele lichidului se mișcă neconținut (oscilează lângă pozițiile de echilibru, din când în când sar dintr-un loc în altul), dar forțele de atracție nu le permit să se despartă. Însă în lichid întotdeauna sunt molecule, energia cinetică a căroră de câteva ori depășește valoarea ei medie. Când aceste molecule «rapide» ajung la suprafața lichidului, energia lor este suficientă pentru aceea, ca învingând atracția moleculelor vecine să părăsească lichidul.

Cunoscând mecanismul evaporării, vom menționa câteva particularități ale lui.

1. În lichid totdeauna sunt molecule, care se mișcă repede, de aceea *evaporarea are loc la orice temperatură*. Cu cât este mai înaltă temperatura lichidului, cu atât mai multe molecule «rapide» sunt în el, de aceea odată *cu creșterea temperaturii viteza evaporării se mărește*. Deoarece lichidul îl părăsesc moleculele, energia cinetică a căroră este mai înaltă decât cea medie, atunci energia cinetică medie a moleculelor, ce rămân se micșorează, adică în lipsa schimbului de căldură *procesul de evaporare provoacă răcirea lichidului*.

2. *Evaporarea este însoțită de absorbția de energie*: energia se consumă pentru efectuarea lucrului împotriva forțelor de atracție intermoleculară și forțelor de presiune exterioară. Cu cât mai mică este presiunea asupra suprafeței libere a lichidului, cu atât mai repede lichidul se evaporă.

3. *Viteza evaporării se mărește odată cu mărirea ariei suprafeței libere a lichidului* (la suprafața lichidului vor fi mai multe molecule cu energie cinetică suficientă).

4. *Diferite lichide se evaporă cu viteză diferită* (spirtul se evaporă aproape momentan, apa — mai încet, iar picătura de mercur se va evapora cu anii, otrăvind aerul). Evident, că mai încet se evaporă acele lichide, moleculele căroră interacționează mai tare una cu alta.



Ce particularitate ale evaporării lichidelor ilustrează fiecare caz din [fig. 31.1?](#) Dați exemple.

2 Care vaporii se numesc saturați

Viteza evaporării depinde de asemenea de mișcarea aerului: părul se va usca mai repede, dacă va fi uscat cu feonul; băltoacele după ploaie dispar mai repede pe un timp cu vânt. Așa o dependență se explică ușor din punctul de vedere al mișcării termice a moleculelor. Lângă suprafața lichidului întotdeauna există «un nor» de molecule, care l-au părăsit, adică vaporii acestui lichid. Moleculele vaporilor se mișcă dezordonat, ciocnindu-se una cu alta și cu moleculele altor gaze.

Datorită difuziei și mișcării aerului unele molecule ale vaporilor se îndepărtează de la suprafața lichidului și deja niciodată nu se vor mai întoarce în el. Alte molecule, invers, pot fi situate atât de aproape de suprafața lichidului, încât «sunt captate» de către forțele de interacțiune intermoleculare și se reîntorc în lichid (vezi fig. 31.2). Dacă moleculele ce au părăsit lichidul nu s-ar fi reîntors, atunci viteza evaporării ar fi fost enormă. De exemplu, la temperatura camerei o căldare cu apă s-ar fi evaporat în mai puțin de o oră.

Astfel, pe lângă procesul de evaporare, în timpul căruia lichidul trece în vaporii, există și procesul invers, în timpul căruia substanța trece din starea gazoasă în cea lichidă.

Procesul trecerii substanței din starea gazoasă în cea lichidă se numește **condensare**.

Evaporarea este însoțită de absorbția de energie, iar în timpul condensării, invers, se degajă energie.

Să închidem cu capac un vas cu un anumit volum de lichid (fig. 31.2, b). Suprafața lichidului, ca și mai înainte vor părăsi-o moleculele «rapide», masa lichidului se va micșora, iar concentrația moleculelor de vaporii — se va mări. În același timp o parte din molecule se vor reîntoarce din vaporii în lichid. Totodată cu cât este mai mare concentrația vaporilor, cu atât mai intens va fi procesul de condensare. Foarte repede concentrația moleculelor vaporilor deasupra lichidului va deveni atât de înaltă, încât *numărul de molecule, care se întorc în lichid, va fi egal cu numărul de molecule, care în același timp părăsesc lichidul*, — între procesele de condensare și evaporare se va stabili **echilibrul dinamic**.

Vaporii, care se află în stare de echilibru dinamic cu lichidul său se numesc **vaporii saturați**.

Atrageți atenția! Concentrația moleculelor vaporilor saturați — concentrația maximă posibilă a moleculelor vaporilor la temperatura dată; vaporii, concentrația moleculelor cărora este mai mică, decât a celor saturați, se numesc vaporii nesaturați.



Fig. 31.1. Pentru însărcinarea din § 31.

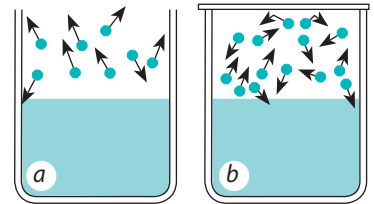


Fig. 31.2. Moleculele, ce au părăsit lichidul, se pot întoarce din nou în el în urma mișcării termice: a — vaporii de deasupra lichidului sunt nesaturați; b — vaporii de deasupra lichidului nu sunt saturați

Tabelul 1
 Presiunea vaporilor saturați
 la 20 °C

Substanța	Presiunea, mm c. Hg
Mercurul	0,0013
Apa	17,36
Cloroformul	160,5
Eterul	442,4
Clorul	5798 (7,36 atm)
Amoniacul	6384 (8,4 atm)

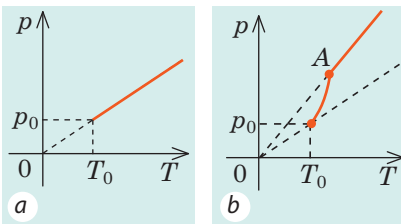


Fig. 31.3. Dependenta presiunii de temperatură: a — pentru gazul ideal; b — pentru vaporii saturați (punctul A corespunde evaporării totale a lichidului)

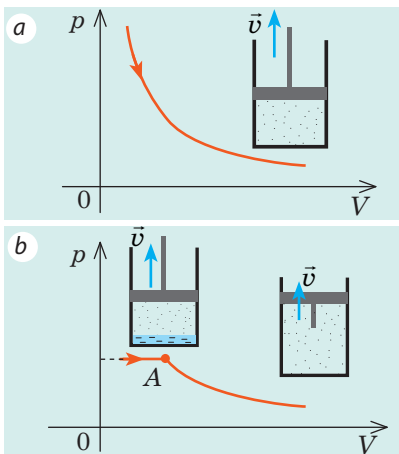


Fig. 31.4. Dependenta presiunii de volum: a — pentru gazul ideal; b — pentru vaporii saturați. Punctul A corespunde evaporării totale a lichidului; vaporii devin saturați și presiunea lor scade invers proporțional cu volumul

3 De ce factori depinde presiunea vaporilor saturați

Pentru vaporii saturați, ca și pentru orice gaz se îndeplinește egalitatea $p = nkT$.

Adică pentru temperatura dată T presiunea vaporilor saturați p este direct proporțională cu concentrația moleculelor lor n . Deoarece concentrația moleculelor vaporilor saturați depinde de natura lichidului, atunci și *presiunea vaporilor saturați depinde de natura lichidului (tab. 1)*. Cu cât sunt mai mari forțele interacțiunii intermoleculare, cu atât mai mică este concentrația moleculelor vaporilor saturați, așadar, cu atât mai mică este presiunea lor.

În afară de aceasta, *presiunea vaporilor saturați depinde de temperatură*. Cu mărirea temperaturii presiunea vaporilor saturați crește cu mult mai repede, decât presiunea gazului ideal (fig. 31.3). Chestia constă în aceea, că concomitent cu mărirea temperaturii se mărește și concentrația moleculelor vaporilor. Mărirea concomitentă a concentrației moleculelor și temperaturii cauzează creșterea bruscă a presiunii (fig. 31.3, b).

Atrageți atenția! Dacă mărirea temperaturii cauzează evaporarea totală a lichidului, atunci în continuare vaporii vor deveni saturați și presiunea lor va depinde liniar de temperatură.

*Presiunea, creată de către vaporii saturați este presiunea maximă, pe care o poate crea vaporii lichidului dat la temperatura dată. Dacă se va micșora volumul, pe care-l ocupă vaporii saturați, atunci pentru un interval mic de timp concentrația moleculelor vaporilor se va mări, echilibrul dinamic va fi încălcat și numărul de molecule, care revin în lichid va depăși numărul de molecule, care părăsesc suprafața lichidului. Condensarea va predomina asupra evaporării atâta timp, cât concentrația moleculelor vaporilor nu se va micșora până la concentrația moleculelor vaporilor saturați, iar presiunea nu va deveni egală cu presiunea vaporilor saturați. Cu mărirea volumului, pe care-l ocupă vaporii saturați, invers, va predomina procesul de evaporare și ca rezultat din nou se va stabili presiunea inițială. Astfel, spre deosebire de gazul ideal, *presiunea vaporilor saturați nu depinde de volumul lor (fig. 31.4)*.*

4 Cum și de ce fierbe lichidul

Dacă unui vas cu lichid i se va comunica o cantitate suficientă de căldură, temperatura lichidului se va mări, iar fundul și pereții vasului se vor acoperi cu bule*. Aceste bule conțin aer și vapori saturați, presiunea cărora va crește odată cu creșterea temperaturii. Cum numai presiunea gazului din interiorul bulei va depăși presiunea exterioară, bulele vor începe să-și mărească volumul (fig. 31.5, a). În sfârșit sub acțiunea forței Arhimede de împingere ele se vor desprinde de fundul vasului și vor începe să iasă la suprafață; în locul bulelor, ce s-au desprins va rămâne o cantitate mică de gaz — «germenii» bulelor noi (fig. 31.5, b).

În timp ce straturile superioare ale lichidului sunt puțin mai reci decât cele inferioare, în straturile superioare o parte din vaporii de apă în bule se condensează și bulele «crapă». Acest proces este însoțit de zgomot și de formarea numeroaselor bule mici de gaz — lichidul fierbe intens.

Când lichidul se va încălzi complet, bulele, ridicându-se își măresc volumul, doar în interiorul lor neconținut se evaporă lichidul (fig. 31.5, c). Ajungând la suprafața lichidului, bulele crapă, aruncând vaporii în atmosferă; lichidul în acest timp este agitat și clocotește — fierbe (fig. 31.5, d).

Fierberea — procesul de vaporizare, care are loc în întreg volumul lichidului și este însoțit de formarea și mărirea bulelor de vapori.

5 De care factori depinde temperatura de fierbere a lichidului

Continuând încălzirea lichidului, care deja a început să fiarbă, se poate observa, că în timpul fierberii temperatura lichidului nu se schimbă (fig. 31.6). Dacă se va mări cantitatea de căldură, care este comunicată lichidului, atunci se va mări cantitatea de bule, adică va crește intensitatea vaporizării. Astfel, în timpul fierberii

* În realitate microbulele gazului sunt prezente în lichid permanent, dar sunt vizibile numai la temperatură foarte înaltă. Chestia constă în aceea, că la începutul încălzirii lichidul este saturat de gazul, solubilitatea căruia scade odată cu mărirea temperaturii, «surplusul» de gaz se degajă în interiorul bulelor.

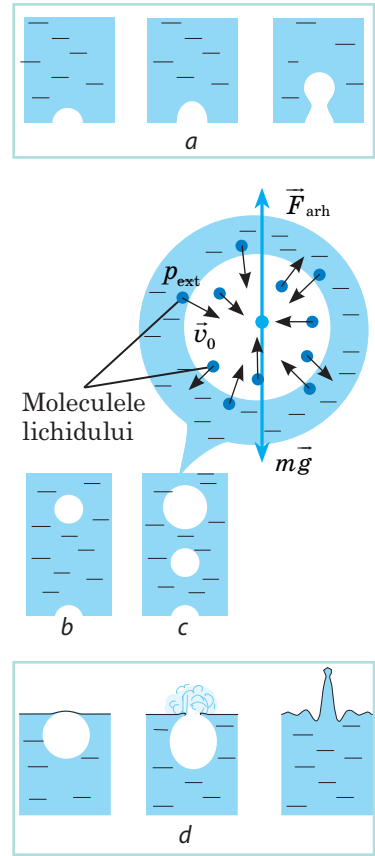


Fig. 31.5. Mecanismul fierberii lichidului

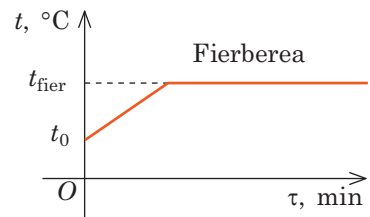


Fig. 31.6. Graficul dependenței temperaturii lichidului de timp

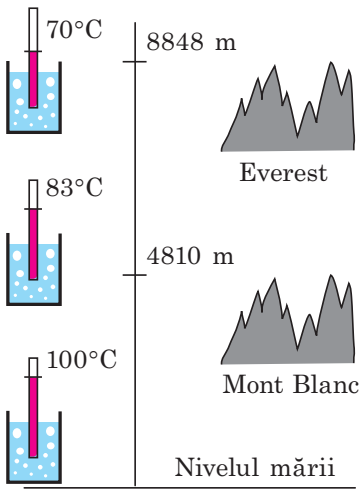


Fig. 31.7. Temperatura de fierbere la diferite înălțimi (și corespunzător — în condițiile presiunilor diferite)



Fig. 31.8. Încălzirea apei până la temperaturi înalte se efectuează în autoclave. La presiune de peste 100 de atmosfere temperatura de fierbere a apei crește până la 300 °C

Tabelul 2

Temperatura de fierbere a unor substanțe la presiune atmosferică normală

Substanța	$t_{\text{feirb.}}, \text{ }^\circ\text{C}$
Hidrogenul	-253
Eterul	35
Spirtul	78
Apa	100
Glicerina	290
Mercurul	357
Plumbul	1740

toată energia, ce se comunică se consumă pentru vaporizare.

Lichidul începe să fiarbă (bulele încep să-și mărească volumul) abia atunci, când presiunea gazului în bule (p_g) devine puțin mai mare decât presiunea în lichid (p_l). În bule se conține aer și vapori saturați, însă aer în ele e cu mult mai puțin, decât vapori de aceeași presiunea gazului în bule este aproximativ egală cu presiunea vaporilor saturați ($p_{v,s}$): $p_g \approx p_{v,s}$. Presiunea în lichid este compusă din presiune exterioară (presiunea de la suprafața lichidului) (p_{ext}) și presiune hidrostatică a coloanei de lichid (ρgh): $p_p = p_{\text{ext}} + \rho gh$. Dacă adâncimea vasului este mai mică decât un metru, atunci presiunea hidrostatică a lichidului poate fi neglijată, de aceea: $p_l \approx p_{\text{ext}}$.

Fierberea începe la temperatura, la care presiunea vaporilor saturați este puțin mai mare decât presiunea exterioară.

Cu cât este mai mică presiunea exterioară, cu atât lichidul fierbe la o temperatură mai joasă (fig. 31.7). Dacă se va turna într-o retortă apă și se va evacua aerul din retortă cu o pompă, atunci apa va fierbe chiar și la temperatura camerei. Și invers, dacă este necesar de mărit temperatura de fierbere a lichidului, el este încălzit în condițiile presiunii sporite (fig. 31.8).

Deoarece presiunea vaporilor saturați depinde de natura lichidului, atunci la una și aceeași presiune exterioară fiecare substanță are temperatura sa de fierbere (tab. 2). Cu cât mai mici sunt forțele de atracție intermoleculare în lichid, cu atât mai joasă este temperatura de fierbere.

Temperatura de fierbere a lichidului depinde de prezența în el a gazului dizolvat. Dacă de fiert mult timp apă și astfel de eliminat gazul dizolvat din ea, atunci mai o dată la presiune normală această apă va putea fi încălzită până la o temperatură de peste 100 °C. Așa o apă se numește *supraîncălzită*.



Facem totalurile

Procesul de trecere a substanței din starea lichidă în starea gazoasă se numește vaporizare. Vaporizarea are loc prin două metode: evaporarea și fierberea.

♦ Evaporarea — procesul de vaporizare de la suprafața lichidului. Pe lângă procesul de evaporare există și procesul de condensare — procesul de trecere a substanței din strea gazoasă în strea lichidă.

♦ Fierberea — procesul de vaporizare, care are loc în tot volumul lichidului și este însoțit de formarea și mărirea bulelor de vaporii. Fierberea începe la temperatura, la care presiunea vaporilor saturați în bule puțin depășește presiunea exterioară.

Dacă în unul și același timp numărul de molecule, ce au zburat de pe suprafața lichidului este egal cu numărul de molecule, care s-au reîntors în lichid, atunci lichidul și vaporii săi se află în stare de echilibru dinamic. Vaporii, care se află în stare de echilibru dinamic cu lichidul său se numesc vaporii saturați.

Întrebări de control



1. Ce este vaporizarea? Ce metode de vaporizare cunoașteți? 2. Ce se numește evaporare? Care sunt particularitățile evaporării? 3. De ce factori depinde viteza evaporării? De ce? Dați exemple. 4. Ce este condensarea? 5. În ce constă starea de echilibru dinamic? 6. Care vaporii se numesc saturați? 7. De ce factorii și de ce depinde presiunea vaporilor saturați? 8. Dați definiția fierberii și descrieți acest proces. 9. De ce factorii și de ce depinde temperatura de fierbere a lichidului? 10. De ce în timpul fierberii temperatura lichidului nu se schimbă?



Exercițiul nr. 31

1. De ce lichidul într-un vas deschis este puțin mai rece, decât aerul înconjurător?
2. Dați exemple de evaporare și condensare a apei în natură. Explicați aceste fenomene. Explicați circuitul de apă în natură.
3. Durata fierberii cărnii de la momentul începutului fierberii nu depinde de puterea încălzitorului. De ce? De ce într-o oală de gătit sub presiune carnea se fierbe cu mult mai repede?
4. De ce formarea ceții încetinește scăderea temperaturii aerului?
5. Se poate oare face prin fierbere să înghețe apa? Dacă se poate, atunci cum?
6. Va fierbe oare apa într-o oală, care plutește într-o oală cu apă fierbătoare?
7. Folosiți-vă de surse suplimentare de informații și aflați, de ce fenomene va fi însoțită încălzirea apei la o stațiune cosmică în condiții de imponderabilitate.



Probleme experimentale

1. Umpleți o seringă fără ac pe jumătate cu apă, astupați bine gaura și trageți brusc pistonul. Explicați fenomenele, pe care le observați.
2. Căldura specifică de vaporizare (L) poate fi măsurată destul de precis, cunoscând capacitatea termică specifică a lichidului (c) și având numai un termometru de cameră și un ceasornic.
Umpleți o oală nu prea mare cu apă la temperatura camerei, acoperiți-o cu un capac transparent și puneți-o pe aragaz (sau plita electrică). Măsurați timpul (τ_1) de încălzire a apei de la temperatura camerei (t_0) până la fierbere (t). După ce apa va începe să fiarbă, înlăturați capacul și fără a schimba puterea încălzitorului măsurați timpul (τ_2) de la începutul fierberii până la evaporarea totală a apei. Determinați căldura specifică de vaporizare a apei după formula:

$$L = c(t - t_0) \frac{\tau_2}{\tau_1}.$$



Încercați să obțineți formula reprezentată mai sus de sinestătător. Atrageți atenția asupra faptului, că puterea încălzitorului este constantă.

i
Ș 32. UMIDITATEA AERULUI. PUNCTUL DE ROUĂ


Se știe, că omul este compus 70% din apă, totodată nu toți bănuiesc, că un rol deosebit în viața omului îl joacă nivelul de umiditate a atmosferei. Însă noi simțim intuitiv, că de obicei aerul umed este folositor pentru sănătate, de aceea tindem să ne odihnim pe malul mării, râului, iazului. Să clarificăm, de ce factori depinde umiditatea aerului și cum ea poate fi schimbată.

Tabelul 1
Presiunea și densitatea vaporilor saturați

$t, ^\circ\text{C}$	$p_{v.s}, \text{kPa}$	$\rho_{v.s}, \text{g/m}^3$
0	0,61	4,8
2	0,71	5,6
4	0,81	6,4
6	0,93	7,3
8	1,07	8,3
10	1,23	9,4
12	1,40	10,7
14	1,60	12,1
16	1,81	13,6
18	2,07	15,4
20	2,33	17,3
22	2,64	19,4
24	2,99	21,8
26	3,36	24,4
28	3,79	27,2
30	4,24	30,3

1 Ce este umiditatea aerului

Aerul întotdeauna conține o anumită cantitate de vapori de apă. Conținutul vaporilor de apă în aer este caracterizat de *umiditatea absolută și relativă*.

Umiditatea absolută ρ_a — mărimea fizică, care caracterizează conținutul vaporilor de apă în aer și numeric este egală cu masa vaporilor de apă, ce se conține în 1 m^3 de aer:

$$\rho_a = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{V}$$

Unitatea de măsură a umidității absolute în SI — kilogram pe metru cub: $[\rho_a] = 1 \text{ kg/m}^3$ (kg/m^3).

De obicei umiditatea absolută se exprimă în g/m^3 . La latitudinile ecuatoriale ea poate atinge 30 g/m^3 , la polii Pământului scade până la $0,1 \text{ g/m}^3$.

Umiditatea relativă φ — mărimea fizică, care arată în ce măsură vaporii de apă sunt apropiați de saturație, și este egală cu raportul exprimat în procente dintre umiditatea absolută și densitatea vaporilor saturați la temperatura dată:

$$\varphi = \frac{\rho_a}{\rho_{v.s}} \cdot 100 \%$$

Densitatea vaporilor saturați ($\rho_{v.s}$) la temperatura dată — mărime constantă, de aceea ea este introdusă în tabele (tab. 1) sau se exprimă sub formă de grafice (fig. 32.1). *Atrageți atenția* asupra a două momente.

1. După temperatură și umiditatea relativă ușor se poate determina umiditatea absolută și masa vaporilor saturați în aer: $\rho_a = \rho_{v.s} \frac{\varphi}{100 \%}$; $m_{\text{H}_2\text{O}} = \rho_a \cdot V$.

De exemplu, măsurătorile au arătat, că în încăperea clasei cu volumul de 180 m^3 umiditatea relativă la temperatura de 22°C este egală cu 50%. Din tab. 1 aflăm: $\rho_{v.s}(22^\circ\text{C}) = 19,4 \text{ g/m}^3$. Atunci: $\rho_a = \rho_{v.s} \frac{\varphi}{100\%} = 19,4 \text{ g/m}^3 \cdot 0,5 = 9,7 \text{ g/m}^3$; $m_{\text{H}_2\text{O}} = \rho_a \cdot V = 9,7 \text{ g/m}^3 \cdot 180 \text{ m}^3 = 1746 \text{ g} \approx 1,7 \text{ kg}$.

2. Densitatea vaporilor saturați este direct proporțională cu presiunea lor parțială p_a ($\rho_a = \frac{p_a M}{RT}$) și concentrația n_a a moleculelor vaporilor ($\rho_a = m_0 n_a$),

de aceea umiditatea relativă poate fi aflată din

$$\varphi = \frac{\rho_a}{\rho_{v.s}} \cdot 100\% ; \quad \varphi = \frac{n_a}{n_{v.s}} \cdot 100\% .$$

2 Пункт де rouă

Analiza graficului din fig. 32.1, *a* arată, că umiditatea relativă a aerului poate fi mărită, măbind umiditatea absolută a aerului, adică măbind masa vaporilor de apă în aer. Dacă la bucătărie va fierbe apa mult timp, atunci umiditatea relativă a aerului poate atinge 100 %.

Умидitatea relativă în bucătărie se va mări, dacă se va micșora temperatura aerului (fig. 32.1, *b*). La temperatura t_p (în punctul *B*) vaporii devin saturați (umiditatea relativă a aerului este egală cu 100 %). În continuare micșorarea nesemnificativă a temperaturii va aduce la aceea, că surplusul de vaporii de apă se vor condensa și vor cădea sub formă de ceață. Așa sub dimineață, pe iarbă cade roua, iar deasupra suprafeței lacurilor se formează ceață.

Temperatura, la care vaporii de apă, ce se conțin în aer devin saturați se numește **пункт де rouă** t_p .

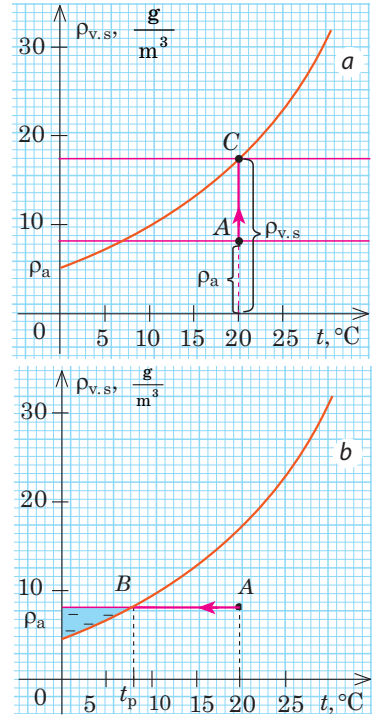


Fig. 32.1. Graficele dependenței $\rho_{v.s}(t)$ — densității vaporilor saturați de temperatură; ρ_a — umiditatea absolută

Cunoscând punctul de rouă, se pot determina umiditățile absolută și relativă ale aerului. De exemplu, temperatura în încăperea este $t = 24^\circ\text{C}$, iar pereții unui vas metalic cu apă, care este situat în această încăperea au început să se acopere cu apă la temperatura apei de $t = 16^\circ\text{C}$, adică la această temperatură vaporii au devenit saturați ($t = t_p$). Aceasta înseamnă, că $\rho_a = \rho_{v.s}(16^\circ\text{C}) = 13,6 \text{ g/m}^3$ (vezi tab. 1).

Deoarece $\varphi = \frac{\rho_a}{\rho_{v.s}} \cdot 100\%$, iar $\rho_{v.s}(24^\circ\text{C}) = 21,8 \text{ g/m}^3$, atunci $\varphi = \frac{13,6}{21,8} \cdot 100\% = 62,4\%$.

3 Cum de măsurat umiditatea aerului

Aparatele pentru măsurarea directă a umidității aerului se numesc higrometre. Există câteva feluri de higrometre, însă cele mai utilizate — cu fir de păr și psihometric. Principiul de lucru al *higrometrului cu fir de păr* (fig. 32.2) se bazează pe proprietatea firului de păr degresat de a-și mări lungimea sa odată cu mărirea umidității aerului. Pe timp de iarnă higrometrul cu fir de păr este aparatul principal pentru măsurarea umidității aerului afară.

Cel mai des este aplicat *higrometrul psihometric — psihometru.* Acțiunea acestui aparat se bazează pe doi factori: 1) viteza evaporării lichidului este cu atât mai mare, cu cât este mai joasă umiditatea relativă a aerului; 2) lichidul în timpul evaporării se răcește. Psihometrul este compus din două

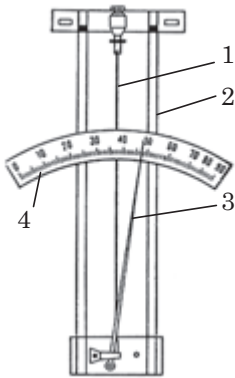


Fig. 32.2. Structura higrometrului cu fir de păr: firul de păr 1 este întins pe un cadru metalic 2; variația lungimii firului se transmite acului 3, care se deplasează de-a lungul scalei 4

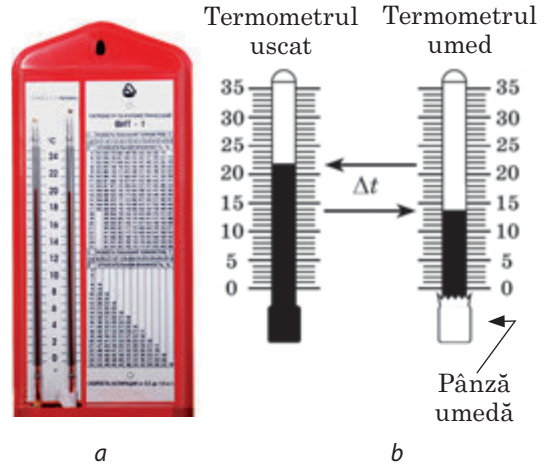


Fig. 32.3. Higrometrul psihrometric: a — aspectul; b — structura

termometre — uscat, care măsoară temperatura mediului înconjurător, și umed — retorta lui este învelită cu pânză, capătul căreia este situat într-un vas cu apă (fig. 32.3). Apa din pânză se evaporă și termometrul umed indică o temperatură mai joasă decât cel uscat. Cu cât este mai joasă umiditatea relativă a aerului, cu atât mai repede se evaporă lichidul și cu atât mai mare este diferența dintre indicațiile termometrelor uscat și umed.

Umiditatea relativă se determină cu ajutorul *tabelului psihrometric* (tab. 2). De exemplu, termometrul uscat indică 15 °C, iar cel umed 10 °C; diferența de temperaturi $\Delta t = 15\text{ °C} - 10\text{ °C} = 5\text{ °C}$. Din tab. 2 vedem, că $\varphi = 52\%$.

? Care este umiditatea relativă, dacă ambele termometre ale psihrometrului indică aceeași temperatură?

Tabelul 2

Tabelul psihrometric

Indicațiile termometrului uscat t , °C	Diferența dintre indicațiile termometrelor uscat și umed Δt , °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Umiditatea relativă φ , %										
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33

4 De ce trebuie urmărită umiditatea aerului

Omul se simte bine la o umiditate a aerului de 50–60 %. Pentru sănătatea lui este dăunător atât aerul foarte uscat cât și cel foarte umed. Umiditatea sporită ajută la înmulțirea diferitelor ciuperci patogene; în aerul uscat omul repede obosește, îl zgârie în gât, se usucă buzele, pielea devine uscată etc. Dacă aerul este suprauscat, atunci praful, nefiind legat de umiditate zboară prin toată încăperea și acest lucru este periculos pentru oamenii, care suferă de alergii. Umiditatea insuficientă duce la pieirea plantelor de cameră sensibile la nivelul de umiditate; crăpături în obiectele din lemn, dereglarea instrumentelor muzicale — de asemenea este rezultatul umidității insuficiente a aerului.

Umiditatea aerului e important de o luat în considerație în industria țesutului, a produselor de cofetărie și alte industrii; în timpul păstrării cărților și tablourilor; în tratarea multor boli etc.



Facem totalurile

Mărimile fizice, ce caracterizează umiditatea aerului

Umiditatea absolută — densitatea vaporilor de apă, ce se conțin în aer:

$$\rho_a = \frac{m_{H_2O}}{V}; [\rho_a] = 1 \text{ g/m}^3.$$

Umiditatea relativă este egală cu raportul dintre umiditatea absolută și densitatea vaporilor saturați la temperatura dată exprimat în procente: $\varphi = \frac{\rho_a}{\rho_{v.s}} \cdot 100\%$.

- Aparatele pentru măsurarea umidității se numesc higrometre.
- Temperatura, la care umiditatea relativă a aerului atinge 100 %, adică vaporii de apă din aer devin saturați, se numește punct de rouă.



Întrebări de control

1. Dați caracteristicile umidităților relativă și absolută ca mărimi fizice. 2. Cum poate fi mărită umiditatea relativă? 3. Ce aparate pentru determinarea umidității aerului voi cunoașteți? Descrieți construcția și principiul de lucru pentru fiecare dintre ele. 4. Ce se numește punct de rouă? Cum poate fi determinată, cunoscând punctul de rouă, umiditatea absolută? umiditatea relativă?



Exercițiul nr. 32

1. De ce pe țeava cu apă rece se formează picături de apă?
2. De ce omul mai ușor suportă arșița, dacă aerul este uscat?
3. De ce pe timp de iarnă, când funcționează încălzirea aerul în cameră este destul de uscat? Ce trebuie de făcut pentru a menține o umiditate optimă a aerului?
4. Pe peretele unei încăperi, volumul căreia este de 100 m^3 atârână un psihrometru (vezi fig. 32.3). Determinați umiditățile relativă și absolută ale aerului în încăpere. Care este masa vaporilor de apă în încăpere? Ce masă de aer trebuie de evaporat pentru a mări umiditatea până la 50 %?
5. Folosiți-vă de surse suplimentare de informații și aflați, când și de ce trebuie de mărit (micșorat) umiditatea aerului.



Probleme experimentale

«Higrometrul». Folosind un borcan metalic cu apă, un termometru cu spirt și bucățele mici de gheață, determinați umiditatea aerului în camera voastră.

1. Măsurați temperatura aerului în cameră.
2. Scufundați termometrul în apă și treptat răciți-o, adăugând bucățele de gheață. Urmăriți suprafața borcanului: cum numai el se va tulbura (vor apărea picături foarte mici de apă, adică temperatura suprafeței borcanului va atinge punctul de rouă), măsurați temperatura apei ($t_{\text{rouă}}$).
3. Folosind tab. 1 din § 32, determinați umiditățile absolută și relativă ale aerului în cameră: $\rho_a = \rho_{v,s}$

$$(t_{\text{rouă}}); \varphi = \frac{\rho_a}{\rho_{v,s}} \cdot 100\% .$$



i

§ 33. TENSIUNEA SUPERFICIALĂ A LICHIDULUI. UMEZIREA. FENOMENE CAPILARE



Unele specii de păianjeni se pot deplasa pe suprafața apei fără să se scufunde, parcă această suprafață ar fi acoperită cu o peliculă subțire. Aceeași senzație apare, dacă se urmărește scurgerea apei printr-un orificiu subțire, — apa curge nu sub formă de un jet, ci formează picături. Un șervețel din hârtie absoarbe apa, cum numai te atungi de suprafața ei. deci ce forță este cauza acestor fenomene?

1

Ce particularități are stratul superficial al lichidului

La suprafața liberă a lichidului moleculele se află în condiții deosebite, care se deosebesc de condițiile, în care se află moleculele din interiorul lichidului. Să examinăm două molecule A și B (fig. 33.1): molecula A se află în interiorul lichidului, iar molecula B — la suprafața lui. Molecula A este înconjurată de alte molecule ale lichidului uniform, de aceea forțele, ce acționează asupra moleculei A din partea moleculelor, care nimeresc în sfera intercațiunii intermoleculare sunt compensate, adică rezultanta lor este egală cu zero.

Molecula B dintr-o parte este înconjurată de moleculele lichidului, iar din altă parte — de moleculele gazului. Deoarece din lichid asupra ei acționează cu mult mai multe molecule, decât din gaz, atunci rezultanta forțelor \vec{F} a interacțiunii intermoleculare este orientată în adâncul lichidului. Pentru ca molecula din interiorul lichidului să ajungă în stratul superficial trebuie de efectuat un lucru împotriva forțelor intermoleculare necompensate. Aceasta înseamnă, că *moleculele stratului superficial al lichidului* (comparativ cu moleculele din interiorul lichidului) *au un surplus de energie potențială*. Acest surplus de energie este o componentă a energiei lichidului și se numește energie superficială (W_{sup}).

Evident, că cu cât mai mare este aria suprafeței S a lichidului cu atât mai mare este energia: $W_{\text{sup}} = \sigma S$, unde σ (sigma) — coeficient de proporționalitate, care se numește *tensiune superficială a lichidului*.

Tensiunea superficială a lichidului — mărimea fizică, care caracterizează lichidul dat și este egală cu raportul energiei superficiale către aria suprafeței lichidului:

$$\sigma = \frac{W_{\text{sup}}}{S}$$

Unitatea de măsură a tensiunii superficiale în SI — newton pe metru:

$$[\sigma] = 1 \frac{\text{J}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}} \right).$$

Tensiunea superficială a lichidului este determinată de forțele interacțiunii intermoleculare, de aceea ea depinde de:

1) *natura lichidului*: la lichidele volatile (eter, spirt, benzină) tensiunea superficială este mai mică, decât la cele nevolatile (mercur, metale lichide);

2) *de temperatura lichidului*: cu cât este mai înaltă temperatura lichidului, cu atât mai mică este tensiunea superficială a lichidului;

3) *de prezența în componența lichidului a substanțelor superficiale active*: prezența lor scade considerabil tensiunea superficială;

4) *de proprietățile gazului, cu care lichidul se mărginește*. În tabele de obicei sunt indicate tensiunile superficiale la limita lichidului și aerului la o anumită temperatură (tab. 1).

2 Forța de tensiune superficială

Deoarece stratul de la suprafața lichidului are un surplus de energie potențială ($W_{\text{sup}} = \sigma S$), iar orice sistem tinde către energie potențială minimă, atunci suprafața liberă a lichidului tinde să-și micșoreze aria sa (să se restrângă). Adică de-a lungul suprafeței lichidului acționează forțe, ce tind să contracteze această suprafață. Aceste forțe se numesc *forțe de tensiune superficială*.

Prezența forțelor de tensiune superficială face suprafața lichidului asemănătoare cu o peliculă de cauciuc, însă forțele elastice ale peliculei de cauciuc depind de aria suprafeței ei (adică de aceea, cu cât pelicula este deformată), iar suprafața lichidului este întotdeauna «întinsă» la fel, adică forțele de tensiune superficială nu depind de aria suprafeței lichidului.

Existența forțelor de tensiune superficială poate fi dedusă pe cale experimentală cu ajutorul unui astfel de experiment. Dacă un cadru de sârmă cu

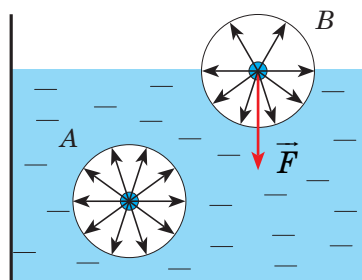


Fig. 33.1. Pentru introducerea noțiunii de tensiune superficială a lichidului

Tabelul 1

Tensiunea superficială σ a unor lichide

Lichidul	$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma, \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$
Apă (curată)	20	0,0728
Soluție de săpun	20	0,040
Spirt	20	0,0228
Eter	25	0,0169
Mercur	20	0,4650
Aur	1130	1,102
Hidrogen	-253	0,0021
Helium	-269	0,00012

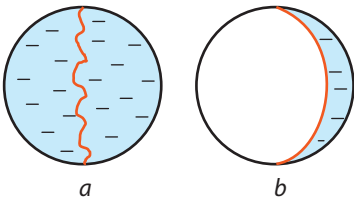


Fig. 33.2. Experiență, ce demonstrează prezența forțelor de tensiune superficială

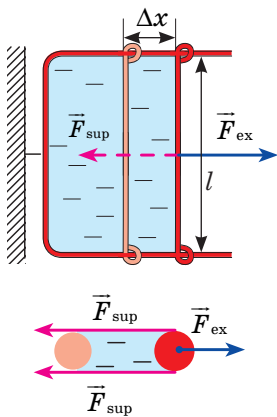


Fig. 33.3. Asupra barei transversal acționează trei forțe \vec{F}_{ext} și două forțe de tensiune superficială (\vec{F}_{sup}), ce acționează de-a lungul fiecăreia dintre două suprafețe ale peliculei: $\vec{F}_{\text{ext}} = 2\vec{F}_{\text{sup}}$



Fig. 33.4. Moneda se menține pe suprafața apei datorită forței de tensiune superficială (pentru a efectua așa o experiență, moneda trebuie ținută între degete și cu precauție lăsată pe suprafața apei).

un fir de ață legat de el se va scufunda în soluție de săpun, cadrul se va acoperi cu o peliculă de săpun, dar firul va obține o formă arbitrară (fig. 33.2, a). Dacă însă se va sparge atent cu acul pelicula de săpun dintr-o parte a firului, forța de tensiune superficială a soluției de săpun, care acționează din altă parte a firului va întinde firul (fig. 33.2, b).

Să scufundăm în soluția de săpun un cadru de sârmă, o latură a căruia este mobilă. Pe cadru se va forma o peliculă de săpun (fig. 33.3). Vom întinde această peliculă, acționând asupra barei transversale (laturii mobile a cadrului) cu o anumită forță F_{ext} . Dacă sub acțiunea acestei forțe bara transversală se va deplasa cu Δx , atunci forțele exterioare vor efectua lucrul

$$A = F_{\text{ext}} \Delta x = 2F_{\text{sup}} \Delta x.$$

Pe contul efectuării acestui lucru ariile ambelor suprafețe ale peliculei se vor mări, și deci se va mări și energia superficială:

$$A = \Delta W_{\text{sup}} = \sigma \Delta S = \sigma \cdot 2l \Delta x,$$

unde $\Delta S = 2l \Delta x$ — mărirea ariei a două suprafețe a peliculei de săpun. Comparând părțile drepte ale egalităților obținute, avem: $2F_{\text{sup}} \Delta x = \sigma \cdot 2l \Delta x$, sau:

$$F_{\text{sup}} = \sigma \cdot l.$$

Astfel, *tensiunea superficială σ este numeric egală cu forța de tensiune superficială F_{sup} , care acționează asupra unității de lungime l a liniei, ce mărginește suprafața:*

$$\sigma = \frac{F_{\text{sup}}}{l}.$$

Cu una dintre metodele de determinare a tensiunii superficiale a lichidului (metoda picăturilor) voi veți face cunoștință efectuând lucrarea de laborator nr. 7.

3 Unde se manifestă tensiunea superficială

În viața de toate zilele voi permanent vă întâlniți cu manifestările forțelor de tensiune superficială. Așa, datorită lor pe suprafața apei se mențin obiectele ușoare (fig. 33.4) și unele specii de insecte (vezi des. de la începutul § 33). Când vă scaldați și vă scufundați cu totul în apă, părul vostru se împrăștie în toate direcțiile,

dar cum numai ieșiți la suprafață, părul se lipește, deoarece în acest caz aria suprafeței libere a apei este cu mult mai mică, decât în cazul amplasării separate a fiecărui fir. Din aceeași cauză se pot construi diferite figuri din nisip umed: apa, înfășurând firicelele de nisip, le strânge unul de altul.

Prin tinderea lichidului de a-și micșora suprafața se explică și acel fapt, că în condiții de imponderabilitate apa ia formă sferică, — la volumul dat formei sferice îi corespunde cea mai mică arie a suprafeței. Formă sferică obțin și peliculele subțiri de săpun (bulele de săpun). Prin tensiunea superficială se explică formarea spumei: bula de gaz, ajungând la suprafața lichidului, formează deasupra sa un strat subțire de lichid; dacă bula este mică, atunci forța arhimedică este insuficientă, pentru a sparge stratul dublu dela suprafață și bula este stopată în apropierea suprafeței. Datorită tensiunii superficiale lichidul nu se scurge dintr-un orificiu mic sub formă de un jet subțire, ci picură (fig. 33.5), ploaia nu se scurge prin pânza umbrelei sau a cortului etc.

❓ Dați alte exemple de manifestare a tensiunii superficiale a lichidelor.

4 De ce unele lichide se adună în picături, iar altele se răspândesc

Prezența forțelor de tensiune superficială se observă și în picăturile sferice mărunte de rouă, în picăturile de apă, ce fug pe plita fierbinte, în picăturile de mercur pe suprafața sticlei. Însă în cazurile ciocnirii cu un corp solid forma sferică a picăturii de obicei nu se păstrează. Forma suprafeței libere a lichidului depinde de forțele de interacțiune a moleculelor lichidului cu moleculele corpului solid.

Dacă forțele de interacțiune dintre moleculele lichidului sunt mai mari, decât forțele de interacțiune dintre moleculele lichidului și a corpului solid, lichidul nu umezește suprafața corpului solid (fig. 33.6). De exemplu, mercurul nu umezește sticla, iar apa nu umezește suprafața acoperită cu funingine.

Dacă însă picătura de mercur se va pune pe o placă de zinc, atunci picătura va tinde să se răspândească pe suprafața plăcii; la fel se comportă și picătura de apă pe sticlă (fig. 33.7). *Dacă forțele de interacțiune dintre moleculele lichidului sunt mai mici, decât forțele de interacțiune dintre moleculele lichidului și a corpului solid, lichidul umezește suprafața corpului solid.*

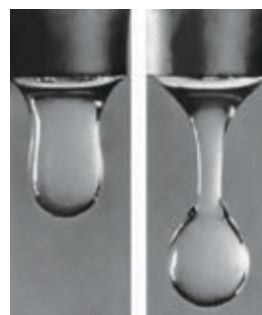


Fig. 33.5. Picătura se menține lângă orificiul mic până atunci, până când forța de tensiune superficială nu va echilibra forța de greutate



Fig. 33.6. Picătura lichidului ce nu umezește primește forma apropiată a celei sferice, iar suprafața lichidului în apropierea peretelui vasului este convexă

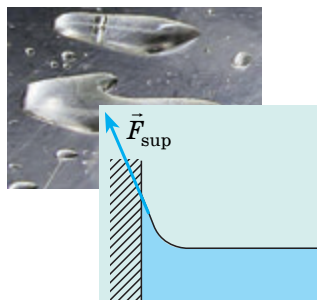


Fig. 33.7. Picătura lichidului ce umezește tinde să se întindă pe suprafața corpului solid, iar în apropierea peretelui vasului suprafața lichidului primește formă concavă

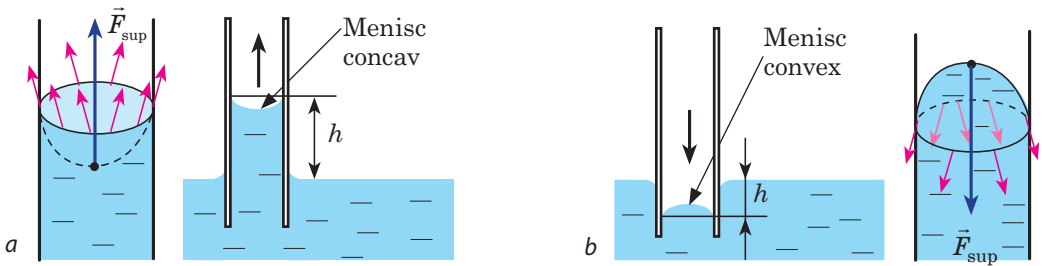


Fig. 33.8. Fenomene capilare: *a* — lichidul, care umezește urcă în capilar; *b* — lichidul care nu umezește coboară în capilar

5 De ce lichidul urcă în capilare

În natură deseori se întâlnesc corpuri, străpuse de numeroase capilare mărunte (din lat. *capillarius* — de fibre) — canale înguste de formă arbitrară. Așa o structură au hârtia, lemnul, solul, multe țesături și materiale de construcție.

În capilarele cilindrice suprafața curbată a lichidului reprezintă în sine o parte din sferă, care se numește *menisc*. În lichidul, care umezește se formează un menisc *concav* (fig. 33.8, *a*), iar în ce ce nu umezesc — *convex* (fig. 33.8, *b*). Suprafața lichidului tinde la minimul energiei potențiale, iar suprafața curbată are o suprafață mai mare în comparație cu suprafața transversală a capilarului, de aceea suprafața lichidului tinde să se îndrepte și sub ea apare o *presiune suplimentară (negativă sau pozitivă)* — *presiunea Laplace* (p_{supl}).

Sub suprafața concavă (lichidul umezește capilarul) presiunea totală este mai mică decât presiunea pe suprafața lichidului și lichidul este tras în capilar, ridicându-se la o înălțime destul de mare. Așa urcă apa și substanțele nutritive în tulpinile plantelor, petrolul lampant în fire, apa în capilarele solului. În urma presiunii capilare șervețelele sau pânza absorb apa, pantalonii pe timp ploios se udă tare de jos etc.

Sub suprafața convexă (lichidul nu umezește capilarul) presiunea este mai mare decât presiunea exterioară și lichidul în capilar coboară.

Cu cât mai mică este raza capilarului, cu atât mai mare este înălțimea de ridicare (sau coborâre) a lichidului (vezi mai jos exemplul de rezolvare a problemei).

6 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. Un tub capilar cu raza r a fost introdus cu unul din capete în lichidul, ce umezește suprafața interioară a capilarului. La ce înălțime va urca lichidul în capilar, dacă densitatea lichidului este ρ , iar tensiunea superficială a lui σ ? Cu ce este egală presiunea Laplace sub suprafața concavă a capilarului? Considerați umezirea totală.

Дано:

r

ρ

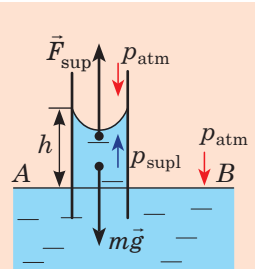
σ

g

h — ?

p_{supl} — ?

Analiza problemei fizice. Asupra lichidului în capilar acționează forța de greutate și forța de tensiune superficială (\vec{F}_{sup}) (vezi des.). În cazul umezirii totale \vec{F}_{sup} este orientată vertical în sus (după tangenta la suprafața meniscului). Urcarea lichidului în capilar va dura atâta timp, cât forța de greutate a coloanei de lichid ce a urcat nu va echilibra forța de tensiune superficială: $mg = F_{\text{sup}}$ (*), unde m — masa lichidului.



Căutarea modelului matematic, rezolvarea

Deoarece $m = \rho V$, iar volumul cilindriului $V = \pi r^2 h$, atunci $m = \rho \pi r^2 h$.

$F_{\text{sup}} = \sigma l$, unde $l = 2\pi r$ (lungimea circumferinței), deci, $F_{\text{sup}} = \sigma 2\pi r$.

Înlocuim expresiile pentru m , F_{sup} în egalitatea (*): $\rho \pi r^2 h g = \sigma 2\pi r$, de unde $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$.

Pentru determinarea presiunii Laplace p_{supl} de sub suprafața meniscului ne vom folosi de legea lui Pascal: într-un lichid omogen imobil presiunea la același nivel (la noi — la nivelul AB) — este aceeași, adică:

$$p_{\text{atm}} + \rho g h - p_{\text{supl}} = p_{\text{atm}} \Rightarrow p_{\text{supl}} = \rho g h = \rho g \cdot \frac{2\sigma}{\rho g r} = \frac{2\sigma}{r} = \frac{2\sigma}{R},$$

unde R — raza curburii meniscului (la umezire totală $r = R$).

Răspuns: (Aceste concluzii trebuie memorizate!)

♦ Înălțimea de urcare a lichidului în capilar este direct proporțională cu tensiunea superficială a lichidului și invers proporțională cu densitatea lichidului și raza capilarului:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}.$$

♦ Presiunea Laplace (presiunea suplimentară) sub suprafața sferică a meniscului este direct proporțională cu tensiunea superficială a lichidului și invers proporțională cu raza de curbură a meniscului:

$$p_{\text{supl}} = \frac{2\sigma}{R}.$$

**Facem totalurile**

• Moleculile stratului superficial al lichidului au un surplus de energie potențială în comparație cu moleculele, ce se află în interiorul lichidului; această energie se numește energie superficială.

• Mărimea fizică, care caracterizează lichidul și este egală cu raportul energiei superficiale către aria suprafeței lichidului se numește tensiune superficială

a lichidului: $\sigma = \frac{W_{\text{sup}}}{S}$. Tensiunea superficială de asemenea este egală cu forța, care acționează asupra unei unități de lungime a liniei, ce mărginește suprafața lichidului: $\sigma = \frac{F_{\text{sup}}}{l}$. Unitatea de măsură a tensiunii superficiale în SI — newton pe metru (N/m).

• Sub suprafața curbată a lichidului apare o presiune suplimentară (negativă sau pozitivă), care este direct proporțională cu tensiunea superficială a lichidului și invers proporțională cu raza de curbură a meniscului: $p_{\text{supl}} = \frac{2\sigma}{R}$.

Datorită acestei presiuni lichidul urcă în capilarele, pe care le umezește, și coboară în capilarele, pe care nu le umezește. Înălțimea de urcare (coborâre)

a lichidului în capilar: $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$.

**Întrebări de control**

1. Care sunt particularitățile stării moleculelor stratului superficial al lichidului?
2. Ce se numește energie superficială?
3. De ce lichidul tinde să obțină formă sferică?
4. Dați două definiții ale tensiunii superficiale a lichidului.
5. De ce factori și de ce depinde tensiunea superficială a lichidului? de ce factori nu depinde?
6. În ce condiții lichidul umezește suprafața corpului solid? nu umezește?
7. În ce constă pricina presiunii Laplace? Cu ce ea este egală?
8. De ce factori depinde înălțimea de urcare a lichidului în capilar?
9. Dați exemple de fenomene capilare.



Exercițiul nr. 33

1. De ce firele periei se lipsesc după ce ea este scoasă din apă?
2. În capilar apa urcă cu 0,5 m. Determinați diametrul mediu al capilarului.
3. Determinați presiunea suplimentară în interiorul balonului de săpun cu raza de 5 cm. (Trebuie de ținut minte, că în balonul de săpun sunt două suprafețe.)
4. Un inel subțire din aluminiu cu raza de 7,8 cm și masa de 7 g se atinge de o soluție de săpun. Pentru a rupe inelul de pe suprafața soluției, trebuie de depus un efort de 0,11 N. Determinați tensiunea superficială a soluției de săpun.
5. Ce cantitate de energie se degajă în timpul unirii picăturilor de mercur cu raza de 0,2 mm într-o picătură mare cu raza de 2 mm? Aria sferei este egală cu $4\pi r^2$, volumul sferei — $\frac{4}{3}\pi r^3$.
6. Cum credeți voi, unde în practică trebuie de mărit umezirea? În ce cazuri ea merită să fie micșorată? Folosiți-vă de surse suplimentare de informații și aflați, care substanțe se folosesc pentru mărirea umezirii. Care metode se folosesc pentru micșorarea umezirii?



Problemă experimentală

Puneți pe suprafața apei un chibrit. Pe unul dintre capetele chibritului cu precauție adăugați o picătură de soluție de săpun. Explicați comportarea chibritului de mai departe. Determinați modulul și direcția forței, care va acționa asupra chibritului.

§ 34. STRUCTURA ȘI PROPRIETĂȚILE CORPURILOR SOLIDE. ANIZOTROPIA CRISTALELOR. CRISTALE LICHIDE



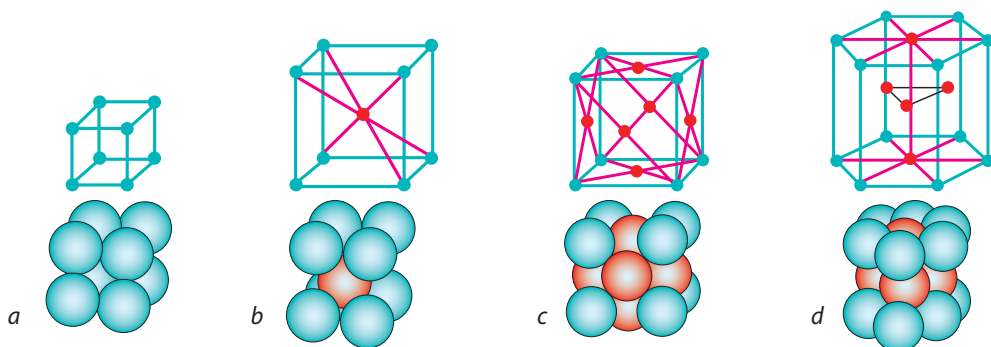
Majoritatea substanțelor pe suprafața Pământului se află în stare solidă. Banca, la care voi lucrați, creionul, pe care-l țineți în mână, oasele mâinii voastre — toate acestea sunt corpuri solide. Conversația despre aceea, cum sunt amplasate moleculele în corpurile solide și ce proprietăți au corpurile solide în urma unei asemenea amplasări o vom continua în acest paragraf.

1 Amorfe — deci nu au formă? Oare așa e?

Voi deja știți, că după structură corpurile amorfe sunt foarte apropiate de lichide. Moleculele, atomii, ionii corpurilor amorfe în general sunt amplasate haotic și numai în interiorul unor mici grupuri locale, care conțin de tot câteva particule, ele sunt amplasate într-o anumită ordine (*ordine apropiată*). Proprietățile fizice ale corpurilor amorfe (conductibilitatea termică, conductibilitatea electrică, rezistența, proprietățile optice etc) sunt aceleași în toate direcțiile — *corpurile amorfe sunt izotrope*.

Izotropia (din greacă *isos* — egal și *tropos* — direcție, proprietate) — independența proprietăților fizice de direcția aleasă în corp.

Exemple de corpuri amorfe pot fi sticla, diverse rășini întărite (chihlimbarul), materiale plastice etc. Corpurile amorfe își păstrează pentru o anumită perioadă forma, însă în urma influenței de lungă durată ele curg. Dacă un corp amorf este încălzit, atunci el se înmoaie treptat și trecerea lui în starea lichidă ocupă un interval mare de temperaturi.



2 Ce este polimorfismul

În corpurile cristaline particulele substanței (atomii, moleculele, ionii) sunt amplasate în ordine bine determinată. Dacă se vor uni centrele pozițiilor de echilibru ale particulelor corpului cristalin, atunci se va obține o rețea spațială regulată, care se numește *cristalină*. S-a demonstrat, că există 230 de tipuri de rețele cristaline.

De exemplu, în cristalul de poloniu ionii de Poloniu sunt situați în vârfurile cubului, formând o *rețea cristalină cubică simplă* (fig. 34.1, a).

Ionii de Fier pur la temperatura camerei de asemenea sunt situați în vârfurile cubului, în afară de aceasta un ion este situat în centrul cubului — aceasta este o *rețea cubică cu volum centrat* (fig. 34.1, b).

Dacă se va încălzi fierul până la 906 °C, atunci amplasarea ionilor Fierului brusc se va schimba — rețeaua se va reconstrui. Ionii centrali se vor deplasa, iar în interiorul fiecărei muchii a cubului va apărea un ion suplimentar — aceasta-i rețeaua cubică cu fețe centrate (fig. 34.1, c). În așa o rețea particulele sunt împachetate mai dens, decât în cea cu volum centrat. O împachetare densă se observă la fel și în rețeaua cristalină hexagonală (fig. 34.1, d).

Atrageți atenția! Particulele în cristale sunt ambalate dens, distanțele dintre centrele lor sunt egale aproximativ cu dimensiunea particulelor (norii electronici ai particulelor se ating unul de altul), dar iată în reprezentarea rețelelor cristaline deseori se indică numai pozițiile de echilibru ale particulelor.

Multe substanțe cristaline au o compoziție chimică egală, însă din cauza structurilor diferite ale rețelelor cristaline se deosebesc prin proprietățile lor fizice (fig. 34.2). Un asemenea fenomen se numește **polimorfism**, iar trecerea de la o structură cristalină la alta — **trecere polimorfă**.

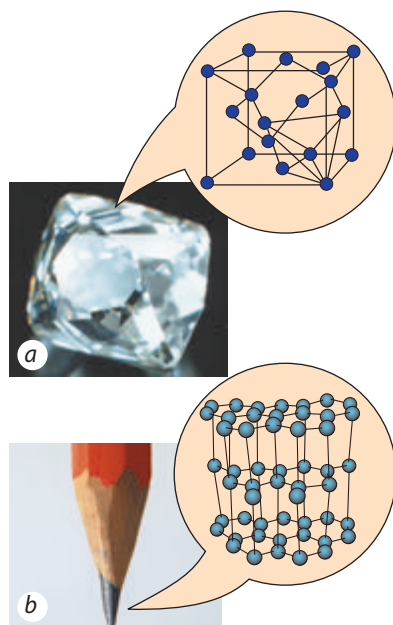


Fig. 34.2. Diferite stări cristaline ale carbonului: a — diamantul; b — grafitul

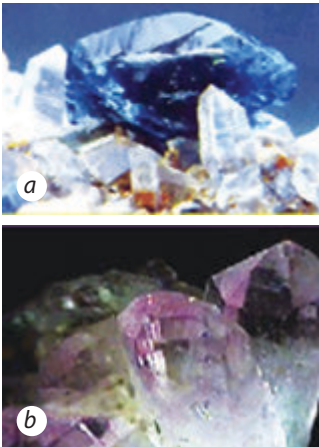


Fig. 34.3. Cristale naturale: *a* — lazuritul; *b* — cuarțul

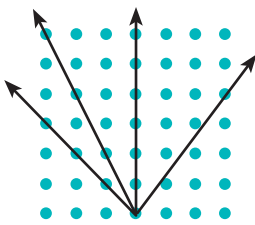


Fig. 34.4. În urma structurii ordonate a cristalului distanțele dintre particulele lui în diferite direcții sunt diferite

De direcția aleasă în cristal depind conductibilitatea termică, conductibilitatea electrică, refracția, transparența, dilatarea liniară și multe alte proprietăți fizice ale lui. Anizotropia cristalelor este condiționată de rețelele lor cristaline: în diferite direcții distanțele dintre particulele, ce formează rețeaua cristalină, sunt diferite (fig. 34.4).

? În ce direcție rezistența mecanică a grafitului este minimă (vezi fig. 34.2, b)?

Monocristalele mari rar se întâlnesc în natură. Cel mai des corpurile cristaline solide și totodată cele obținute pe cale experimentală sunt *policristaline*.

Policristalele — corpurile solide, care sunt compuse din numeroase cristale mici orientate haotic, ce au concrecut între ele (cristaliți).

Spre deosebire de monocristale corpurile policristaline sunt izotrope, adică proprietățile lor sunt aceleași în toate direcțiile. Structura policristalină a corpului solid poate fi descoperită cu ajutorul microscopului, dar uneori ea poate fi văzută și cu ochiul liber (fonta). Majoritatea metalelor, pe care le folosește omul sunt plicristaline.

De exemplu, în industria diamantelor artificiale se folosește trecerea polimorfă a grafitului în diamant. Această trecere are loc la presiuni de 60 mii — 100 mii de atmosfere și la temperaturi de 1800–2300 °C. Și invers: în rezultatul încălzirii în vid până la temperatura de aproximativ 1500 °C diamantul se transformă în grafit.

3 De ce monocristalele sunt anizotrope

Corpurile cristaline pot fi *monocristale* și *policristale*.

Monocristalul — corpul solid, particulele căruia formează o singură rețea cristalină.

Amplasarea ordonată a particulelor în monocristal este cauza faptului, că monocristalele au fețe plane și unghiuri constante dintre fețe (fig. 34.3); *proprietățile fizice ale monocristalelor depind de direcția aleasă în ele.*

Dependența proprietăților fizice ale cristalului de direcția aleasă în ele se numește **anizotropie** (din greacă *anisos* — neegal și *tropos* — direcție, proprietate).

Astfel, duritatea mecanică a multor cristale este diferită în diferite direcții: o bucată de mică se desface ușor în plăcuțe subțiri într-o direcție, însă cu mult mai greu se rupe în direcție perpendiculară pe plăcuțe.

4

Кристалічні речовини

Кристалічна речовина — стан речовини, який поєднує текучість рідини і анізотропію кристалів.

У *речовині* частинки зазвичай загально розташовані хаотично і можуть вільно обертатися і переміщуватися в будь-якому напрямку; у *твердому кристалі* існує певний порядок тривимірний і частинки можуть лише коливатися навколо положень рівноваги. У *кристалічній речовині* є певний ступінь упорядкування молекул (рис. 34.5), але також визнається певна свобода в переміщенні їх. Найбільш характерним станом кристалічної рідини є збереження органічних молекул, які мають подовжену або дископодібну форму.

Залежність властивостей оптичних кристалічних рідин від температури і електричного поля забезпечує широке застосування їх у екранних пристроях і обчислювальній техніці, у персональних комп'ютерах, екранних пристроях; вони використовуються в медицині (наприклад, як індикатори температури) тощо. Таким чином, кут повороту осей молекул в кожному шарі кристалічної рідини колективістично залежить від температури, а кут повороту залежить від кольору кристалічної рідини, від того, чи є плівка полімерною тонкою з мікробуграми, наповненою колективістично, чи ні, тоді вона буде мати кольорову картину розподілу температури.

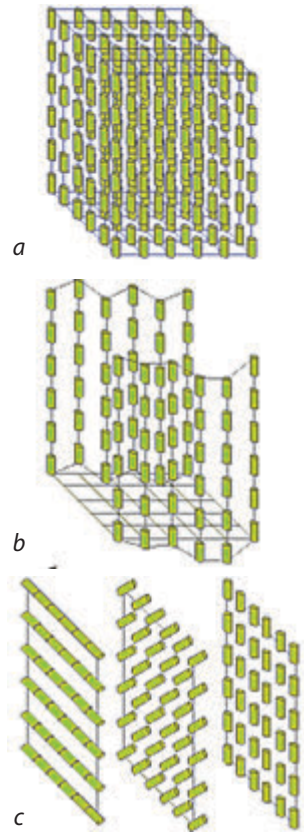


Fig. 34.5. Деякі типи кристалічних рідин: *a* — *smectic* (молекули орієнтовані паралельно одній стороні і утворюють тонкі шари); *b* — *nematic* (молекули у вигляді стержнів орієнтовані паралельно одній стороні, але можуть ковзати вгору або вниз); *c* — *cholesteric* (довгі пластинки зібрані в шари, кожен шар повернутий відносно до попереднього)



Контрольні запитання

1. Деякі тверді тіла є ізотропними? 2. Які властивості є характерними для монокристалів?
3. Що це анізотропія? Наведіть приклади прояву анізотропії кристалів. 4. Чи всі тверді тіла є анізотропними? Наведіть приклади, які підтверджують вашу відповідь. 5. Що це поліморфізм? Наведіть приклади. 6. Деякі властивості структури і властивостей кристалічних рідин? Де вони застосовуються?



Вправа № 34

1. Кристал кварцу після нагрівання набуває еліпсоїдальну форму. Чому?
2. Кожну з двох пластинок тонких, виготовлених з речовини, яку розтопили, поклали на поверхню воску. Після цього на кожну пластинку було натиснуто гострим кінцем нагрітого шпатель (рис. 1, *a*) — на певній відстані від кінця шпатель розтопився. Після цього форми частин (рис. 1, *b*, *c*) визначили, яку пластинку виготовлено з речовини полікристалічної, а яку — монокристалічної. Обґрунтуйте відповідь.

3. În smartphone-urile moderne sunt utilizate două tipuri de LCD (liquid crystal display) — ecrane cu cristale lichide (fig. 2). Smartphone-uri cu ecran TFT LCD sunt mai ieftine, însă consumatorii preferă adesea smartphone-urile cu ecran IPS LCD. Folosind surse suplimentare de informații, încercați să explicați de ce.

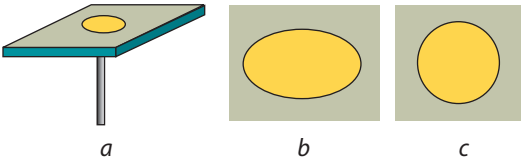


Fig. 1



Fig. 2

4. «Polimerii — materialele viitorului». Pregătiți o comunicare scurtă despre structura polimerilor și aplicarea lor în una dintre ramuri: industrie, gospodăria sătească; medicină, viața casnică etc. Ce materiale naturale sunt păstrate, înlocuindu-le cu polimeri?

Fizica și tehnica în Ucraina



Institutul de monocristale al ANȘ a Ucrainei (Harkiv) are o istorie de mai bine de o jumătate de secol și este unul dintre liderii recunoscuți în așa ramuri:

- ♦ cercetări fundamentale ale structurii, proprietăților fizice și fizico-chimice ale cristalelor, peliculelor subțiri, nanomatrialelor;
- ♦ dezvoltarea și perfecționarea instalațiilor de înaltă tehnologie și metodelor de producere a cristalelor de diferită destinație funcțională.

Cercetările și elaborările institutului sunt căutate pe scară largă în lume — despre acest lucru mărturisesc numeroasele sale legături științifice și de producție, participarea la principalele experimente internaționale, extinderea activității economice externe pe baza tehnologiilor înalte create. O caracteristică specifică a institutului — ciclul complet al elaborărilor științifice: de la idee și cercetări până la crearea materialelor și implementarea lor în producție.

§ 35. PROPRIETĂȚILE MECANICE ALE CORPURILOR SOLIDE

— Am nevoie de un sfat! S-a încovoiat grinda planșeului...

— Mi se pare, că nu sfaturi și sugestii trebuie să cauțați, ci un tehnician constructor bun, și imediat... (Dintr-o convorbire în Internet)

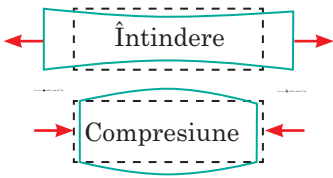
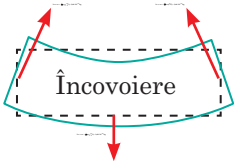
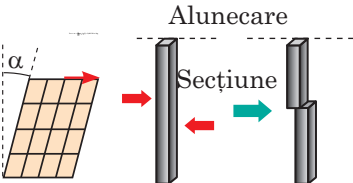
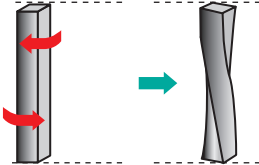
Fetița a suferit, scăpându-se dintr-o frânghie bungie jumping. Lucrul atracționului a încetat. (Din știri)

Bineînțeles că noi putem locui în casă, neavând imaginație despre materialele din care ea este construită; putem sări de pe pod sau din avion, neimaginându-ne, care este rezistența frânghiei sau a sforilor parașutei. Însă e imposibil de construit o casă rezistentă, de creat un atracțion sigur fără a cunoaște proprietățile mecanice ale materialelor utilizate. Despre unele dintre asemenea proprietăți va merge vorba în acest paragraf.

1 Ce fel de deformații există

Să amintim: **deformația** — aceasta-i schimbarea formei și (sau) a dimensiunilor corpului. Dacă după încetarea acțiunii forțelor exterioare corpul pe deplin și-a restabilit forma și dimensiunile, atunci el a suferit o *deformație elastică*; dacă forma și dimensiunile nu s-au restabilit, corpul a suferit o *deformație plastică*.

Când corpul se deformează, unele părți separate ale lui se deplasează una în raport cu cealaltă. După caracterul deplasării părților se deosebesc *deformații de întindere (compresiune), încovoiere, alunecare, răsucire*:

Felurile deformațiilor	
	<p>Forțele aplicate corpului tind să alungească sau să scurteze corpul, în urma cărui fapt distanța dintre straturile de molecule se mărește (<i>deformație de întindere</i>) sau se micșorează (<i>deformație de compresiune</i>).</p>
	<p>Forțele aplicate corpului tind să îndoiaie (încovoiaie) corpul. Deformația de încovoiere — acesata-i în același timp deformație de întindere și deformație de compresiune: partea convexă a corpului suferă deformație de întindere (distanța dintre straturile de molecule se mărește); partea concavă — deformație de compresiune (distanța dintre straturile de molecule se micșorează)</p>
	<p>Forțele aplicate corpului sunt orientate în direcții opuse una față de cealaltă și alunecă straturile corpului unul față de celălalt. <i>Deformație de alunecare</i> suferă, de exemplu, cuiele sau șuruburile, care unesc părțile diferitelor construcții; pânda, care este tăiată cu foarfecile. Alunecarea la unghiuri mari α poate duce la ruina corpului — <i>tăiere</i>.</p>
	<p>Forțele aplicate corpului creează moment de rotație în raport cu axa orizontală a corpului. Alunecarea straturilor de molecule are loc neuniform — fiecare strat se rotește sub un anumit unghi în raport cu alt strat. <i>Deformație de răsucire</i> suferă arborii tuturor mașinilor, șuruburile, cheile, șurubelnițele etc.</p>

? Ce fel de deformații suferă corpurile din fig. 35.1? Argumentați răspunsul.



Fig. 35.1. Pentru întrebarea din § 35

Se va schimba oare rezistența



Când tija suferă o deformare de încovoiere, partea sa din mijloc (partea din apropierea axei) nu va suferi nici întindere, nici compresiune. Adică, dacă ea va fi înlăturată, atunci rezistența construcției la încovoiere aproape că nu se va schimba.

De aceea, de exemplu, rama bicicletei, care suferă de obicei o deformare de încovoiere, este confecționată din tuburi subțiri metalice goale, astfel încât bicicleta este destul de ușoară și rămâne totodată rezistentă.

Despre o astfel de rezistență a «construcțiilor», ușurimea și conimia «materialului» a avut grijă și natură — ea a înzestrat oamenii și animalele cu oase tubulare ale membrilor, iar cerealele — cu tulpini tubulare.



2 Ce este tensiunea mecanică

Când corpul este deformat, starea lui se schimbă: în orice secțiune a corpului apar forțe de elasticitate, care împiedică ruina; cu cât corpul este mai deformat, cu atât forțele de elasticitate sunt mai mari. Starea corpului deformat este caracterizată de *tensiunea mecanică*.

Tensiunea mecanică σ — mărimea fizică, care caracterizează corpul deformat și este egală cu raportul dintre modulul forței elastice și aria S a secțiunii transversale a corpului*:

$$\sigma = \frac{F_{el}}{S}$$

Unitatea de măsură a tensiunii mecanice în SI — **pascal**:

$$[\sigma] = 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \quad (1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2).$$

S-a constatat, că tensiunea mecanică depinde de alungirea relativă a corpului.

Alungirea relativă a corpului ε — mărimea fizică, care este egală cu raportul dintre alungirea Δl și lungimea inițială a corpului l_0 :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \text{ sau } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\%$$

3 Construim și analizăm diagrama tensiunilor

Dependența tensiunii mecanice de alungirea relativă este stabilită pe cale experimentală. Modelul este întins cu ajutorul unei mașini speciale de rupere, măbind treptat sarcina. În timpul cercetării se construiește diagrama tensiunilor — graficul dependenței tensiunii mecanice de alungirea relativă a modelului (fig. 35.2). Experiențele arată, că pentru deformări mici (porțiunea OA a graficului) este satisfăcută **legea lui Hooke**:

În cazul deformațiilor elastice mici de întindere și de compresiune tensiunea mecanică σ este direct proporțională cu alungirea relativă ε :

$$\sigma = E|\varepsilon|^{**}$$

* În continuare vom studia numai corpurile, care au aceeași arie a secțiunii transversale pentru corpul dat (odgoane, tije, cabluri etc.).

** Alungirea relativă ε este luată după modul, deoarece legea lui Hooke se adevărește atât pentru deformațiile de întindere ($\varepsilon > 0$) cât și pentru deformațiile de compresiune ($\varepsilon < 0$).

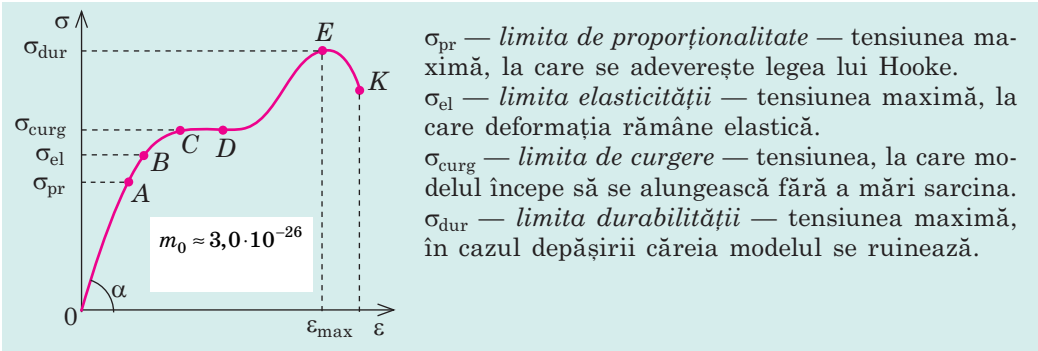


Fig. 35.2. Diagrama tensiunilor: *OAB* — porțiunea deformațiilor elastice; *BC* — porțiunea deformațiilor plastice; *CD* — porțiunea curgerii materialului; *EK* — ruinarea modelului

Coeficientul de proporționalitate E se numește *modulul lui Young* sau *modulul elasticității*. Modulul lui Young caracterizează proprietățile elastice ale materialului, el este determinat din diagrama tensiunilor (vezi fig. 35.2) și fixat în tabele.

Unitatea de măsură a modulului lui Young în SI — pascal:

$$[E] = 1 \text{ Pa (Pa)}.$$

? Folosindu-vă de definiția tensiunii mecanice σ și a alungirii relative ϵ , aduceți legea lui Hooke reprezentată sub forma $\sigma = E|\epsilon|$ la forma $F_{el} = k|\Delta l|$. Demonstrați, că rigiditatea tijei k se determină după formula: $k = E \frac{S}{l_0}$.

Să revenim la fig. 35.2. Cum numai sarcina va deveni astfel, încât tensiunea mecanică în model va atinge *limita de proporționalitate* σ_{pr} , dependența devine neliniară $\sigma(\epsilon)$ (porțiunea *AB* a graficului), însă dacă de scos sarcina, atunci modelul își va recăpăta forma și dimensiunile sale, adică porțiunea *OAB* a diagramei tensiunilor — aceasta-i porțiunea *deformațiilor elastice*.

Dacă se va mări sarcina în continuare, atunci după atingerea *limitei de elasticitate* σ_{el} deformarea începe repede să crească și devine *plastică* (porțiunea *BC*), iar după atingerea *limitei de curgere* σ_{curg} modelul în genere un anumit timp se alungește fără a mări sarcina (porțiunea *CD*). Dacă sarcina din nou se va mări, modelul încă puțin se va alungi (porțiunea *DE*), tensiunea în model va atinge *limita de durabilitate* σ_{dur} , după ce modelul se va rupe.

Modulul lui Young (E) pentru diferite materiale

Materialul	Modulul lui Young $E, \times 10^9 \text{ Pa}$
Aluminiu	63–70
Beton	15–40
Cauciuc	$7,9 \cdot 10^{-3}$
Cupru (turnat)	82
Argint	82,7
Sticlă	49–78
Fonta maleabilă	150

4 Elasticitatea, plasticitatea, fragilitatea

Să încovoiem o riglă de oțel, iar apoi să o lășăm liber — rigla își va restabili total forma sa. Dacă același lucru va fi efectuat cu o placă de oțel, ea așa și va rămâne încovoiată. Dar iată dacă se va încerca să se încovoaie o placă din sticlă, atunci sticla se va dărâma chiar și la o deformare nesemnificativă. În dependență de «reacția» materialului la deformare se deosebesc *materiale elastice, plastice, fragile*.

Materiale elastice	Materiale plastice	Materiale fragile
Materialele, care manifestă proprietăți elastice la deformații comparativ mari sau de durată suficient de lungă 	Materialele, în care deformația elastică trece în plastică la deformații nesemnificative 	Materialele, care se ruinează la deformații foarte mici și aproape că nu manifestă proprietăți elastice 

Distribuția materialelor în elastice, plastice și fragile este în mare măsură convențională, doar proprietățile materialelor depind în mod esențial de umiditate, temperatură, viteza de creștere a sarcinii etc. De exemplu, plumbul, care este plastic în condiții normale, devine elastic la temperatura de $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, cauciucul elastic la temperaturi scăzute devine fragil. Argila este fragilă în stare uscată și plastică — în stare umedă. Bitumul în timpul creșterii lente a încărcăturii demonstrează proprietăți plastice, iar în timpul unei creșteri rapide a încărcăturii devine fragil.

5 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. Dintr-un elicopter, care atârână la o anumită înălțime, este coborât un cablu de oțel. Care ar putea fi cea mai mare lungime a cablului, pentru ca el să nu se rupă sub greutatea proprie? Limita de durabilitate a oțelului — 320 MPa .

Analiza problemei fizice. Să efectuăm un desen explicativ. Forța elastică în orice secțiune a cablului echilibrează forța de greutate, care acționează asupra părții cablului amplasate sub această secțiune. Este evident că, în lipsa defectelor, cablul se va rupe în cea mai înaltă secțiune.

Se dă:

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= 3,2 \cdot 10^8 \text{ Pa} \\ g &= 10 \text{ m/s}^2 \\ \rho &= 7800 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

l — ?

Rezolvarea

Cablul de oțel este în stare de repaus, de aceea

$$F_g = F_{el}$$

$$F_g = mg,$$

$$\begin{aligned}\text{unde } m &= \rho V, \text{ iar } V = Sl, \\ \text{de aceea } F_g &= \rho Slg.\end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{F_{el}}{S} \quad \text{—}$$

$$\begin{aligned}\text{din definiție,} \\ \text{de aceea } F_{el} &= \sigma S.\end{aligned}$$

Deci, avem: $\rho Slg = \sigma S \Rightarrow l = \frac{\sigma}{\rho g}$. Densitatea oțelului vom determina din tabelul densităților.

Verificăm unitatea de măsură, aflăm valoarea mărimii căutate:

$$[l] = \frac{\text{Pa}}{\text{kg/m}^3 \cdot \text{m/s}^2} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{m/s}^2} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{N}} = \text{m}; \quad l = \frac{3,2 \cdot 10^8}{7,8 \cdot 10^3 \cdot 10} \approx 4,1 \cdot 10^3 \text{ (m)}$$

Analiza rezultatului. Lungimea maximă a cablului — $4,1\text{ km}$. Deoarece cablurile reale au o lungime de zeci de ori mai mică, ele niciodată nu pot să se rupă sub propria sa greutate.

Răspuns: $l = 4,1\text{ km}$.



Facem totalurile

• Deformația — schimbarea formei și (sau) dimensiunilor corpului. Deformația este elastică, dacă după încetarea acțiunii forțelor exterioare corpul își restabilește forma și dimensiunile; deformația este plastică, dacă forma și dimensiunile corpului nu se restabilesc. Se deosebesc, de asemenea deformații de compresiune (întindere), alunecare, încovoiere, răsucire.

• Mărimea fizică, care caracterizează corpul deformat și este egală cu raportul dintre modulul forței elastice F_{el} și aria secțiunii transversale S a corpului, se numește tensiune mecanică σ : $\sigma = \frac{F_{el}}{S}$.

• Legea lui Hooke: pentru deformații elastice mici de întindere și compresiune tensiunea mecanică este direct proporțională cu alungirea relativă ε : $\sigma = E\varepsilon$, unde E — modulul lui Young (modulul de elasticitate), care caracterizează proprietățile elastice ale substanței. Cea mai mare tensiune, la care se adevărește legea lui Hooke se numește limita proporționalității σ_{pr} .



Întrebări de control

1. Ce este deformația? 2. Numiți felurile de deformații. În ce condiții ele apar? Dați exemple. 3. Dați caracteristica tensiunii mecanice ca mărime fizică. 4. Reprezentați două formulări ale legii lui Hooke. Pentru care condiții se îndeplinește această lege? 5. Ce caracterizează modulul lui Young? Ce este unitatea de măsură a lui în SI? 6. În ce constă fenomenul curgerii materialului? 7. Ce este limita durabilității? Prin ce se deosebesc materialele elastice de cele plastice? de cele fragile?



Exercițiul nr. 35

- De ce țevile, din care sunt confecționate platformele navelor sunt goale?
- Chibzonaiți, ce fel de deformații suferă următoarele părți ale navei (fig. 1): corpul navei; pilonii, scândurile punții; cablurile de tachelaj; lanțul ancorei; frânghia pentru acostare; arborele ancorei (arborele pentru ridicarea ancorei).
- De un cablul de cauciuc cu lungimea de 10 cm și diametrul de 2 mm a fost suspendată o sarcină cu masa de 31,4 g. Lungimea cablului a crescut cu 1 cm. Determinați: 1) tensiunea mecanică în cablu; 2) alungirea relativă a cablului; 3) modulul lui Young pentru cauciucul, din care este confecționat cablul; 4) cel mai mic diametru al cablului, pentru care deformația rămâne elastică (limita elasticității pentru cauciuc — $5 \cdot 10^6$ Pa).
- Determinați forța de lovire în timpul ștanțării unei monede de cupru cu raza de 1 cm, dacă limita de curgere pentru cupru este de 70 MPa (fig. 2).
- Care dintre diagramele reprezentate în fig. 3 este construită pentru materialul elastic? materialul plastic? materialul friabil?
- Imaginați-vă, că ați decis să construiți o casă. Hotărâți-vă, ce materiale (elastice, plastice, fragile, cu ce limită a durabilității ș.a.) veți folosi pentru temelie; pereți; tavan; podea; grinzi. Argumentați-vă răspunsul. Neapărat utilizați surse suplimentare de informații.



Fig. 1



Fig. 2

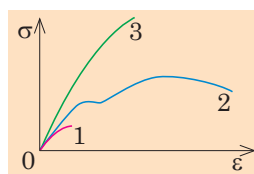


Fig. 3

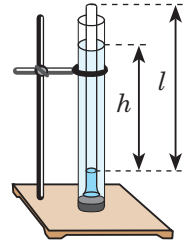
LUCRARE DE LABORATOR NR. 6

Tema. Studiarea procesului izotermic.

Scopul: de a verifica pe cale experimentală legea lui Boyle-Mariotte, studiind câteva stări termodinamice ale gazului la temperatură constantă.

Utilajul: un tub de sticlă închis la un capăt, un vas înalt de sticlă umplut cu apă, barometru-aneroid (unul pentru toată clasa), un stativ cu mufă și inel, riglă.

INDICAȚII LA LUCRARE



II Pregătirea pentru experiment

Confecționați dispozitivul (vezi des.); scufundați în vas tubul cu capătul deschis în jos la o adâncime maximă.

▶ Experimentul

Rezultatele măsurătorilor și calculelor introduceți-le imediat în tabel.

1. Măsurați presiunea atmosferică p_{atm} , cu barometrul, rezultatul exprimați-l în kilopascali.

2. Măsurați înălțimea coloanei de aer l în tub.

Atrageți atenția: aria secțiunii transversale a tubului este neschimbată, de aceea volumul V al aerului din tub este direct proporțional cu înălțimea coloanei lui l : $V \sim l$. Adică pentru verificarea legii lui Boyle — Mariotte este de ajuns să demonstrăm, că $pl = \text{const}$ pentru orice adâncime de scufundare a tubului.

3. Determinați presiunea aerului din tub. Pentru aceasta:

1) măsurați diferența dintre nivelurile apei din vas și tub (h);

2) calculați și exprimați în kilopascali presiunea hidrostatică a coloanei de apă cu înălțimea h : $p_{\text{hidr.}} = \rho gh$, unde $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ — densitatea apei, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ — accelerația caderii libere;

3) calculați presiunea p a aerului în tub: $p = p_{\text{atm}} + p_{\text{hidr.}}$.

4. Repetați experimentul mai de două ori, de fiecare dată micșorând adâncimea de cufundare.

Numărul experimentei	Presiunea atmosferică p_{atm} , kPa	Înălțimea coloanei de aer l , m	Diferența dintre nivelurile apei h , m	Presiunea hidrostatică $p_{\text{hidr.}}$, kPa	Presiunea aerului p , kPa	Produsul $C = pl$, kPa · m

▶▶ Prelucrarea rezultatelor experimentului

1. Pentru fiecare stare termodinamică a aerului din tub calculați produsul dintre presiune și înălțimea coloanei de aer: $C = pl$.

2. Evaluați eroarea relativă a experimentului: $\varepsilon = \left| 1 - \frac{C_1}{C_3} \right| \cdot 100\%$.

□ Analiza experimentului și a rezultatelor lui

Conform rezultatelor experimentului, faceți concluzia, în care să specificați: 1) legea, pe care ați verificat-o pe cale experimentală; 2) mărimile, pe care le-ați măsurat; 3) rezultatul verificării; 4) cauzele erorilor; 5) mărimea, măsurarea căreia dă cea mai mare eroare.

+ Însărcinare creativă

Se vor schimba oare rezultatele experimentului, dacă pentru efectuarea lui se va folosi un tub cu o arie a secțiunii transversale mai mare sau mai mică? Dacă se vor schimba, atunci cum? Argumentați-vă răspunsul. Efectuați verificarea experimentală a ipotezei voastre, scrieți rezultatele.

Tema. Măsurarea tensiunii superficiale a lichidului.

Scopul: de a măsura tensiunea superficială a apei prin metoda desprinderii picăturilor.

Utilajul: un șubler, o seringă medicală cu volumul de 2 ml fără ac, scobitoare, un pahar cu apă distilată.

INDICAȚII LA LUCRARE

Cunoștințe teoretice

În timpul curgerii line a lichidului dintr-un tub vertical subțire la capătul tubului se formează o picătură (vezi des.). Desprinderea picăturii are loc în acel moment, în care forța de greutate este egalată cu forța de tensiune superficială, ce acționează asupra picăturii de-a lungul cercului gâtului picături:

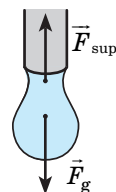
$$F_{\text{sup}} = F_g, \text{ sau } m_0 g = \sigma l,$$

unde m_0 — masa picăturii; σ — tensiunea superficială a lichidului; $l = \pi d$ — lungimea circumferinței (d — diametrul interior al tubului).

Masa picăturii poate fi aflată prin formula: $m_0 = \rho V_0 = \frac{\rho V}{N}$, unde ρ — este densitatea lichidului; V — volumul lichidului, care s-a scurs; N — numărul de picături.

Deci, măsurând diametrul interior al tubului d și numărând cantitatea picăturilor N , ce s-au format în timpul curgerii lichidului cu volumul V , se poate calcula

tensiunea superficială a lichidului: $\sigma = \frac{\rho V g}{N \pi d}$.



Experimentul

Rezultatele măsurătorilor și calculelor introduceți-le imediat în tabel.

1. Măsurați diametrul orificiului de evacuare al seringii.
2. Introduceți în seringă 2 ml de apă. Apăsând lin pistonul și numărând picăturile, picurați apa într-un pahar.
3. Repetați experimentul de 3–4 ori.

Numărul experienței	Diametrul orificiului $d, \times 10^{-3} \text{ m}$	Volumul apei $V, \times 10^{-6} \text{ m}^3$	Numărul de picături		Tensiunea superficială $\sigma_{\text{med}}, \times 10^{-3} \text{ N/M}$
			N	N_{med}	

Prelucrarea rezultatelor experimentului

1. După rezultatele experiențelor aflați cantitatea medie de picături N_{med} .
2. Calculați valoarea medie a tensiunii superficiale a apei σ_{med} .
3. Evaluați eroarea relativă a experimentului, comparând valoarea obținută a tensiunii superficiale a apei cu cea tabelară.

Analiza experimentului și a rezultatelor lui

După rezultatele experimentului faceți concluzia, în care să precizați: 1) mărimea, pe care ați măsurat-o; 2) rezultatul obținut; 3) cauzele erorilor; 5) vă pare oare metoda propusă convenabilă.

Însărcinare creativă

Propuneți un experiment privind dependența dintre tensiunea superficială a lichidului de temperatura lichidului și de prezența impurităților în lichid. Efectuați experiențe, faceți concluzia.

FACEM TOTALURILE CAPITOLULUI III «FIZICA MOLECULARĂ ȘI TERMODINAMICA»

Partea 1. Fizica moleculară

1. V-ați amintit *principiile fundamentale ale TCM* și argumentarea lor experimentală.

Principiile fundamentale ale teoriei cinetico-moleculare

Toate substanțele sunt compuse din particule — atomi, molecule, ioni	Particulele se mișcă neconținut haotic	Particulele interacționează una cu alta:
<ul style="list-style-type: none"> ♦ 1 mol de substanță conține $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ de particule. ♦ Masa particulei: $m_0 = \frac{M}{N_A}$, unde M — masa molară. ♦ Numărul de molecule: $N = \frac{m}{M} N_A = \nu N_A$, unde ν — numărul de moli (cantitatea de substanță) 	Viteza pătratică medie a mișcării de translație a moleculelor: $\bar{v}_{\text{pătr}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$, unde T — temperatura absolută: $T = t + 273$ (K); $R = 8,31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ — constanta universală a gazelor	<ul style="list-style-type: none"> ♦ se atrag la distanțe, care sunt mai mari decât dimensiunea particulelor; ♦ se resping la distanțe, care sunt mai mici decât dimensiunea particulelor

2. Voi ați aflat despre modelul fizic «*gazul ideal*» și despre legile importante, ce leagă parametrii macroscopici și microscopici ai acestui gaz:

Ecuția fundamentală a TCM a gazului ideal

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2 \leftarrow p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2 \rightarrow p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k$$

$p = nkT$

Legătura dintre energia cinetică medie a mișcării de translație a moleculelor și temperatură:

$$\bar{E}_c = \frac{3}{2} kT$$

Ecuția lui Mendeleev — Clapeyron (ecuția de stare a gazului ideal)

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

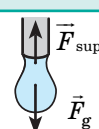
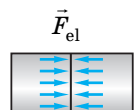
Ecuția lui Clapeyron

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Legende: p — presiunea gazului; V — volumul gazului; $n = \frac{N}{V}$ — concentrația moleculelor gazului; $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ — constanta Boltzmann

Procesul izotermic $T_1 = T_2$ Legea lui Boyle — Mariotte: $p_1 V_1 = p_2 V_2$	Procesul izobar $p_1 = p_2$ Legea lui Gay-Lussac: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	Procesul izocor $V_1 = V_2$ Legea lui Charles: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$
--	---	--

3. Voi ați aflat, ce *mărimi fizice* caracterizează *umiditatea aerului*; *stratul superficial al lichidului*; *starea corpului deformat*.

Umiditatea aerului absolută $\rho_a = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{V}$ relativă $\varphi = \frac{\rho_a}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$	Tensiunea superficială $\sigma = \frac{W_{\text{sup}}}{S} = \frac{F_{\text{sup}}}{l}$ 	Tensiunea mecanică $\sigma = \frac{F_{\text{el}}}{S}$ 
---	---	--

4. Ați învățat, în ce condiții lichidul *umezește* sau *nu umezește* o anumită suprafață, și ați obținut formula pentru calculul înălțimii h de urcare (coborâre) a lichidului în capilarul cu raza r : $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$.

PROBLEME PENTRU AUTOVERIFICARE LA CAPITOLUL III «FIZICA MOLECULARĂ ȘI TERMODINAMICA».

Partea 1. Fizica moleculară

Problemele 1–5 conțin numai un răspuns corect.

- (1 bal) La presiune atmosferică normală temperatura de fierbere a apei în scara Kelvin este egală cu ...
a) 0 K; b) 100 K; c) 273 K; d) 373 K.
- (1 bal) Ce fel de deformare suferă pânza, care este tăiată cu foarfecele?
a) compresie; b) încovoiere; c) răsucire; d) alunecare.
- (1 bal) Sunt dați 2 moli de hidrogen, 2 moli de oxigen și 2 moli de vapori de apă. Care gaz conține cel mai mare număr de molecule?
a) hidrogenul; c) vaporii de apă;
b) oxigenul; d) numărul de molecule este același.
- (1 bal) Când indicațiile termometrelor uscat și umed al psihrometrului coincid, înseamnă că umiditatea relativă a aerului este egală cu ...
a) 100 %; b) 50%; c) 10 %; d) 0 %.
- (2 baluri) În fig. 1 sunt reprezentate graficele proceselor de variație a stării gazului ideal. Care grafic corespunde răcirii izobare a gazului?
a) 1; b) 2; c) 3; d) 4.
- (4 baluri) Stabiliți corespondența dintre fenomenele fizice și legile fizice, care le descriu.
1 Bula, care se ridică din adâncul unui lac încălzit uniform, crește în volum
2 Acul de fier stă pe suprafața apei
3 Balonul cu gaz închis ermetic, care este încălzit la soare, poate exploda
4 Volumul, pe care-l ocupă 1 mol de gaz ideal în condiții identice, nu depinde de felul gazului
- (3 baluri) Câte molecule de gaz se conținute într-un vas cu capacitatea de 1,0 l, la o presiune de $1,2 \cdot 10^5$ Pa și o temperatură de 30 °C?
- (3 baluri) În fig. 2 este reprezentat graficul procesului, ce are loc în gazul ideal. Cum în timpul acestui proces, variază presiunea, volumul și temperatura gazului?
- (4 baluri) Temperatura ziua este de 28 °C, umiditatea relativă a aerului — 60%. Va cădea oare noaptea roua, dacă temperatura aerului va scădea până la 20 °C?
- (4 baluri) Apa în capilar a urcat la o înălțime de 2,4 cm. Determinați diametrul capilarului. Cu cât se va schimba înălțimea de ridicare a lichidului în capilar, dacă se va lua un capilar cu o rază de două ori mai mare? se va folosi în loc de apă spiritul? se va transfera experimentul pe Marte? Considerați că $g_P \approx 10$ m/s², $g_M \approx 4$ m/s².

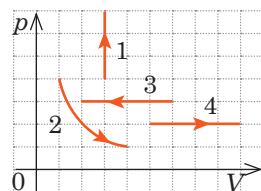


Fig. 1

- A $F_{\text{sup}} = \sigma S$
- B $pV = \nu RT$
- C $p_1 V_1 = p_2 V_2$
- D $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$
- E $mg = \sigma l + F_{\text{arh}}$

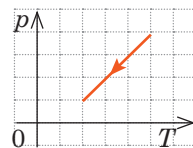


Рис. 2

Confrunțați răspunsurile voastre cu cele indicate la sfârșitul manualului. Notați însărcinările, pe care le-ați efectuat corect, calculați suma balurilor și împărțiți-o la doi. Rezultatul obținut va corespunde nivelului vostru de reușită la învățatură.



Însărcinările sub formă de teste cu verificare computațională le veți găsi pe resursul electronic de învățământ «Învățământul interactiv».

PARTEA 2. BAZELE TERMODINAMICII

i

§ 36. ENERGIA INTERNĂ ȘI METODELE DE VARIAȚIE ALE EI

TCM a devenit recunoscută la limita secolelor XIX și XX. Cu mult mai înainte de crearea ei de cercetarea proceselor termice s-a ocupat *termodinamica* — capitolul fizicii, ce studiază relațiile și transformările energiei termice și a altor forme de energie. La bazele termodinamicii stă noțiunea de *energie internă (termică)*. Despre energia internă și procesele, în rezultatul cărora ea se schimbă veți afla din acest paragraf.

1 Energia internă și particularitățile ei

Energia internă a corpului macroscopic este determinată de caracterul mișcării și interacțiunii tuturor microparticulelor, din care este compus corpul (sistemul de corpuri). Astfel, la energie internă trebuie să se refere:

- energia cinetică a mișcării haotice (termice) a particulelor substanței (atomilor, moleculelor, ionilor);
- energia potențială de interacțiune a particulelor substanței;
- energia de interacțiune a atomilor în molecule (energia chimică);
- energia de interacțiune a electronilor și nucleului în atom (energie intraatomică);
- energia de interacțiune a nucleonilor în nucleu (energia intranucleară).

Însă *pentru descrierea proceselor termice este importantă nu atât valoarea energiei interne cât variația ei*. În timpul proceselor termice energia chimică, și de asemenea energia intraatomică și intranucleară practic nu se schimbă. Anume din această cauză **energia internă în termodinamică se detremină ca suma dintre energia cinetică a mișcării haotice (termice) a particulelor substanței (atomilor, moleculelor, ionilor), din care este compus corpul și a energiilor potențialele ale interacțiunii lor**.

Energia internă se notează cu simbolul U .

Unitatea de măsură a energiei interne în SI — **joulul**: $[U]=1 \text{ J (J)}$.

Caracteristicile energiei interne a gazului ideal

1. Atomii și moleculele gazului ideal practic nu interacționează între ele, de aceea *energia internă a gazului ideal este egală cu energia cinetică a mișcărilor de translație și de rotație a particulelor lui*.

2. *Energia internă a unei mase date de gaz ideal este direct proporțională cu temperatura absolută*.

Să demonstrăm aceste afirmații pentru un gaz monatomic. Atomii unui astfel de gaz se mișcă numai prin translație, prin urmare, pentru a determina energia lui internă, trebuie energia cinetică medie a mișcării de translație a

atomilor $\left(\overline{E_c} = \frac{3}{2}kT\right)$ să se înmulțească cu numărul de atomi $\left(N = \frac{m}{M}N_A\right)$. Ast-

fel: $U = \overline{E_c} \cdot N = \frac{3}{2}kT \cdot \frac{m}{M}N_A = \frac{3}{2} \frac{m}{M}kN_A T$. Deci, *pentru un gaz ideal monoatomic:*

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$$

Utilizând ecuația lui Mendeleev — Clapeyron $pV = \frac{m}{M}RT$, expresia pentru energia internă a unui gaz ideal monoatomic poate fi reprezentată în felul următor:

$$U = \frac{3}{2}pV$$

3. *Energia internă — funcție de stare a sistemului*, adică ea univoc este determinată de parametrii macroscopici (p , V , T), ce caracterizează sistemul și independent de aceea, în ce mod sistemul este trecut dintr-o stare în alta, variația energiei interne va fi aceeași.




4. *Energia internă poate fi schimbată prin două metode: prin efectuarea lucrului și transmiterea de căldură.*

2 Ce moduri de transmitere a căldurii există

Transmiterea de căldură (schimbul de căldură) — procesul de variație a energiei interne a corpului sau a părților corpului fără efectuarea lucrului.

Procesul transmiterii de căldură este posibil numai în cazul existenței diferenței de temperaturi. În mod aleator, energia internă întotdeauna se transmite de la corpul mai încălzit la cel mai puțin încălzit. Cu cât diferența de temperaturi este mai mare, cu atât mai repede — pentru alte condiții identice — are loc procesul de transmitere a căldurii.

Modurile transmiterii de căldură

Conductibilitatea termică	Convecția	Radiația
<p><i>Modul transmiterii de căldură, care este condiționat de mișcarea haotică a particulelor substanței și nu este însoțit de deplasarea acestei substanțe.</i></p> <p>Cele mai bune conductoare de căldură sunt metalele, rău conduc căldura lemnul, sticla, pielea, lichidele (în afară de metalele lichide); cei mai răi conductori de căldură sunt — gazele. Transmiterea de căldură de la apa fierbinte la caloriferul de încălzire, de la suprafața apei la straturile ei inferioare etc. are loc datorită conductibilității termice.</p>	<p><i>Modul de transmitere a căldurii, în care căldura se transmite de către curenții de lichid sau gaz.</i></p> <p>Curenții calzi de lichid sau de gaz au o densitate mai mică, de aceea sub acțiunea forței arhimedice se ridică, iar cei reci — coboară. Datorită convecției se realizează circuitul de aer într-o încăpere, se încălzește lichidul în cratița, ce stă pe plită, există vânturi și curenți maritimi ș. a.</p> <p><i>Convecția este imposibilă în corpurile solide.</i></p>	<p><i>Modul transmiterii de căldură, în timpul căruia energia se transmite cu ajutorul undelor electromagnetice.</i></p> <p>Cel mai universal mod de transmitere a căldurii: corpurile întotdeauna radiază și absorb unde infraroșii (termice) electromagnetice. Aceasta este <i>unicul mod al schimbului de căldură, care este posibil în vid</i> (energia de la Soare se transmite numai prin radiație). <i>Cel mai bine radiază și absorb energie corpurile cu o suprafață întunecată.</i></p>
		



De ce tigiua este confecționată din metal, iar mânerul ei — din lemn? De ce ziua vântul bate dinspre mare, iar noaptea — dinspre uscat? De ce pe timp de arșiță se îmbracă haine albe?

3 Cum se calculează cantitatea de căldură

Cantitatea de căldură Q — aceasta-i mărimea fizică, care este egală cu energia, pe care corpul o primește (sau o cedează) în timpul transmiterii de căldură.

Unitatea de măsură a cantității de căldură în SI — joule: $[Q] = 1 \text{ J}$ (J).

Din cursul de fizică pentru clasa a 8-a, știi că cantitatea de căldură, care este absorbită la încălzirea substanței (sau degajată la răcirea ei), se calculează după formula: $Q = cm\Delta T = cm\Delta t$, unde c — capacitatea termică specifică a substanței; m — masa substanței; $\Delta T = T - T_0 = t - t_0$ — variația temperaturii.

Atrageți atenția! Produsul dintre capacitatea termică specifică și masa substanței, din care este confecționat corpul, se numește **căldură specifică a corpului**: $C = cm$.

Dacă este cunoscută căldura specifică a corpului C , atunci cantitatea de căldură Q , pe care o primește corpul în timpul schimbării temperaturii cu ΔT , se calculează după formula: $Q = C\Delta T$.

Calculul cantității de căldură în cazul transformărilor de fază

Starea cristalină ↔ Starea lichidă

Temperatura, la care au loc transformările de fază «cristal → lichid» și «lichid → cristal» se numește *temperatură de topire* — ea depinde de natura substanței și presiunea exterioară. Cantitatea de căldură Q , care este absorbită la topirea substanței cristaline (sau degajată la cristalizarea lichidului), se calculează cu formula:

$$Q = \lambda m,$$

unde m — masa substanței; λ — căldura specifică de topire.

Starea lichidă ↔ Starea gazoasă

Transformările de fază «lichid → vapor» și «vapor → lichid» au loc la orice temperatură. Cantitatea de căldură Q , care se absoarbe la vaporizare (sau se degajă la condensare), se calculează după formula:

$$Q = rm, \text{ sau } Q = Lm,$$

unde m — masa substanței; $r(L)$ — căldura specifică de vaporizare la temperatura dată (de obicei în tabele este indicată căldura specifică de vaporizare la temperatura de fierbere a lichidului).

Amintim: și în timpul topirii și în timpul fierberii temperatura substanței nu se schimbă.

4 Ne învățăm a rezolva probleme

Problema 1. Neonul cu masa de 100 g se conține într-o retortă cu volumul de 5,0 l. În procesul răcirii izocore presiunea neonului s-a micșorat de la 100 până la 50 kPa. Cu cât în acest timp s-a schimbat energia internă și temperatura neonului?

Дано:

$m = 0,10 \text{ kg}$
 $V = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
 $p_1 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
 $p_2 = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
 $M = 20 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$
 $R = 8,31 \text{ L/(mol} \cdot \text{K)}$

ΔU — ?
 ΔT — ?

Analiza problemei fizice, rezolvarea. Neonul — gaz monoatomic; pentru asemenea gaze variația energiei interne este egală cu:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT_2 - \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT_1 = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R\Delta T,$$

$$\text{sau } \Delta U = \frac{3}{2} p_2 V_2 - \frac{3}{2} p_1 V_1.$$

Deoarece răcirea este izocoră, volumul neonului nu se schimbă: $V_1 = V_2 = V$.

După transformări avem: $\Delta U = \frac{3}{2} V(p_2 - p_1)$; $\Delta T = \frac{2M\Delta U}{3mR}$.

Verificăm unitățile de măsură, aflăm valoarea mărimilor căutate:

$$[\Delta U] = \text{m}^3 \cdot \text{Pa} = \text{m}^3 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}; \quad \Delta U = \frac{3}{2} \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} \cdot (-0,5 \cdot 10^5) = -375 \text{ (J)};$$

$$[\Delta T] = \frac{\text{kg/mol} \cdot \text{J}}{\text{kg} \cdot \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})} = \text{K}; \quad \Delta T = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot (-375)}{3 \cdot 0,1 \cdot 8,31} = -6 \text{ (K)}.$$

Analiza rezultatelor. Semnul «−» mărturesește despre aceea, că energia internă și temperatura neonului a scăzut, — aceasta corespunde răcirii izocore.

Răspuns: $\Delta U = -375 \text{ J}$; $\Delta T = -6 \text{ K}$.

Problema 2. Vasul interior de aluminiu al calorimetrului are o masă de 50 g și conține 200 g de apă la temperatura de 30 °C. În vas au fost aruncate cuburi de gheață la o temperatură de 0 °C, ca urmare temperatura apei în calorimetru a scăzut până la 20 °C. Determinați masa gheții. Capacitățile termice specifice ale apei și aluminiului sunt egale cu: $c_B = 4200 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $c_{Al} = 920 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; căldura specifică de topire a gheții — 334 kJ/kg.

Analiza problemei fizice. Calorimetrul are așa o structură, încât schimbul de căldură cu mediul înconjurător aproape că lipsește, de aceea pentru rezolvarea problemei ne vom folosi de ecuația echilibrului termic. În schimbul de căldură i-au parte trei corpuri: apa, vasul interior al calorimetrului, gheața.

Se dă:	Cedau energie	Primește energie
$m_{Al} = 0,05 \text{ kg}$	apa + aluminiul	gheața
$m_a = 0,2 \text{ kg}$	se răcesc de la 30 °C	se topește + apa obținută se încăl-
$t_a = t_{Al} = 30 \text{ °C}$	până la 20 °C;	zește de la 0 °C până la 20 °C;
$t_{gh} = 0 \text{ °C}$	$Q_a = c_a m_a \Delta t_1$, $Q_{Al} = c_{Al} m_{Al} \Delta t_1$;	$Q_{gh} = \lambda m_{gh} + c_a m_{gh} \Delta t_2$;
$t = 20 \text{ °C}$	$ \Delta t_1 = 30 \text{ °C} - 20 \text{ °C} = 10 \text{ °C} = 10 \text{ K}$.	$\Delta t_2 = 20 \text{ °C} - 0 \text{ °C} = 20 \text{ °C} = 20 \text{ K}$.
$c_a = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	Vom scrie ecuația bilanțului termic:	
$c_{Al} = 920 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$c_B m_B \Delta t_1 + c_{Al} m_{Al} \Delta t_1 = \lambda m_{gh} + c_a m_{gh} \Delta t_2$.	
$\lambda = 334 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	După transformări avem:	
$m_{gh} \text{ — ?}$	$ \Delta t_1 (c_a m_a + c_{Al} m_{Al}) = m_{gh}(\lambda + c_a \Delta t_2) \Rightarrow m_{gh} = \frac{ \Delta t_1 (c_a m_a + c_{Al} m_{Al})}{\lambda + c_a \Delta t_2}$.	
	Verificăm unitatea de măsură, aflăm valoarea mărimii căutate:	
	$[m_{gh}] = \left(\text{K} \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \text{kg} \right) : \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \frac{\text{J} \cdot \text{kg}}{\text{J}} = \text{kg};$	
	$m_{gh} = \frac{10 \cdot (4200 \cdot 0,2 + 920 \cdot 0,05)}{334000 + 4200 \cdot 20} \approx 0,021 \text{ (kg)}.$	
	<i>Răspuns:</i> $m_{gh} = 2,1 \text{ g}$.	



Facem totalurile

• În termodinamică, prin energie internă a corpului U se subînțelege suma dintre energia cinetică a mișcării haotice a particulelor substanței din care este constituit corpul, și energia potențială a interacțiunii lor. Energia internă — funcție de stare a sistemului, ea este determinată în mod univoc de principalii parametri macroscopici (p , V , T), care caracterizează sistemul. Energia internă a gazului monatomic ideal se determină după formulele: $U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$; $U = \frac{3}{2} pV$.

• Energia internă poate fi schimbată prin două metode: prin efectuarea unui lucru și transmiterea de căldură. Transmiterea de căldură (schimbul de căldură) — procesul de variație a energiei interne a corpului sau a părților

corpului fără efectuarea lucrului. Există trei moduri de transmitere a căldurii: conductibilitatea termică, convecția, radiația.

- Mărimea fizică, care este egală cu energia, pe care corpul o primește sau o cedează în timpul transmiterii de căldură, se numește cantitatea de căldură Q . Cantitatea de căldură poate fi calculată conform formulelor: $Q = cm\Delta T = C\Delta T$ — cantitatea de căldură, care se absoarbe la încălzirea corpului (sau se degajă la răcirea lui); $Q = \lambda m$ — cantitatea de căldură, care se absoarbe la topirea substanței (sau se degajă la cristalizarea ei); $Q = Lm$ — cantitatea de căldură, care se absoarbe la vaporizarea substanței (sau se degajă la condensarea ei).

Întrebări de control

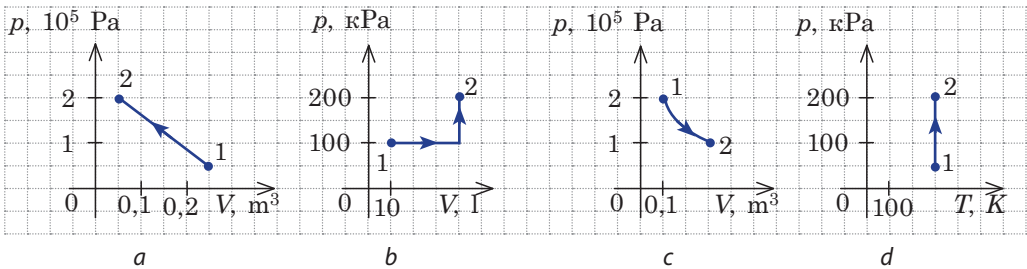


1. Dați definiția energiei interne. 2. Deduceți formulele pentru calculul energiei interne a unui gaz monatomic ideal. De ce aceste formule nu pot fi utilizate, dacă moleculele gazului constau din mai mult de un atom? 3. Ce metode de variație a energiei interne cunoașteți? 4. Ce este transmiterea de căldură? 5. Ce tipuri de transmitere de căldură există? Dați definiția lor, aduceți exemple. 6. Cum se calculează cantitatea de căldură transmisă corpului în timpul încălzirii (sau degajată de el în timpul răcirii)? 7. Dați definiția capacității termice specifice a corpului. 8. Cum se calculează cantitatea de căldură necesară pentru topirea unei substanțe cristaline? pentru transformarea lichidului în vapori?



Exercițiul nr. 36

1. Argonul cu masa de 300 g este răcit de la 200 până la 50 °C. Determinați variația energiei interne a argonului.
2. Volumul neonului cu masa de 40 g în timpul dilatării izobare a crescut de la 12 până la 15 l. Determinați variația energiei interne și variația temperaturii neonului, dacă presiunea lui este egală cu 50 kPa.
3. Gazul monatomic ideal trece din starea 1 în starea 2 (fig. a–d). Pentru fiecare caz, determinați variația energiei interne a gazului.



4. O bară de fier cu masa de 600 g a fost încălzită în apă ce fierbe și cufundată într-un vas cu apă la o temperatură de 10 °C. Ca urmare, temperatura apei a crescut până la 12 °C. Determinați masa apei, dacă căldura specifică a vasului este de 100 J/K; capacitatea termică specifică a fierului de 460 J/(kg·K); capacitatea termică specifică a apei este de 4200 J/(kg·K). Neglijați pierderile de energie.
5. Într-un amestec, care este compus din 20 l de apă și 1 kg de gheață, s-a turnat plumb topit luat la temperatura sa de topire (327 °C). Ca urmare, temperatura apei a devenit egală cu 100 °C, totodată 100 g de apă s-au transformat în vapori. Determinați masa plumbului turnat. Capacitatea termică specifică a plumbului constituie 125 J/(kg·K), a apei — 4200 J/(kg·K); căldura specifică de topire a plumbului de 21 kJ/kg, a gheții — 334 kJ/kg; căldura specifică de vaporizare a apei este de 2,3 MJ/kg.

§ 37. LUCRUL ÎN TERMODINAMICĂ

La sfârșitul secolului al XVIII-lea fizicianul englez *Benjamin Thompson (Contele Rumford)* a cercetat căldura, care se degajă în timpul sfredierii armelor de bronz. Rumford reușea ca să fiarbă apa din cazanele așezate pe tunuri datorită căldurii, care se degaja în timp ce caii mișcau un burghiu foarte tocit. În acest caz, energia mișcării mecanice a burghiului se transforma în energie a mișcării haotice a moleculelor de bronz și de apă. Dar se poate oare face invers?

1 De ce în timpul schimbării volumului gazului se schimbă și energia lui internă

Energia internă a gazului poate fi schimbată, dacă forțele exterioare, care acționează asupra lui, efectuează un lucru (pozitiv sau negativ). De exemplu, dacă gazul este comprimat (gazul efectuează un lucru negativ) (fig. 37.1) și în acest timp el nu degajă energie în mediul înconjurător, atunci viteza mișcării moleculelor gazului și, ca urmare, energia internă și temperatura gazului se măresc. Și invers, dacă gazul se dilată (adică, efectuează un lucru pozitiv), atunci viteza mișcării moleculelor, temperatura și energia internă a gazului se micșorează.

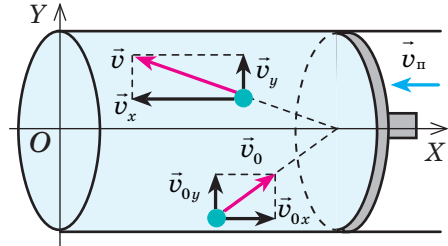


Fig. 37.1. La comprimarea gazului viteza mișcării moleculelor după ciocnirea cu pistonul crește ($v > v_0$) — gazul se încălzește. (În mod analogic se mărește viteza mișcării mingii după lovitura voleibalistului, când mâna se mișcă în întâmpinarea mingii.)

2 Cum se calculează lucrul gazului

Să calculăm lucrul, pe care-l efectuează forța de presiune a gazului la schimbarea volumului lui de la V_1 la V_2 . Conform definiției: $A = F s \cos \alpha$.

Dacă gazul se dilată izobar, atunci forța, care acționează asupra gazului din partea pistonului este neschimbată: $F = pS$ (p — presiunea gazului; S — aria pistonului); modulul deplasării pistonului $s = l_2 - l_1$ (fig. 37.2, a); $\alpha = 0$.

Astfel, lucrul gazului în urma dilatării lui izobare este egal:

$$A = F s \cos \alpha = pS(l_2 - l_1) = p(V_2 - V_1) = p\Delta V.$$

❓ Demonstrați, că în cazul comprimării izobare (fig. 37.2, b), lucrul gazului este negativ și se calculează după formula $A = p\Delta V$, totodată $\Delta V < 0$.

Lucrului gazului în cazul dilatării (sau comprimării) izobare i se poate da o interpretare geometrică simplă: lucrul gazului este numeric egal cu aria dreptunghiului de sub graficul dependenței $p(V)$ (fig. 37.3).

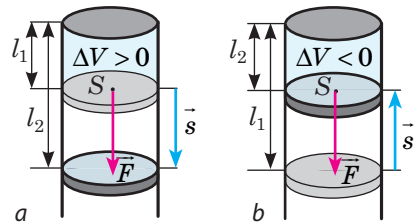


Fig. 37.2. Pentru deducerea formulei lucrului gazului: a — gazul se dilată; b — gazul se comprimă, \vec{F} — forța de presiune a gazului; \vec{s} — deplasarea pistonului

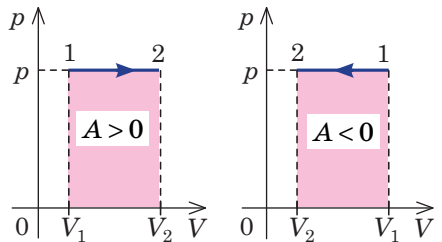


Fig. 37.3. Sensul geometric al lucrului pentru procesul izobar

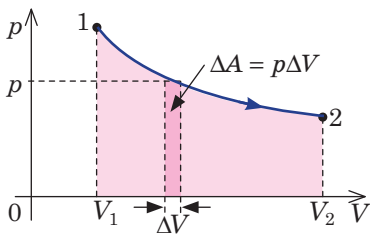


Fig. 37.4. Sensul geometric al lucrului pentru procesul arbitrar: lucrul gazului este numeric egal cu aria trapezului curbiliniu de sub graficul dependenței $p(V)$



Fig. 37.5. În timpul procesului izocor gazul nu efectuează lucru

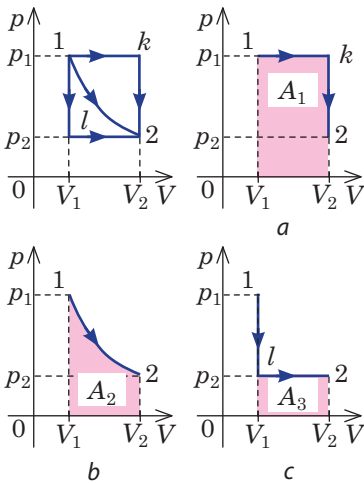


Fig. 37.6. Trei căi de trecere a gazului din starea 1 în starea 2: a — gazul se dilată izobar (porțiunea 1k), apoi se răcește izocor (porțiunea 2k); b — gazul se dilată izotermic; c — gazul răcește izocor (porțiunea 1l), apoi se dilată izobar (porțiunea 2l). Ariile figurilor de sub grafice arată: $A_1 > A_2 > A_3$

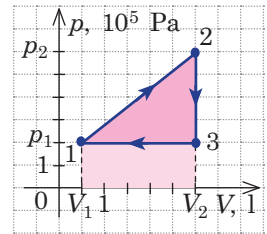
Fie că un oarecare gaz trece în mod arbitrar din starea 1 în starea 2 (fig. 37.4). Dacă variația volumului gazului (ΔV) este suficient de mică, atunci presiunea gazului poate fi considerată constantă. Atunci, lucrul gazului va fi numeric egal cu aria fâșiei evidențiate în figură. Lucrul total la variația volumului de la V_1 la V_2 va fi egal cu suma ariilor tuturor fâșiilor, adică cu aria trapezului curbiliniu de sub graficul dependenței $p(V)$.

Evident, că în procesul izocor ($V = \text{const}$), aria figurii de sub graficul dependenței $p(V)$ este egală cu zero (fig. 37.5), — gazul nu efectuează lucru ($A = 0$).

Lucrul gazului depinde de aceea, pe ce cale are loc trecerea gazului de la starea inițială la cea finală (fig. 37.6).

3 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. În figură este reprezentat graficul unui proces ciclic, realizat de un gaz ideal. Determinați lucrul, pe care l-a efectuat gazul în decursul unui ciclu.



Analiza problemei fizice, rezolvarea. Lucrul total pe parcursul ciclului este egal cu suma lucrurilor efectuate în timpul fiecărui proces al ciclului. Conform conținutul geometric al lucrului lucrul gazului în timpul procesului 1–2 este numeric egal cu aria trapezului dreptunghiular, bazele cărui sunt egale cu p_1 și p_2 , iar înălțimea — $(V_2 - V_1)$; volumul gazului crește, de aceea acest lucru este pozitiv.

Lucrul gazului în timpul procesului 2–3 este egal cu zero, deoarece acest proces este izocor.

Lucrul gazului în timpul procesului 3–1 este numeric egal cu aria dreptunghiului cu laturile p_1 și $(V_1 - V_2)$; volumul gazului scade, de aceea acest lucru este negativ. Deci, pentru determinarea lucrului în decursul întregului ciclu, trebuie de scăzut din aria trapezului aria dreptunghiului. Adică, după cum se vede din figură, lucrul în decursul ciclului este numeric egal cu aria triunghiului dreptunghic 1–2–3:

$$A = \frac{(p_2 - p_1) \cdot (V_2 - V_1)}{2}.$$

Valorile mărimilor necesare le vom afla din grafic:

$$p_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}; \quad p_2 = 6 \cdot 10^5 \text{ Pa};$$

$$V_1 = 0,5 \text{ l} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3; \quad V_2 = 3 \text{ l} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Verificăm unitatea de măsură, aflăm valoarea mărimii căutate:

$$[A] = \text{Pa} \cdot \text{m}^3 = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3 = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J};$$

$$A = \frac{(6 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5) \cdot (3 \cdot 10^{-3} - 0,5 \cdot 10^{-3})}{2} = 0,5 \cdot 10^3 \text{ (J)}.$$

Răspuns: $A = 0,5 \text{ kJ}$.



Facem totalurile

- În lipsa schimbului de căldură cu mediul înconjurător, dacă asupra gazului se efectuează un lucru pozitiv, atunci energia internă a gazului crește; dacă gazul însuși efectuează un lucru, energia lui internă scade.
- Lucrul gazului este numeric egal cu aria figurii de sub graficul dependenței $p(V)$. Dacă volumul gazului se mărește, atunci gazul efectuează un lucru pozitiv. Dacă volumul gazului se micșorează, atunci lucrul gazului este negativ. În timpul procesului izobar lucrul gazului poate fi determinat după formula $A = p\Delta V$, în timpul procesului izocor, lucrul gazului este egal cu zero: $A = 0$.



Întrebări de control

1. Care este sensul geometric al lucrului? 2. Deduceți formula pentru calculul lucrului în timpul procesului izobar. 3. Cu ce este egal lucrul în timpul procesului izocor? 4. Depinde oare lucrul efectuat de modul trecerii corpului dintr-o stare în alta? Argumentați răspunsul.



Exercițiul nr. 37

1. Dați exemple de variație a energiei interne a corpurilor solide, lichidelor și gazelor în rezultatul efectuării lucrului. Indicați ce lucru — pozitiv sau negativ — în acest caz ele efectuează.
2. Oxigenul cu masa de 320 g este încălzit izobar de la -20 până la 27 °C. Determinați lucrul gazului în timpul acestui proces.
3. Într-un cilindru sub piston se conțin 2 moli de un gaz oarecare. Ce lucru va efectua acest gaz în timpul încălzirii izobare de la 273 până la 473 K?
4. Un gaz ideal a efectuat procesele ciclice reprezentate grafic în fig. 1. Determinați lucrul, pe care l-a efectuat gazul în timpul fiecărui ciclu.
5. În fig. 2 sunt reprezentate graficele a două procese închise, efectuate de același gaz. În timpul căruia dintre aceste procese gazul a efectuat un lucru mai mare?

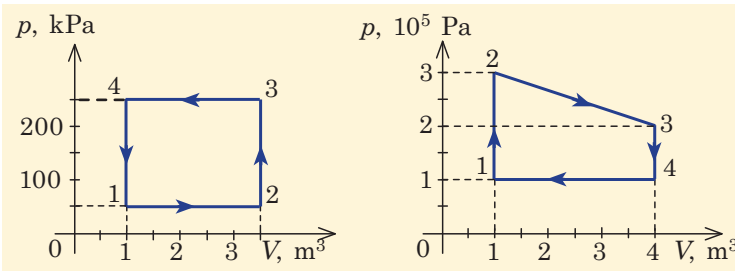


Fig. 1

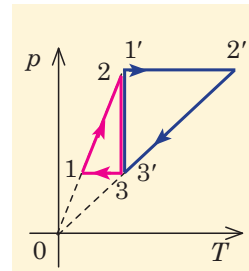


Fig. 2



§ 38. PRIMA LEGE A TERMODINAMICII. PROCESUL ADIABATIC



Una dintre legile fundamentale ale naturii — legea conservării și transformării energiei. Pentru prima dată la descoperirea acestei legi a ajuns medicul și fizicianul german *Julius Robert von Mayer* (1814–1878). Cât n-ar fi de uimitor, însă la descoperire svantul a fost impus atunci, când făcea observații asupra schimbării culorii sângelui la oameni. Mayer a observat, că sângele venos la oamenii, care lociesc în tropice, are culoare mai deschisă decât locuitorii țării sale, și culoarea amintește cea arterială. El a ajuns la concluzia, că diferența de culoare este cauzată de cantitatea oxigenului consumat, sau de «forța procesului de ardere», care are loc în organism. Independent de Meyer și în mod cu totul diferit la legea conservării energiei au ajuns industriașul și savantul englez *James Prescott Joule* (1818–1889) și fizicianul, fiziologul și psihologul german *Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz* (1821–1894). Legea conservării și transformării energiei conduce cu toate fenomenele naturii, nu este cunoscut nici un caz, când această lege nu ar fi satisfăcută. Din acest paragraf veți afla despre legea conservării și transformării energiei în termodinamică.

1 Prima lege a termodinamicii

În termodinamică sunt studiate sistemele, energia mecanică a cărora la trecerea dintr-o stare termodinamică în alta nu se schimbă. În acest caz, dacă forțele exterioare au efectuat lucrul A' și în același timp, sistemului i se transmite o anumită cantitate de căldură Q , atunci toată energia se consumă pentru variația energiei interne a sistemului (ΔU). Legea conservării și transformării energiei în acest caz se numește **prima lege (principiul) a termodinamicii**:

Variația energiei interne a sistemului (ΔU) la trecerea dintr-o stare termodinamică în alta este egală cu suma dintre lucrul forțelor exterioare A' și cantitatea de căldură Q transmisă sistemului sau transmisă de sistem corpurilor înconjurătoare în procesul schimbului de căldură:

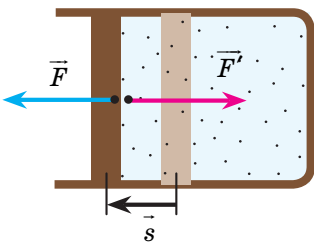


Fig. 38.1. Conform legii a treia a lui Newton, forța cu care gazul apasă asupra pistonului \vec{F} este egală ca modulul și opusă ca direcție cu forța exterioară \vec{F}' , cu care pistonul apasă asupra gazului; de aceea lucrul forțelor exterioare este egal cu lucrul gazului luat cu semnul minus: $A' = -A$

$$\Delta U = A' + Q$$

Atrageți atenția! Dacă sistemul primește o anumită cantitate de căldură, atunci în formula de mai sus, Q este luat cu semnul «+», dacă cedă, atunci cu semnul «-».

În practică, mai des se cercetează nu lucrul forțelor exterioare A' , ci lucrul A , pe care-l efectuează acest sistem împotriva forțelor exterioare. Având în vedere că $A' = -A$ (fig. 38.1), **prima lege (principiul) a termodinamicii** poate fi formulată în felul următor:

Cantitatea de căldură Q transmisă sistemului se consumă pentru variația energiei interne a sistemului (ΔU) și pentru efectuarea lucrului împotriva forțelor exterioare:

$$Q = \Delta U + A$$

Conform primei legi a termodinamicii este imposibil de creat un motor veșnic de ordinul întâi — dispozitiv ciclic, care ar efectua lucru mecanic fără a consuma energie din exterior (fig. 38.2, a) sau ar efectua un lucru mai mare, decât energia consumată de el (fig. 38.2, b).

2 Ce aspect are prima lege a termodinamicii pentru izoprocese

Vom studia, ce aspect va obține prima lege a termodinamicii în cazurile, dacă gazului ideal de masă constantă i se va transmite o anumită cantitate de căldură astfel, încât unul dintre parametrii macroscopici ai gazului (V , p sau T) să rămână constant.

• **Procesul izocor** (fig. 38.3). În timpul acestui proces, volumul gazului nu se schimbă ($\Delta V = 0$) și gazul nu efectuează lucru ($A = 0$), de aceea ecuația primei legi a termodinamicii are aspectul:

$$Q = \Delta U.$$

În timpul procesului izocor toată cantitatea de căldură transmisă gazului se consumă pentru mărirea energiei interne a gazului.

Dacă gazul este monoatomic ideal, atunci cantitatea de căldură transmisă gazului este egală cu:

$$Q = \Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{3}{2} V \Delta p.$$

• **Procesul izotermic** (fig. 38.4). În timpul acestui proces temperatura, și deci, și energia internă a gazului nu se modifică ($\Delta U = 0$), de aceea ecuația primei legi a termodinamicii are aspectul:

$$Q = A.$$

În timpul procesului izotermic toată cantitatea de căldură transmisă sistemului se consumă pentru efectuarea lucrului mecanic.

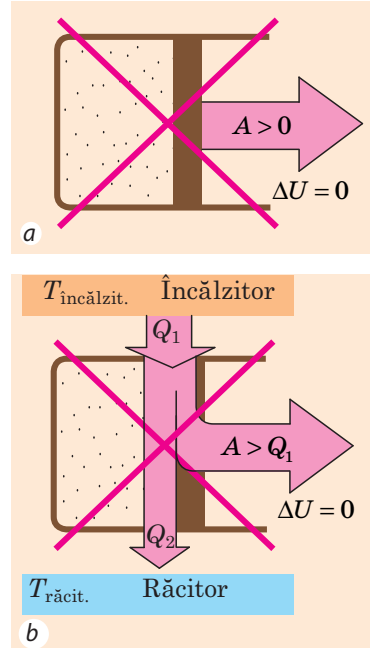


Fig. 38.2. Procese ciclice, care sunt imposibile din punctul de vedere al primei legi a termodinamicii

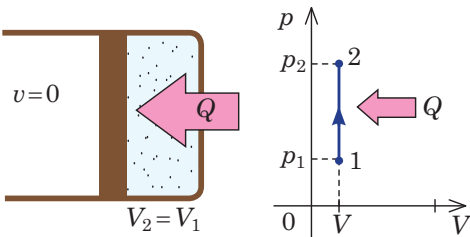


Fig. 38.3. Încălzirea izocoră a gazului:
 $m = \text{const}$; $V = \text{const}$; $Q = \Delta U$

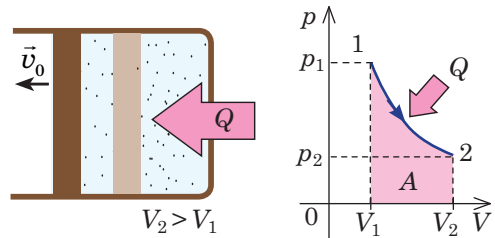


Fig. 38.4. Dilatarea izotermică a gazului:
 $m = \text{const}$; $T = \text{const}$; $Q = A$

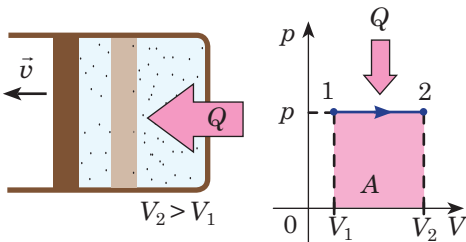


Fig. 38.5. Dilatarea izobară a gazului:
 $m = \text{const}$; $p = \text{const}$; $Q = \Delta U + A$

Dacă gazul este monatomic ideal, atunci lucrul gazului este egal cu $A = p\Delta V$, iar variația energiei lui interne $\Delta U = \frac{3}{2}p\Delta V$. Cantitatea de căldură transmisă gazului, este egală cu: $Q = \Delta U + A = \frac{3}{2}p\Delta V + p\Delta V = \frac{5}{2}p\Delta V$, sau $Q = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R\Delta T$.

3 Ce particularități are procesul adiabatic

Procesul adiabatic — procesul, care are loc fără schimbul de căldură cu mediul înconjurător.

În timpul procesului adiabatic, cantitatea de căldură Q transmisă sistemului este egală cu zero, de aceea prima lege a termodinamicii are spectul:

$$\Delta U + A = 0, \text{ sau } A = -\Delta U.$$

În timpul dilatării adiabatice, gazul efectuează un lucru pozitiv pe contul micșorării energiei interne, totodată temperatura gazului scade.

? Demonstrați, că în timpul comprimării adiabatice, energia internă și temperatura gazului se măresc.

Deoarece $p = nkT$, în cazul comprimării adiabatice presiunea gazului crește cu mult mai repede decât în cazul celui izotermic, deoarece odată cu creșterea concentrației moleculelor gazului crește și temperatura lui (fig. 38.6). În mod similar, în cazul dilatării adiabatice presiunea scade cu mult mai repede, decât în cazul celui izotermic, deoarece concomitent se micșorează și concentrația și temperatura gazului. În condiții reale, procesul apropiat de cel adiabatic, se poate realiza, dacă gazul se va conține în interiorul unei membrane cu proprietăți izolatoare foarte bune. Adiabatice, de asemenea, pot fi considerate și procesele, care se produc foarte repede, pentru că în acest caz gazul nu are timp să facă schimb de căldură cu mediul (de exemplu, dilatarea și comprimarea aerului în timpul propagării undelor sonore; dilatarea gazului în timpul exploziei).

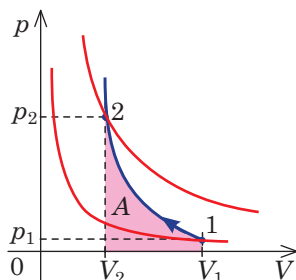


Fig. 38.6. Variația presiunii gazului în timpul procesului adiabatic. Prin culoare albastră este reprezentată adiabata, prin roșie — izoterma

Creșterea temperaturii în urma comprimării bruște a aerului este utilizată în motoarele diesel, în care lipsește sistem de aprindere a amestecului carburant (vezi § 39).

4 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. În urma dilatării izobare neonul a efectuat un lucru de 56 J. Ce cantitate de căldură este transmisă gazului? Care este variația energiei interne a lui? La ce presiune are loc procesul, dacă volumul gazului a crescut cu 2,0 l?

$$A = 56 \text{ J}$$

$$\Delta V = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$Q = ?$$

$$\Delta U = ?$$

$$p = ?$$

Analiza problemei fizice, rezolvarea. Pentru procesul izobar, lucrul gazului este egal cu: $A = p\Delta V$. De aici $p = \frac{A}{\Delta V}$.

Variația energiei interne a gazului monatomic ideal este:

$$\Delta U = \frac{3}{2} p\Delta V = \frac{3}{2} A.$$

Conform primei legi a termodinamicii: $Q = \Delta U + A \Rightarrow Q = \frac{3}{2} A + A = \frac{5}{2} A$.

Verificăm unitatea de măsură, aflăm valorile mărimilor căutate:

$$[p] = \frac{\text{J}}{\text{m}^3} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}^3} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa}; \quad p = \frac{56}{2,0 \cdot 10^{-3}} = 28 \cdot 10^3 \text{ (Pa)};$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot 56 \text{ J} = 84 \text{ J}; \quad Q = \frac{5}{2} \cdot 56 \text{ J} = 140 \text{ J}.$$

Răspuns: $Q = 140 \text{ J}$; $\Delta U = 84 \text{ J}$; $p = 28 \text{ kPa}$.



Facem totalurile

- Legea conservării energiei, scrisă pentru procesele termice se numește prima lege (principiul) a termodinamicii: cantitatea de căldură transmisă sistemului este consumată pentru variația energiei interne a sistemului și pentru efectuarea de către sistem a lucrului împotriva forțelor exterioare: $Q = \Delta U + A$.

- ♦ În timpul procesului izocor gazul nu efectuează un lucru ($A = 0$), de aceea toată căldura transmisă gazului se consumă pentru mărirea energiei lui interne $Q = \Delta U$.

- ♦ În timpul procesului izotermic energia internă a gazului nu se schimbă ($\Delta U = 0$), de aceea toată căldura transmisă gazului se consumă pentru efectuarea unui lucru de către gaz: $Q = A$.

- ♦ În timpul procesului izobar, căldura transmisă gazului se consumă atât pentru mărirea energiei interne a gazului cât și pentru efectuarea unui lucru-lui de către gaz $Q = \Delta U + A$.

- ♦ În timpul procesului adiabetic gazul nu primește căldură ($Q = 0$), de aceea creșterea energiei lui interne are loc pe contul efectuării unui lucru asupra gazului (comprimare adiabetică) $\Delta U = A'$. Dacă însă gazul însuși efectuează un lucru (dilatare adiabetică), atunci energia internă a lui scade: $A = -\Delta U$.

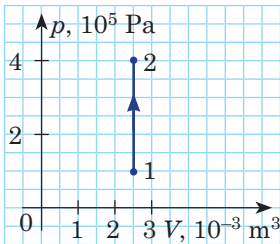


Întrebări de control

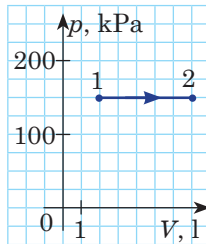
1. Formulați legea conservării și transformării energiei. Ce observații l-au îndemnat pe J. Mayer la descoperirea acestei legi?
2. Formulați prima lege a termodinamicii.
3. Cum se va nota prima lege a termodinamicii pentru procesul izocor? pentru procesul izotermic? pentru procesul izobar?
4. Care proces se numește adiabetic?
5. Scrieți prima lege a termodinamicii pentru dilatarea adiabetică a gazului; pentru comprimarea adiabetică a gazului.
6. De ce la comprimarea adiabetică presiunea gazului crește cu mult mai repede decât la cea izotermică?


Exercițiul nr. 38

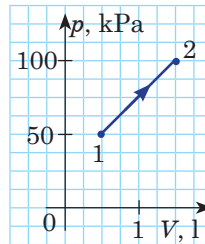
- La răcirea izocoră aerul a transmis mediului înconjurător 15 J de căldură. Cu cât s-a schimbat energia internă a aerului? Ce lucru a efectuat el?
- În timpul comprimării izobare heliul a cedat mediului înconjurător 6 J de căldură. Cu cât s-a schimbat energia internă a gazului? Ce lucru a efectuat el?
- Gazul se dilată de la volumul V_1 până la volumul V_2 într-un caz izotermic, în al doilea — izobar, în al treilea — adiabatic. În care caz, gazul efectuează un lucru mai mare? gazului i se transmite o cantitate de căldură mai mare? energia internă a gazului crește cu o valoare mai mare?
- În fig. *a–d* sunt reprezentate graficele proceselor, care au loc într-un gaz monatomic ideal. Ce cantitate de căldură este transmisă gazului în fiecare caz?
- Temperatura oxigenului cu masa de 3,2 kg la o dilatare izobară a crescut cu 10 °C. Ce lucru a efectuat gazul? Ce cât s-a schimbat energia internă a gazului? Capacitatea termică specifică a oxigenului la presiune constantă este egală 913 J/(kg · K).
- Folosiți surse suplimentare de informații și aflați, ce rol are prima lege a termodinamicii în formarea norilor.



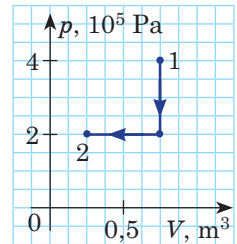
a



b



c



d

i
§ 39. PRINCIPIUL DE LUCRU AL MOTOARELOR TERMICE. MAȘINA FRIGORIFICĂ


Pe parcursul mileniilor au fost utilizate mecanisme, care ușurau în mod esențial efortul fizic al omului. Însă până la sfârșitul secolului XVIII cantitatea imensă de energie, ce se conține în diferite tipuri de combustibil a fost practic nesolicitată. Și abia datorită descoperirilor, făcute în termodinamică au apărut *mașinile termice* — dispozitive, care transformă energia internă în lucru mecanic. Despre mașinile termice, construcția lor, legile fizice, pe care se bazează acțiunea lor veți afla din acest paragraf.

1
Ireversibilitatea proceselor în natură

Imaginați-vă: ați adus o bucată de zăpadă în casă, ați pus-o pe masă și, desigur, peste un timp în loc de zăpadă ați găsit o bălțiță de apă. Și dintr-o dată, în ochii voștri apare o bucățică de gheață, care treptat se mărește — și în curând în loc de o bălțiță veți vedea o bucată de zăpadă puhavă. «Aceasta este imposibil!» — veți spune și veți avea dreptate, doar știți, că într-o încăpere caldă zăpada întotdeauna se transformă în apă, dar apa nu se transformă niciodată în zăpadă de *sinestătător*.

Un alt exemplu. Urcându-se pe munte, ați călcat pe o piatră, ea se rupe și se rostogolește de-a lungul pantei și, rostogolindu-se o anumită distanță se oprește. În acest timp energia mecanică a pietrei este transformată în energie internă a pietrei însăși, a dealului și a aerului înconjurător. Din punctul de vedere al legii conservării energiei este posibil și procesul invers, când piatra se va rostogoli la deal pe contul energiei interne acumulate în ea și în mediul înconjurător. Însă în practică, un astfel de proces nu se observă.

Aceste două exemple și multe altele asemănătoare ne conving: în natură, toate procesele macroscopice au loc într-o anumită direcție și în direcție opusă spontan ele nu pot avea loc.

Procesele, care pot avea loc spontan într-o singură direcție se numesc **procese ireversibile**.

Ireversibilitatea proceselor în natură exprimă **a doua lege (principiul) a termodinamicii**, care are câteva formulări echivalente. De exemplu, în formularea fizicianului și matematicianului german **Rudolf Clausius** ea suna așa:

Este imposibil procesul, unicul rezultat al căruia este transmiterea energiei sub formă de căldură de la un corp mai puțin încălzit la unul mai mult încălzit (fig. 39.1, a).

Atrageți atenția la cuvintele «unicul rezultat». Căldura se transmite în mod arbitrar numai de la corpul mai încălzit la cel mai puțin încălzit, totodată cu alte corpuri nu are loc nici o schimbare. Procesul invers de asemenea este posibil, dar rezultatul nu va fi unicul. De exemplu, în dispozitivul frigorific căldura se transmite de la camera de răcire mai puțin încălzită mediului înconjurător mai încălzit, dar în acest caz se consumă energie electrică.

Fizicianul englez **William Thomson (Lordul Kelvin)** a dat în 1851 următoarea formulare a **legii a doua (principiului) a termodinamicii**:

Este imposibil procesul periodic, unicul rezultat al căruia — efectuarea de către corp a lucrului mecanic pe contul micșorării energiei sale interne (fig. 39.1, b).

Dacă ar fi posibil un astfel de proces, am fi obținut un motor veșnic de ordinul doi. O astfel de mașină, de exemplu, ar putea să reia energia termică de la Oceanul planetar și să o transforme complet în lucru.

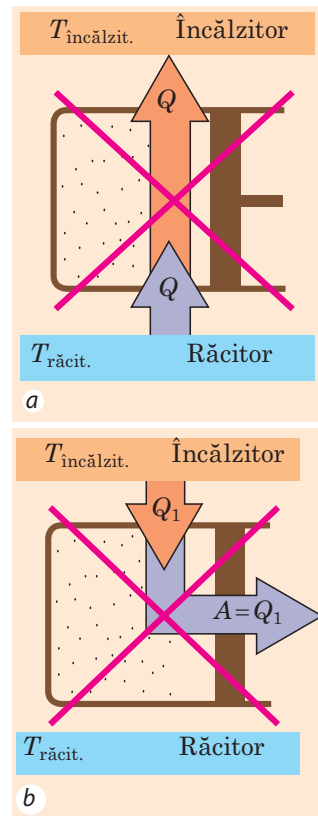


Fig. 39.1. Procesele ciclice, «admise» de prima lege a termodinamicii, dar «interzise» de cea de a doua lege: a — mașină frigorifică ideală; b — motor veșnic de-al doilea ordin

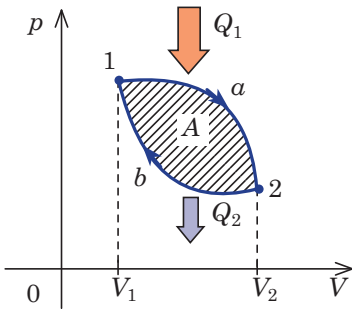


Fig. 39.2. În timpul procesului ciclic gazul se reîntoarce în starea inițială. Dacă dilatarea gazului (porțiunea 1a2) are loc la o presiune mai înaltă, decât comprimarea (porțiunea 2b1), atunci lucrul total în decursul ciclului este pozitiv (acest lucru corespunde ariei figurii 1a2b1)

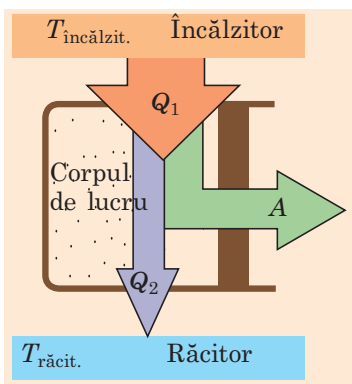


Fig. 39.3. Principiul de lucru al motoarelor termice: corpul de lucru, primind o anumită cantitate de căldură Q_1 de la încălzitor, efectuează lucrul A și transmite o anumită cantitate de căldură Q_2 răcitorului

În motorul termic are loc procesul periodic ciclic, în rezultatul căruia pe contul micșorării energiei interne a încălzitorului se efectuează un lucru mecanic. Cu toate acestea, acest rezultat nu este unicul, deoarece o parte din energie se transmite răcitorului.

3 Oare poate randamentul mașini termice să fie egal cu 100 %

Energia internă a corpului de lucru în decursul unui ciclului nu se schimbă (energia internă — funcție de stare, iar după terminarea ciclului gazul revine la starea inițială), de aceea conform primei legi a termodinamicii lucrul A , pe care îl efectuează gazul pe parcursul ciclului, este: $A = Q_1 - Q_2$, unde Q_1 — can-

Din care părți principale este compus motorul termic

Procesele, care nu contrazic nici prima, nici cea de a doua lege a termodinamicii, au loc în mașinile termice. Spre exemplu vom examina lucrul motorului termic.

Motorul termic — mașina termică de acțiune ciclică, care transformă energia degajată la arderea combustibilului în lucru mecanic.

Lucrul mecanic în motor este efectuat de către gazul, care dilatându-se apasă asupra pistonului. Gazul, care efectuează lucru mecanic în procesul dilatării sale se numește *corp de lucru*.

Pentru ca gazul să poată împinge pistonul, este necesar ca presiunea sub piston să fie mai mare decât presiunea exterioară. Această creștere a presiunii se realizează pe contul creșterii temperaturii corpului de lucru. Dispozitivul, în contact cu care corpul de lucru primește o anumită cantitate de căldură se numește *încălzitor*.

Corpul de lucru nu se poate dilata infinit. Pentru funcționarea continuă a motorului este necesar, ca pistonul să revină la poziția inițială. Gazul în acest timp se va comprima, efectuând un lucru negativ. Pentru ca în întregime în decursul ciclului lucrul gazului să fie pozitiv, presiunea, și deci, și temperatura gazului în timpul comprimării trebuie să fie mai mici, decât presiunea și temperatura în timpul dilatării (fig. 39.2), adică gazul trebuie să fie răcit. Obiectul, în contact cu care de la corpul de lucru se ia o oarecare cantitate de căldură se numește *răcitor*.

Orice motor termic este compus din trei părți principale: *încălzitor*, *corp de lucru*, *răcitor* (fig. 39.3).

titatea de căldură primită de la încălzitor; Q_1 — cantitatea de căldură cedată răcitorului. Cu cât mai puțină căldură este cedată răcitorului (se pierde), cu atât mai mare este randamentul motorului termic.

Randamentul motorului η — mărimea fizică, care caracterizează eficiența motorului termic și este egală cu raportul dintre lucrul efectuat de către motor în decursul unui ciclu și cantitatea de căldură primită de la încălzitor:

$$\eta = \frac{A}{Q_1}; \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Atrageți atenția! 1. Dacă în motorul cu ardere internă arde combustibilul, atunci $Q_1 = qm$, unde q — căldura specifică de ardere a combustibilului, m — masa combustibilului. 2. Randamentul motorului termic întotdeauna este mai mic decât unitatea.

Analizând lucrul motoarelor termice, inginerul francez Sadi Carnot (1796–1832) în anul 1824 a ajuns la concluzia, că cel mai eficient (cu randamentul maxim posibil η_{\max}) este așa-numitul *motorul termic ideal*, care funcționează într-un ciclu, care este compus din două procese izoterme și două adiabatice (fig. 39.4). Carnot a demonstrat că randamentul unui astfel de motor este:

$$\eta_{\max} = \frac{T_i - T_r}{T_i},$$

unde T_i — temperatura încălzitorului; T_r — temperatura răcitorului.

Legea a doua (principiul) a termodinamicii în formularea lui S. Carnot:

Orice motor termic real, care funcționează cu un încălzitor, care are temperatura T_i , și un răcitor cu temperatura T_r nu poate avea un randament, care depășește randamentul mașinii termice ideale.

Formularea lui Carnot arată, că pentru mărirea randamentului motorului termic este necesar să se micșoreze temperatura răcitorului și (sau) să se mărească temperatura încălzitorului. Însă temperatura răcitorului nu poate fi redusă mai jos, decât temperatura mediului înconjurător, iar temperatura încălzitorului este limitată de rezistența termică a materialelor, din care sunt confecționate pistonul și cilindrul motorului. De aceea randamentul maxim nu poate depăși 60–70%. Acum, eforturile principale ale inginerilor sunt orientate asupra sporirii randamentului real pe contul reducerii pierderilor de energie în timpul frecării și pierderii de combustibil în urma arderii incomplete a lui.

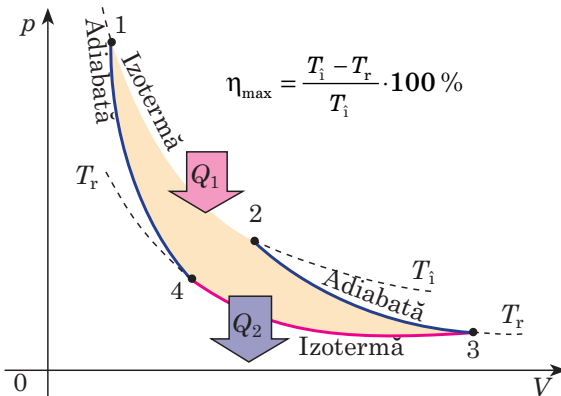


Fig. 39.4. Ciclul Carnot: 1-2 — dilatare izotermică la temperatura T_i , corpul de lucru primește căldura Q_1 ; 2-3 — dilatare adiabatică, micșorarea temperaturii până la T_r , schimb de căldură nu există; 3-4 — comprimare izotermică la temperatura de T_r , corpul de lucru cedează căldura; 4-1 — comprimare adiabatică, mărirea temperaturii până la T_i

4 Cum funcționează motoarele Diesel

Civilizația contemporană nu poate fi imaginată fără motoare termice. Cel mai pe larg ele sunt utilizate la centralele electrice termice și nucleare, unde turbinele cu abur puternice (motoare cu ardere externă) rotesc rotoarele generatoarelor curentului electric. Motoarele termice sunt de asemenea aplicate și în cele mai moderne mijloace de transport. În avioanele și rachetele puternice sunt instalate motoare reactive și turboreactive, în avioanele ușoare — cele cu pistoane. Navele maritime pot fi echipate atât cu motoare Diesel (motoare cu ardere internă) cât și cu turbine. Motoarele cu carburatoare și Diesel pun în mișcare majoritatea automobilelor moderne.

În cursul de fizică pentru clasa a 8-a v-ați familiarizat cu lucrul motorului cu carburator cu ardere internă. Să examinăm, cum funcționează *motorul Diesel*.

Spre deosebire de motorul cu carburator (în care amestecul carburant se formează în exteriorul cilindrului și se aprinde de la scânteia electrică), în motoarele Diesel combustibilul carburant se formează direct în interiorul cilindrului și este aprins în urma creșterii temperaturii aerului în timpul comprimării (fig. 39.5).

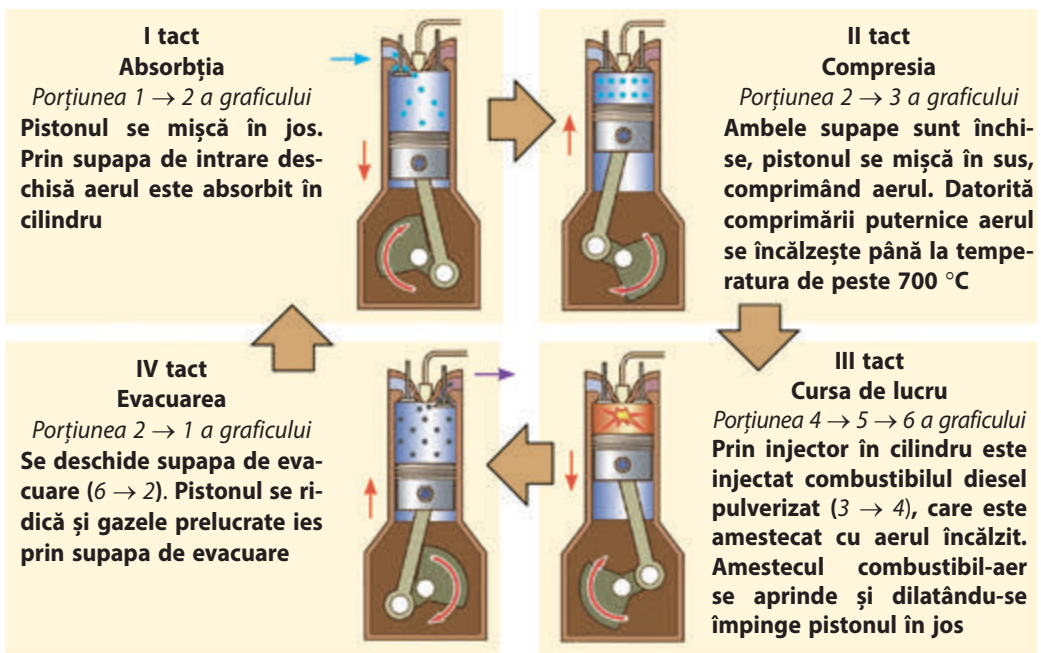
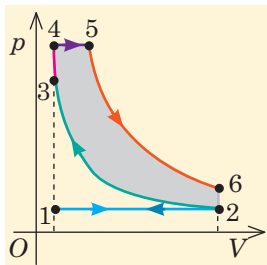


Fig. 39.5. Graficul ciclului și principiul de lucru al motorului Diesel cu patru tacte

Necătând la comoditate și utilitate, motoarele termice poluează mediul înconjurător (în primul rând acesta sunt emisiile de substanțe nocive, poluarea termică). Din păcate, acum omenirea nu poate să refuze utilizarea motoarelor termice, deci problemele ecologice, legate cu emisiile acestor motoare trebuie rezolvate.



Folosiți surse suplimentare de informații și aflați, ce programe internaționale de protecție a mediului înconjurător sunt astăzi în curs de implementare.

5 Cum funcționează dispozitivul frigorific

Dispozitivul frigorific — acesta-i dispozitivul de acțiune ciclică, care menține în camera frigorifică o temperatură mai joasă decât temperatura mediului înconjurător.

Principiul de funcționare al dispozitivului frigorific este reprezentat în fig. 39.6.

Corpul de lucru în dispozitivul frigorific este *agentul frigorific* — vapori de lichid, care se evaporă ușor. În urma comprimării agentul frigorific se condensează, în acest caz se degajă o cantitate mare de căldură Q_1 , care este transmisă printr-un schimbător de căldură mediului înconjurător. Comprimarea gazului se efectuează de către *compresor*, care efectuează lucrul mecanic A' pe contul energiei electrice.

În vaporizator presiunea de deasupra lichidului se reduce, agentul frigorific se evaporă, în acest timp se absoarbe cantitatea de căldură Q_2 . Deoarece comprimarea corpului de lucru are loc la o presiune mai mare decât dilatarea lui, lucrul gazului în decursul unui ciclu este negativ și egal cu:

$$A = Q_2 - Q_1.$$

Forțele exterioare în decursul unui ciclu efectuează un lucru pozitiv: $A' = Q_1 - Q_2$.

Mărimea fizică, care caracterizează eficiența funcționării dispozitivului frigorific și este egală cu raportul dintre cantitatea de căldură luată în decursul unui ciclu de la camera frigorifică și lucrul forțelor exterioare se numește **randamentul frigorific al dispozitivului**:

$$k = \frac{Q_2}{A'}; \quad k = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

Din legea a doua a termodinamicii reiese, că *randamentul frigorific maxim al dispozitivului* este:

$$k_{\max} = \frac{T_r}{T_1 - T_r}.$$

Atrageți atenția: coeficientul frigorific al dispozitivului poate fi mai mare decât unitatea (spre deosebire de randamentul motorului termic).

Dacă tuburile schimbătorului de căldură ar fi scoase din încăpere și camera frigorifică ar rămâne deschisă, atunci dispozitivul de răcire va lua căldura din încăpere și o va transmite mediului înconjurător. Așa funcționează aparatul de aer condiționat — aparatul electric destinat pentru răcirea aerului în încăpere.

Dacă tuburile schimbătorului de căldură vor rămâne în încăpere, iar camera frigorifică

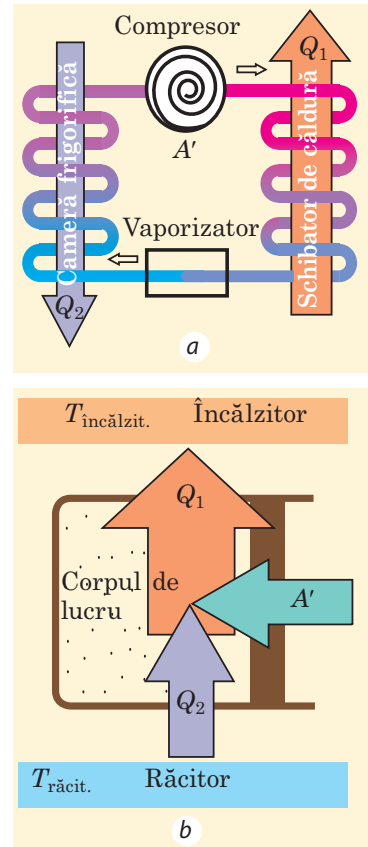


Fig. 39.6. Construcția (a) și principiul de funcționare (b) al dispozitivului frigorific: corpul de lucru se dilată și efectuează lucru, obținând cantitatea de căldură Q_2 de la camera frigorifică. Pe contul lucrului forțelor exterioare A' , corpul de lucru se comprimă, în acest caz mediului înconjurător i se transmite cantitatea de căldură $Q_1 = Q_2 + A'$

deschisă va fi scoasă în afara încăperii, atunci dispozitivul frigorific va lua căldura din mediul înconjurător și o va da încăperii. Așa funcționează *pompa termică* — *dispozitiv pentru încălzirea încăperii*. Interesant este faptul, că pompa de căldură funcționează mai eficient decât un încălzitor electric obișnuit, deoarece în timpul funcționării sale, cantitatea de căldură transferată încăperii ($Q_2 = A' + Q_1$) este mai mare decât lucrul curentului electric A' . Aparatele de aer condiționat moderne au două regimuri de funcționare: în timpul verii ele funcționează ca aparate de aer condiționat, iarna — ca pompe de căldură.



Facem totalurile

- Toate procesele macroscopice în natură au o anumită direcție, și în direcție inversă ele de sine stătător nu pot avea loc. Procesele, care pot avea loc arbitrar într-o singură direcție sunt numite ireversibile. Ireversibilitatea proceselor în natură reflectă a doua lege (principiul) a termodinamicii, care poate fi exprimată în felul următor: este imposibil procesul periodic, unicul rezultat al căruia — efectuarea unui lucru mecanic pe contul reducerii energiei sale interne.
- Motorul termic — mașina termică cu acțiune ciclică, care transformă energia degajată în timpul arderii combustibilului în lucru mecanic. Orice motor termic are trei părți: încălzitorul, corpul de lucru și răcitorul

- Randamentul motorului termic se determină prin formula $\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$;

el nu poate depăși randamentul unei mașini termice ideale: $\eta_{\max} = \frac{T_i - T_r}{T_i}$.

Dispozitivul frigorific — acesta-i dispozitivul de acțiune ciclică, care menține în camera frigorifică o temperatură mai joasă decât temperatura mediului înconjurător.



Întrebări de control

1. Dați exemple de procese naturale și demonstrați că ele sunt ireversibile.
2. Formulați a doua lege a termodinamicii.
3. Dați exemple de procese convenționale, care nu contrazic primul principiu al termodinamicii, dar îl contrazic pe cel de-al doilea.
4. Dați definiția motorului termic. Care sunt elementele lui principale?
5. Cum se determină randamentul motorului termic? Care sunt posibilitățile de sporire a randamentului motorului termic?
6. Cum se determină randamentul ciclului Carnot?
7. Cum funcționează dispozitivul frigorific? Dați exemple de diverse dispozitive frigorifice. În ce constă diferența dintre ele?
8. Ce indică randamentul frigorific?



Exercițiul nr. 39

1. Este oare posibil să se răcească aerul din încăpere, deschizând ușa frigiderului în lucru?
2. Mașina termică funcționează în ciclul Carnot. Determinați randamentul mașinii, dacă temperatura încălzitorului după scara Kelvin este mai mare, decât temperatura răcitorului: a) de 2 ori, b) de 3 ori, d) de n ori.
3. Cantitatea de căldură, pe care corpul de lucru o primește de la încălzitor este de 240 J, iar cea pe care el o cedă răcitorului — de 150 J. Determinați randamentul motorului și lucrul efectuată de el.
4. Într-o mașină termică cu puterea de 1,0 kW, care funcționează în ciclul Carnot, drept încălzitor este apa, luată la temperatura de fierbere, iar răcitor — gheața, care se topește. Ce masă de gheață se topește în timpul funcționării mașinii în decursul unui minut? Căldura specifică de topire a gheții — 330 kJ/kg.

FACEM TOTALURILE CAPITOLULUI III «FIZICA MOLECULARĂ ȘI TERMODINAMICA». Partea 2. Bazele termodinamicii

1. Voi ați aflat, că la bazele termodinamicii stă noțiunea de *energie internă*.

Energia internă U — suma dintre energia cinetică a mișcării haotice a particulelor substanței și energia potențială a interacțiunii lor

Metodele de schimbare a energiei interne

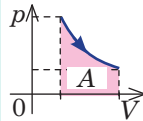
Transmiterea de căldură

Cantitatea de căldură:

- ♦ de încălzire/răcire a substanței: $Q = cm\Delta T = C\Delta T$
- ♦ de topire/cristalizare a substanței: $Q = \lambda m$
- ♦ de vaporizare/condensare a substanței: $Q = Lm$, $Q = rm$

Lucrul

Numeric este egal cu aria figurii de sub grafiul dependenței $p(V)$



Energia internă a gazului monoatomic ideal

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{3}{2} pV$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} R\Delta T$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

2. Voi ați făcut cunoștință cu *legea conservării și transformării energiei în termodinamică*.

Prima lege a termodinamicii: $Q = \Delta U + A$

Procesul adiabatic:

$$Q = 0, \\ A = -\Delta U$$

Procesul izotermic:

$$\Delta U = 0, \\ Q = A$$

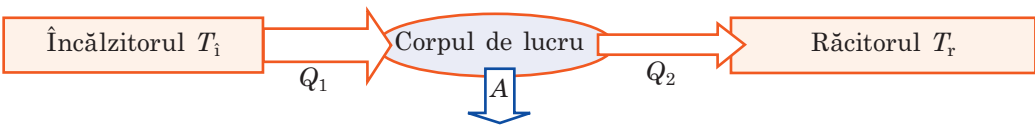
Procesul izobar:

$$Q = \Delta U + A, \\ Q = \Delta U + p\Delta V$$

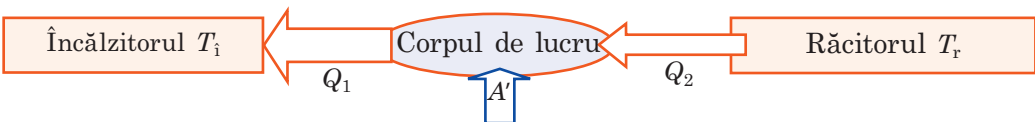
Procesul izocor:

$$A = 0, \\ Q = \Delta U$$

3. V-ați amintit principiul de lucru al motoarelor termice:



4. Ați aflat despre *principiul de lucru al dispozitivului frigorific*:



5. Ați stabilit de ce *randamentul mașinii termice întotdeauna este mai mic decât 100%*, ați aflat, cum se calculează *randamentul η* și cum se determină *coeficientul frigorific k* .

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_r}{T_1}$$

$$k = \frac{Q_2}{A'} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

$$k_{\max} = \frac{T_r}{T_1 - T_r}$$

CAPITOLUL IV. CÂMPUL ELECTRIC

i

§ 40. ALFABETUL ELECTROSTATICII



Toate tipurile de forțe elastice și de frecare au o natură electromagnetă; activitatea vitală a plantelor, a organismelor animalelor și oamenilor se bazează pe interacțiunile electromagnetice. Studiază această interacțiune electrodinamică — știința despre proprietățile câmpului electromagnetic, prin care se realizează interacțiunea dintre particulele sau corpurile încărcate electric. Dacă corpurile sau particulele încărcate electric se află în stare de repaus, interacțiunea lor se studiază în capitolul electrodinamicii, care se numește electrostatică. Cu elementele de bază ale *electrostaticii*, ați făcut cunoaștință în cursul de fizică pentru clasa a 8-a. Dar iată pentru a merge mai departe, este necesar să ne amintim noțiunile de bază.

1 Ce este sarcina electrică

Sarcina electrică q — aceasta-i mărimea fizică, care caracterizează proprietatea particulelor sau a corpurilor de a intra în interacțiune electromagnetice.

Unitatea de măsură a sarcinii electrice în SI — coulombul: $[q]=1\text{ C (C)}$.

1 coulomb este egal cu sarcina electrică, care trece prin secțiunea transversală a conductorului în 1 s, dacă intensitatea curentului în conductor constituie 1 amper:

$$1\text{ C}=1\text{ A}\cdot\text{s} \quad (1\text{ C}=1\text{ A}\cdot\text{s}).$$

Principalele proprietăți ale sarcinii electrice

1. Există două feluri de sarcini electrice — *pozitive și negative*. Sarcină electrică de felul, ca și sarcina obținută de chihlimbar sau de bastonașul din ebonită, frecate de lână s-a primit să fie numită negativă, iar de felul, ca sarcina obținută de bastonașul din sticlă, frecat de mătase — pozitivă.

2. Corpurile, care au sarcini de același fel *se resping*; corpurile, care au sarcini de semne opuse *se atrag*.

3. Purtătorul de sarcină electrică este *particula* — sarcina electrică nu există separat de ea.

4. Sarcina electrică este *discretă*, adică sarcinile electrice ale corpurilor fizice sunt multipliile ale celei mai mici sarcini electrice (elementare). *Purtătorul celei mai mici sarcini negative — electronul*. Această sarcină de obicei se notează cu simbolul e ; valoarea ei: $e=-1,6\cdot 10^{-19}\text{ C}$. *Purtătorul celei mai mici sarcini electrice pozitive — protonul*. Sarcina protonului este egală ca modul cu sarcina electronului. Dacă q — sarcina corpului, e — sarcina electronului, N — număr întreg, atunci $|q|=N|e|$.

2 Cum a fost măsurată sarcina electronului

Prima măsurare destul de precisă a sarcinii elementare a fost efectuată de către fizicianul experimentator american Robert Endrush Milliken (1868–1953) la începutul secolului al XX-lea. Schema experimentului lui este reprezentată în fig. 40.1. În spațiul dintre plăcile încărcate, sarcinile cărora puteau

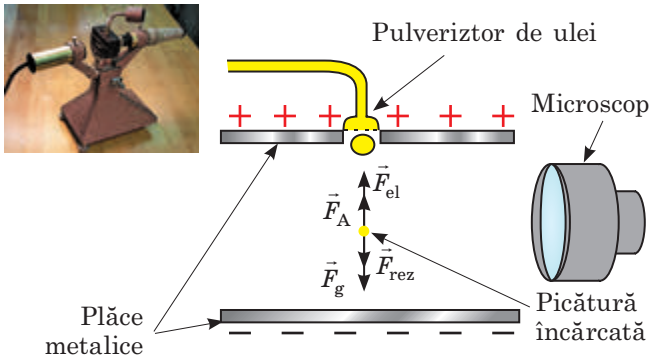


Fig. 40.1. Dispozitivul pentru experiență și schema experienței lui R. Milliken, privind determinarea sarcinii electronului. Asupra picăturii, ce nimereste între plăci, acționează forța de greutate (\vec{F}_g), forța de rezistență a aerului (\vec{F}_{rez}), forța arhimedică (\vec{F}_A) și forța din partea câmpului electric al plăcilor încărcate (\vec{F}_{el})

fi schimbate lin, savantul injecta ulei. În timpul injectării se formau picături foarte mici, o parte dintre care purtau sarcină negativă.

De fiecare dată Milliken urmărea o picătură separată încărcată. Schimbând lin sarcina plăcilor, cercetătorul tindea ca picătura să urce uniform în sus. Este clar că, în acest caz forțele, care acționau asupra picăturii erau compensate. Având în vedere acest lucru, precum și faptul că forța \vec{F}_{el} , care acționa asupra picăturii din partea plăcilor, este direct proporțională cu sarcina picăturii, savantul a calculat sarcina picăturii.

Repetind măsurătorile de multe ori (istoricii susțin, că experimentele au durat aproape 4 ani), Milliken a constatat, că de fiecare dată sarcina picăturii q era multiplă unei oarecare sarcini mici: $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Adică $q = Ne$, unde N — număr întreg.

Picăturile cercetate au fost încărcate negativ, adică aveau un surplus de electroni. De aceea învățatul a ajuns la concluzia, că cea mai mică sarcină — aceasta-i sarcina electronului.

Un rezultat important al lucrării lui Milliken — nu numai determinarea sarcinii electronului, ci și demonstrarea discreției sarcinii electrice.

3 Ce se întâmplă în timpul electrizării

Electrizarea — acesta-i procesul de obținere a sarcinii electrice de către corpurile macroscopice sau de părțile lor.

Există câteva metode de electrizare, printre care — *electrizarea prin frecare (triboelectricitatea)*. Voi deja știți, că în procesul electrizării prin frecare are loc contactul apropiat între două corpuri, confecționate din materiale diferite și o parte din electroni trece de la un corp la altul. După separarea corpurilor se dovedește, că corpul, care a cedat o parte din electronii lui, este încărcat *pozitiv*, iar corpul care a primit acești electroni este încărcat *negativ* (fig. 40.2).

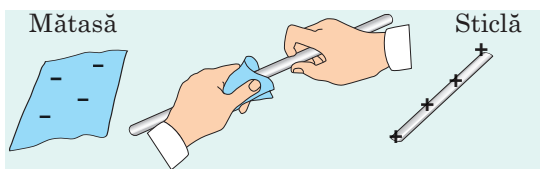


Fig. 40.2. În timpul electrizării prin frecare o parte din electroni de pe bastonașul din sticlă va trece pe bucățica de mătase, în rezultat bastonașul din sticlă va obține sarcină pozitivă, iar bucățica de mătase — negativă

Pentru orice metodă de electrizare a corpurilor are loc o *redistribuire* a sarcinilor electrice prezente în ele, și nu apariția unor noi. Această afirmație este o consecință a uneia dintre cele mai importante legi ale naturii — **legii conservării sarcinii electrice**:

Sarcina electrică totală a unui sistem închis de corpuri rămâne neschimbată în timpul tuturor interacțiunilor, care au loc în acest sistem:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const},$$

unde q_1, q_2, \dots, q_n — sarcinile corpurilor, care formează sistemul; n — numărul corpurilor.

Astfel, dacă până la electrizarea prin frecare a bastonașului din sticlă de pânza de mătase și bastonașul, și pânza erau neelectrizate, atunci după frecare ele vor fi încărcate, totodată sarcinile lor vor fi egale ca modul și opuse ca semne. Adică sarcina lor sumară, ca și până la experiență, va fi egală cu zero.

4 Ce studiază legea lui Coulomb

Fizicianul francez *Charles Coulomb* (1736–1806) a stabilit pe cale experimentală legea, care a devenit *legea fundamentală a electrostaticii* și a fost numită în cinstea lui, — **legea lui Coulomb**:

Forța \vec{F} de interacțiune a două sarcini punctiforme imobile q_1 și q_2 este direct proporțională cu produsul modulelor acestor sarcini și invers proporțională cu pătratul distanței r dintre ele:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2},$$

unde $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$ — coeficient de proporționalitate. Ne reamintim: **sarcina punctiformă** — *aceasta-i modelul fizic al corpului încărcat, dimensiunile căruia pot fi neglijate în comparație cu distanțele de la el până la alte corpuri, ce sunt studiate.*

Coeficientul de proporționalitate k numeric este egal cu forța, cu care interacționează două sarcini punctiforme a câte 1 C fiecare, situate în *vid* la distanța de 1 m una față de alta.

Uneori în loc de coeficientul k este utilizat alt coeficient — ϵ_0 , ce are denumirea de **constantă electrică**:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}.$$

Atunci scrierea matematică a legii lui

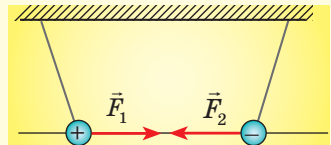
Coulomb va avea așa un aspect: $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$.

Atrageți atenția!

- În legea lui Coulomb merge vorba despre produsul *modulelor* sarcinilor, deoarece semnele sarcinilor influențează numai supra direcției forței.

- Forțele, cu care interacționează sarcinile punctiforme, de obicei, sunt numite *forțe coulombiene*.

- Forțele coulombiene sunt orientate de-a lungul unei drepte, care unește sarcinile punctiforme, ce interacționează.



- Dacă este necesar de a determina forța de interacțiune dintre sarcini în cazul, când interacționează trei sarcini sau mai multe, mai întâi se determină forța de interacțiune dintre o anumită sarcină cu fiecare dintre sarcinile rămase, iar apoi se calculează rezultanta lor.

- Dacă sarcinile se vor deplasa din *vid* într-un dielectric, atunci forța de interacțiune a lor se va micșora de ϵ ori, unde ϵ este permitivitatea dielectrică a dielectricului (vezi § 43).

5 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. Pe dreapta, care unește sarcina pozitivă și sarcina negativă q_2 , fiecare dintre ele fiind egală ca modul cu $5 \cdot 10^{-7}$ C, este amplasată sarcina $q_3 = -1 \cdot 10^{-8}$ C. Distanța r_1 dintre sarcinile q_1 și q_3 este egală cu 6 cm, distanța r_2 dintre sarcinile q_2 și q_3 este egală cu 3 cm. Calculați forța, care acționează asupra sarcinii q_3 , dacă ea este situată între sarcinile q_1 și q_2 .

Дано:

$$|q_1| = |q_2| = 5 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

$$|q_3| = 1 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

$$r_1 = 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$r_2 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

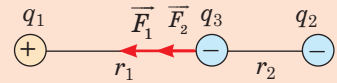
$$\vec{F} \text{ — ?}$$

Analiza problemei fizice, rezolvarea

Vom efectua un desen explicativ, în care vom reprezenta forțele \vec{F}_1 și \vec{F}_2 , care acționează asupra sarcinii q_3 din partea sarcinilor q_1 și q_2 .

După cum se vede din desen, modulul rezultantei forței \vec{F} , cu care sarcinile q_1 și q_2 acționează asupra sarcinii q_3 este egal cu: $F = F_2 + F_1$. Conform legii lui Coulomb:

$$F_1 = k \frac{|q_1| |q_2|}{r_1^2}; \quad F_2 = k \frac{|q_2| |q_3|}{r_2^2}.$$



Verificăm unitatea de măsură, aflăm valoarea mărimii căutate: $[F] = \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{\text{C}^2}{\text{m}} = \text{N}$;

$$F_2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-8} \cdot 5 \cdot 10^{-7}}{36 \cdot 10^{-4}} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ (N)}; \quad F_1 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-8} \cdot 5 \cdot 10^{-7}}{9 \cdot 10^{-4}} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ (N)};$$

$$F = 5 \cdot 10^{-2} \text{ N} + 1,25 \cdot 10^{-2} \text{ N} = 6,25 \cdot 10^{-2} \text{ N}.$$

Răspuns: $F = 62,5 \text{ mN}$.



Întrebări de control

1. Ce se numește sarcină electrică? 2. Numiți unitatea de măsură a sarcinii electrice. 3. Ce feluri de sarcini electrice există? 4. Cum interacționează corpurile, care au sarcini de același semn? de semne opuse? 5. Care particulă are cea mai mică sarcină negativă? cea mai mică sarcină pozitivă? 6. Cum înțelegeți afirmația, că sarcina electrică este discretă? 7. Cine și cum a măsurat pentru prima dată sarcină electronului? 8. Dacă corpul neutru din punct de vedere electric va ceda o parte din electronii săi, sarcină de ce semn el va avea? 9. De ce în timpul electrizării prin frecare se electrizează ambele corpuri? 10. Formulează legea conservării sarcinii electrice. 11. Formulați legea lui Coulomb.



Exercițiul nr. 40

- Cum se comporta părul vostru imediat după ce ați tras peste cap un pulover, de exemplu din acril? De ce?
- Cum se va schimba forța de interacțiune dintre două sarcini, dacă distanța dintre ele se va mări de 4 ori, iar modulul fiecărei sarcini se va mări de 2 ori?
- Două bile identice mici din metal sunt încărcate astfel, încât modulul sarcinii uneia dintre ele să fie de 5 ori mai mare decât modulul sarcinii celeilalte. Bilele s-au atins una de alta și s-au respins la distanța inițială. De câte ori s-a schimbat forța de interacțiune dintre bile, dacă înainte de atingere ele au fost încărcate cu sarcini de același semn? de semne opuse?
- De un fir de mătase este suspendată o bilă mică, care are sarcina de C și masa de 2 g. După ce dedesubt de ea a fost suspendată a doua bilă încărcată, forța de tensiune a firului, care acționează asupra primei bile a crescut de 2 ori. Determinați distanța dintre bile, dacă sarcinile lor sunt egale ca modul.



Michael Faraday
(1791–1867)

Care este mecanismul interacțiunii al sarcinilor? Cum sarcinile «se simt» una pe alta și interacționează la distanță? Căutarea răspunsurilor la aceste și multe altele întrebări l-au adus pe fizicianul englez *Michael Faraday* la ideea de câmp, pe care *Albert Einstein* a numit-o mai târziu cea mai importantă descoperire după timpurile lui Newton. În cursul de fizică voi deja ați întâlnit noțiunea de câmp, însă acum vă veți familiariza cu el mai detaliat.

1 Ce se numește câmp electric

Conform ideii lui M. Faraday *sarcinile electrice nu acționează nemijlocit una asupra alteia. Fiecare sarcină creează în spațiul înconjurător un câmp electric și interacțiunea sarcinilor se petrece prin câmpurile lor.* De exemplu, interacțiunea a două sarcini electrice q_1 și q_2 se reduce la aceea, că câmpul sarcinii q_1 acționează asupra sarcinii q_2 , iar câmpul sarcinii q_2 acționează asupra sarcinii q_1 .

Câmpul electric se propagă în spațiu cu o viteză enormă, dar finită, — cu viteza de propagare a luminii. Datorită acestei proprietăți, interacțiunea dintre două sarcini nu începe momentan, ci după un anumit interval de timp Δt . O astfel de întârziere a interacțiunii este dificil de detectat la distanțe de câțiva metri, dar la o scară cosmică ea este destul de vizibilă.

Omul cu ajutorul simțurilor nu poate nemijlocit sesiza câmpul electric, însă *materialitatea*, adică obiectivitatea existenței lui, a fost demonstrată experimental.

Câmpul electric — o formă a materiei, care există în jurul corpurilor electrizate și se manifestă prin acțiunea cu o forță oarecare asupra oricărui corp încărcat care se află în acest câmp.

Câmpul electric este o parte componentă a câmpului electromagnetic unitar. Surse de câmp electric pot fi sarcinile electrice mobile și imobile și câmpurile magnetice variabile.

Câmpul electric creat doar de sarcinile *imobile* este constant în timp (*static*). Un astfel de câmp se numește **electrostatic**.

2 Ce se consideră caracteristică de forță a câmpului electric

Câmpul electric, ce înconjoară corpul electrizat poate fi studiat cu ajutorul *sarcinii de probă*. Este clar că ea nu trebuie să modifice câmpul studiat, de aceea în această calitate se folosește *sarcina punctiformă*, mică ca valoare.

Deci, pentru a studia câmpul electric într-un punct oarecare, trebuie de introdus sarcina de probă q în acest punct și de măsurat forța \vec{F} , care acționează asupra ei. Este evident, că în punctul unde asupra sarcinii acționează o forță mai mare, câmpul electric este mai intens. Însă forța care acționează asupra sarcinii de probă în câmpul electric depinde de această sarcină. Dar

iată raportul $\frac{\vec{F}}{q}$ nu depinde de sarcină, deci, această raport poate fi considerat ca o *caracteristică de forță a câmpului*.

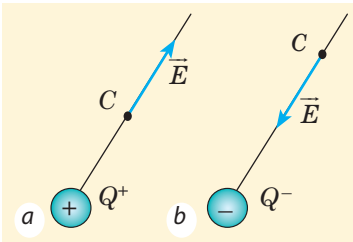


Fig. 41.1. Determinarea direcției vectorului \vec{E} al intensității câmpului electric într-un punct oarecare C : câmpul este format de o sarcină punctiformă Q^+ (a); de o sarcină punctiformă Q^- (b)

Intensitatea câmpului electric \vec{E} în punctul dat — mărimea fizică vectorială, care caracterizează câmpul electric și este egală cu raportul forței \vec{F} , cu care câmpul electric acționează asupra sarcinii de probă, situate în acest punct al câmpului, către valoarea q a acestei sarcini:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Ca direcție a vectorului intensității în punctul dat al câmpului electric, se ia direcția forței, care ar fi acționat asupra sarcinii pozitive de probă dacă ea ar fi fost plasată în acest punct al câmpului (fig. 41.1).

Formula $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ permite de determinat unitatea de măsură a intensității câmpului electric:

$$[E] = 1 \frac{\text{N}}{\text{C}} \left(\frac{\text{N}}{\text{C}} \right).$$

Fie că sarcina punctiformă Q , amplasată în vid, formează câmpul electric. Să cercetăm acest câmp cu ajutorul unei sarcini de probă q situate la o distanță r de la sarcina Q . Din partea câmpului asupra sarcinii de probă acționează forța lui Coulomb: $F = k \frac{|Q| \cdot |q|}{r^2}$.

Deoarece modulul intensității câmpului $E = \frac{F}{|q|}$, avem: $E = k \frac{|Q| \cdot |q|}{r^2 |q|} = k \frac{|Q|}{r^2}$.

Deci, *modulul intensității câmpului electric \vec{E} creat de sarcina punctului Q la distanța r de această sarcină se calculează după formula:*

$$E = k \frac{|Q|}{r^2}, \text{ sau } E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|Q|}{r^2}.$$

3 În ce constă esența principiului superpoziției câmpurilor

Știind intensitatea \vec{E} a câmpului electric format de o sarcină oarecare în punctul dat al spațiului, nu este greu de determinat modulul și direcția vectorului forței, cu care câmpul va acționa asupra oricărei sarcini plasate în acel punct:

$$\vec{F} = q\vec{E}.$$

Dacă câmpul este format de câteva sarcini, atunci forța rezultantă care acționează asupra sarcinii de probă din partea sistemului de sarcini se determină prin suma geometrică a tuturor forțelor, cu care aceste sarcini acționează asupra sarcinii de probă dată:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n.$$

Atrageți atenția!

Formula $E = k \frac{|Q|}{r^2}$ se adeverește și pentru intensitatea câmpului unei sfere încărcate uniform la distanțe, care sunt mai mari decât raza ei sau egale cu ea, deoarece câmpul sferei în afara sferei și pe suprafața ei coincide cu câmpul sarcinii punctiforme, amplasate în centrul sferei.

De aici reiese **principiul suprapoziției (suprapunerii) câmpurilor electrice:**

Intensitatea câmpului electric a unui sistem de sarcini în punctul dat al spațiului este egală cu suma vectorială a intensităților câmpurilor, care sunt create de aceste sarcini în punctul dat (fig. 41.2):

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

4 Cum de făcut ca să fie vizibilă repartizarea câmpului în spațiu

Câmpul electric poate fi reprezentat *grafic*, folosind *liniile intensității câmpului electric (linii de forță)* — linii, pentru care tangentele duse în fiecare punct coincid cu direcția vectorului intensității câmpului electric (fig. 41.3).

Liniile de forță ale câmpului electric au *proprietăți generale* (aceasta rezultă din definiția lor): ele nu se intersectează; nu au frânturi; încep pe sarcinile pozitive și se termină pe cele negative.

Este foarte simplu de construit liniile de forță ale câmpului format de o sarcină punctiformă separată (fig. 41.4). Aceste «familii» de linii de forță ale câmpurilor sarcinilor punctiforme demonstrează, că sarcinile sunt surse ale câmpului.

Pe baza tabloului liniilor de forță se poate face concluzia nu numai despre direcția vectorului intensității \vec{E} , dar și despre modulul lui. Într-adevăr, pentru sarcini punctiforme intensitatea câmpului este mai mare pe măsură apropierii de sarcină și, după cum se vede din fig. 41.4, liniile de forță totodată se îndesesc.

Dacă distanța dintre liniile intensității într-un domeniu oarecare al spațiului este la fel, atunci este la fel și intensitatea câmpului în acest domeniu. Câmpul electric, a cărui vectori ai intensității sunt la fel în toate punctele spațiului se numește *uniform*.

Este dificil de construit tabloul exact al liniilor de forță ale câmpului electric format de orice corp încărcat, de aceea de obicei se limitează cu reprezentarea tabloului apropiat, călăuzindu-se de o simetrie anumită în amplasarea sarcinilor (fig. 41.5).

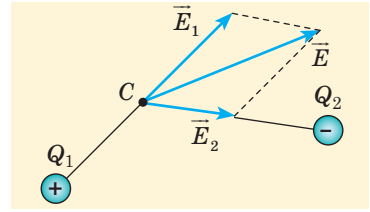


Fig. 41.2. Determinarea intensității câmpului electric în punctul C. Câmpul este format de două sarcini punctiforme Q_1 și Q_2

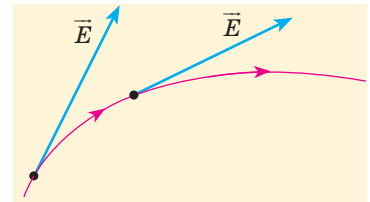


Fig. 41.3. Liniile de forță a câmpului electric (pe figură este reprezentată cu roșu)

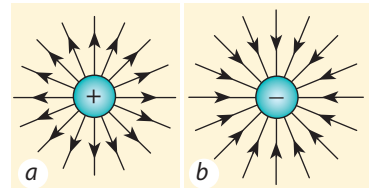


Fig. 41.4. Liniile de forță ale câmpului electric format de sarcină punctiformă: a — pozitivă; b — negativă

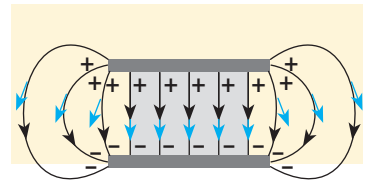


Fig. 41.5. Tabloul liniilor de forță ale câmpului electric format de un sistem din două plăci, sarcinile cărora sunt egale după modul și opuse ca semn. Cu albastru sunt marcați vectorii intensității

Atrageți atenția la tabloul liniilor de forță ale câmpului format de un sistem de două plăci electrizate cu sarcini diferite (vezi fig. 41.5): în domeniul spațiului dintre plăci, situat comparativ mai departe de marginile plăcilor (pe fig. acest domeniu este colorat), liniile intensității sunt paralele și distanțele dintre ele sunt egale, adică câmpul din acest domeniu este omogen.



Facem totalurile

- Câmpul electric — o formă a materiei, care există în jurul corpurilor electrizate și se manifestă prin acțiunea cu o forță oarecare asupra oricărui corp încărcat care se află în acest câmp.
- Caracteristica de forță a câmpului electric — intensitatea \vec{E} : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$.
- Intensitatea câmpului electric a unui sistem de sarcini în punctul dat al spațiului este egală cu suma vectorială a intensităților câmpurilor, care sunt create de aceste sarcini în punctul dat: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$.
- Pentru reprezentarea grafică a câmpurilor electrice se folosesc liniile intensității câmpului electric (linii de forță) — linii, pentru care tangentele duse în fiecare punct coincid cu direcția vectorului intensității câmpului electric.



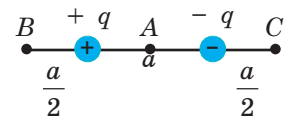
Întrebări de control

1. Ce se numește câmp electric? 2. Care obiecte formează câmp electric? 3. Care este caracteristica de forță a câmpului electric? După care formulă ea se calculează? 4. Cum se determină intensitatea câmpului format de sarcina punctiformă? 5. În ce constă principiul superpoziției câmpurilor? 6. Ce se numește linie a intensității câmpului electric? 7. Oare pot liniile câmpului electric să se intersecteze? să fie paralele?



Exercițiul nr. 41

1. Cu ce forță câmpul electric cu intensitatea de 250 N/C acționează asupra unei sarcini de 40 nC?
2. Sarcina electrică punctiformă de $8 \cdot 10^{-10}$ C este situată într-un punct oarecare al câmpului electric. Determinați intensitatea câmpului electric în acest punct, dacă se știe că câmpul acționează asupra sarcinei cu o forță de $2 \cdot 10^{-7}$ N.
3. Cum se va mișca electronul, care a zburat într-un câmp electric omogen: a) în direcție opusă direcției liniilor de forță? b) perpendicular pe direcția liniilor de forță? Cum se va mișca în asemenea cazuri protonul?
4. Intensitatea câmpului unei sarcini punctiforme la distanța de 30 cm de la această sarcină — 600 N/C. Cu ce este egală intensitatea câmpului la distanța de 10 cm de la sarcină?
5. În vârfurile pătratului cu latura a , sunt plasate sarcini punctiforme egale după modul. Determinați intensitatea câmpului în centrul pătratului dacă: a) toate sarcinile sunt pozitive; b) una dintre sarcini este negativă.
6. Două sarcini punctiforme $+q$ și $-q$ sunt situate la distanța a una de alta (vezi fig.). Aflați intensitatea câmpului în punctul A , care împarte segmentul, ce unește sarcinile, în jumătate; în punctele B și C , situate pe prelungirile acestui segment, la distanță $\frac{a}{2}$ de cea mai apropiată sarcină.



§ 42. LUCRUL LA DEPLASAREA SARCINEI ÎN CÂMPUL ELECTROSTATIC. POTENȚIALUL



În viața de toate zilele, noi deseori, mai ales în vreme uscată, ne întâlnim cu situația, când după ce ne atingem de un corp, simțim o lovitură neplăcută. După cum arată experiența, astfel de surprize pot fi așteptate de la corpurile cu potențial înalt. Anume cu noțiunea de potențial veți face cunoștință în acest paragraf.

1 Cum de calculat lucrul efectuat la deplasarea sarcinii într-un câmp electrostatic uniform

Dacă câmpul electrostatic acționează cu o anumită forță asupra corpurilor încărcate electric, atunci el este capabil să efectueze lucrul de deplasare ale acestor corpuri.

Fie că într-un câmp electric omogen cu intensitatea \vec{E} sarcina electrică punctiformă pozitivă q se deplasează din punctul 1 cu coordonata x_1 în punctul 2 cu coordonata x_2 (fig. 42.1).

Să calculăm lucrul A , pe care-l efectuează forța \vec{F} , care acționează asupra sarcinii din partea câmpului electrostatic. Din definiție: $A = F s \cos \alpha$.

Câmpul este uniform, de aceea forța \vec{F} este constantă și modulul ei este: $\vec{F} = q\vec{E}$, iar $s \cos \alpha = d = x_2 - x_1$ este proiecția vectorului deplasării în direcția liniilor de forță ale câmpului. Deci, lucrul forțelor câmpului electrostatic uniform în timpul deplasării sarcinii electrice q din punctul 1 în punctul 2 ($A_{1 \rightarrow 2}$) este egal cu:

$$A_{1 \rightarrow 2} = qE(x_2 - x_1), \text{ sau } A_{1 \rightarrow 2} = qEd$$

Atrageți atenția! Dacă în acest caz sarcina nu s-ar fi deplasat din punctul 1 în punctul 2, ci invers, atunci semnul lucrului s-ar fi schimbat în opus, adică lucrul s-ar fi efectuat împotriva forțelor câmpului.

- ❓ Ce rezultat s-ar fi obținut, dacă din punctul 1 în punctul 2 nu s-ar fi deplasat o sarcină pozitivă, dar negativă?

2 Energia potențială a corpului încărcat într-un câmp creat de o sarcină punctiformă

Corpul încărcat amplasat într-un câmp electrostatic, la fel ca și corpul, care se află în câmp gravitațional al Pământului, are energie

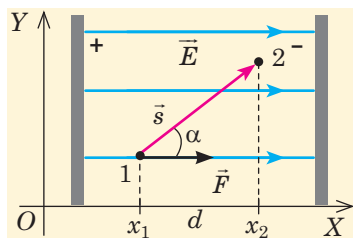


Fig. 42.1. Pentru calculul lucrului forței câmpului electrostatic uniform

Atrageți atenția!
Formula $A_{1 \rightarrow 2} = qE(x_2 - x_1)$ se va realiza în cazul mișcării sarcinii pe orice traiectorie. Adică câmpul electrostatic uniform este **potențial**. Orice câmp electrostatic este potențial: lucrul forțelor electrostatice (coulombiene) (ca și lucrul forțelor gravitaționale) nu depinde de forma traiectoriei, după care se deplasează sarcina, dar se determină de pozițiile inițială și finală ale sarcinii; în cazul traiectoriei închise a mișcării sarcinii lucrul forțelor câmpului este egal cu zero.

potențială. Energia potențială a sarcinii situate într-un câmp electric de obicei se notează cu simbolul W_p . Conform teoremei despre energia potențială variația energiei potențiale a sarcinei, luată cu semnul opus, este egală cu lucrul efectuat de câmpul electrostatic în timpul deplasării sarcinii din punctul 1 în punctul 2 al câmpului:

$$A_{1 \rightarrow 2} = -\Delta W_p = W_{p1} - W_{p2}$$

Energia potențială de interacțiune a două sarcini punctiforme Q și q , situate la distanța r una de alta se determină după formula:

$$W_p = k \frac{Qq}{r}$$

Atrageți atenția: 1) energia potențială a interacțiunii sarcinilor este pozitivă ($W_p > 0$), dacă sarcinile sunt *de același nume* și negativă ($W_p < 0$), dacă sarcinile sunt *de semne diferite*; 2) dacă sarcinile vor fi sunt îndepărtate înfinit de mult una de celălaltă ($r \rightarrow \infty$), atunci $W_p = 0$ (sarcinile nu interacționează).

Astfel, *energia potențială a interacțiunii a două sarcini punctiforme este egală cu lucrul, pe care trebuie să-l efectueze câmpul electrostatic pentru a mări distanța dintre aceste sarcini de la r până la înfinit.*

3

Ce se numește potențialul câmpului electrostatic

Potențialul φ al câmpului electrostatic în punctul dat — mărimea fizică scalară, care caracterizează proprietățile energetice ale câmpului și este egală cu raportul dintre energia potențială W_p a sarcinii electrice, plasată în punctul dat al câmpului, și valoarea acestei sarcini q :

$$\varphi = \frac{W_p}{q}$$

Unitatea de măsură a potențialului în SI — voltul: $[\varphi] = 1 \text{ V} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}}$ ($1 \text{ V} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}}$)

Din definiția potențialului rezultă, că *potențialul φ al câmpului creat de sarcina punctiformă Q în punctele, care sunt situate la distanța r de la această sarcină poate fi calculat după formula:* $\varphi = k \frac{Q}{r}$ (*).

Din formula (*) vedem: 1) dacă câmpul este creat de o sarcină punctiformă pozitivă ($Q > 0$), atunci potențialul acestui câmp în orice punct este pozitiv ($\varphi > 0$); 2) dacă câmpul este creat de o sarcină punctiformă negativă ($Q < 0$), atunci potențialul acestui câmp în orice punct este negativ ($\varphi < 0$). Formula (*) se realizează și pentru potențialul câmpului unei sfere (sau bile) în-cărcate uniform la distanțe, care sunt mai mari sau egale cu raza ei.

Dacă câmpul este format de câteva sarcini plasate în mod arbitrar, potențialul φ al câmpului în orice punct al acestui câmp este egal cu suma algebrică a potențialelor $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ ale câmpurilor formate de fiecare sarcină:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$$

4 Cum se definește diferența de potențial

Când în câmpul electrostatic sarcina se mișcă din punctul 1 în punctul 2, acest câmp efectuează un lucru egal cu variația energiei potențiale a sarcinii luată cu semnul opus: $A_{1 \rightarrow 2} = W_{p1} - W_{p2}$. Deoarece $W_p = q\varphi$, atunci $A_{1 \rightarrow 2} = q\varphi_1 - q\varphi_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2)$. Expresia $(\varphi_1 - \varphi_2)$ — *diferența dintre valorile potențialului φ_1 în punctul inițial și potențialul φ_2 în punctul final al traiectoriei mișcării sarcinii* — are denumirea de *diferență de potențial*.

Diferența de potențial — mărimea fizică scalară, care este egală cu raportul dintre lucrul forțelor câmpului electrostatic pentru deplasarea sarcinii din punctul inițial în punctul final și valoarea acestei sarcini:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{1 \rightarrow 2}}{q}$$

Unitatea de măsură a diferenței de potențial în SI — **voltul**: $[\varphi_1 - \varphi_2] = = 1 \text{ V (V)}$.

Diferența de potențial dintre două puncte ale câmpului este egală cu 1 V, dacă pentru a deplasa o sarcină de 1 C de la un punct la altu câmpul electric efectuează un lucru de 1 J.

Trebuie de menționat, că diferența în potențial $(\varphi_1 - \varphi_2)$ în asemenea cazuri se mai numește tensiune (U). Este important să nu confundăm *variația potențialului* $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ cu *diferența de potențial (tensiunea)* $\varphi_1 - \varphi_2$.

5 Cum sunt legate intensitatea câmpului electrostatic și diferența de potențial

Să examinăm câmpul electrostatic *uniform* pe o porțiune dintre punctele 1 și 2, situate la distanța d unul de altul; fie că din punctul 1 în punctul 2 sub acțiunea câmpului se deplasează sarcina q (fig. 42.2). Lucrul efectuat de câmp poate fi exprimat prin diferența de potențial $(\varphi_1 - \varphi_2)$ dintre punctele 1 și 2: $A_{1 \rightarrow 2} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$ — sau prin intensitatea \vec{E} a câmpului: $A_{1 \rightarrow 2} = F s \cos\alpha = = qEd \cos\alpha = qE_x d$, unde $E_x = E \cos\alpha$ — proiecția vectorului \vec{E} pe axa lui OX , dusă prin punctele 1 și 2.

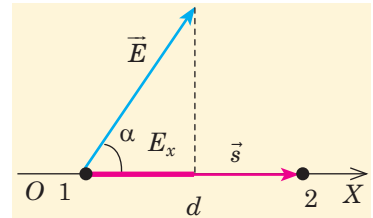


Fig. 42.2. La deducerea formulei a dependenței intensității câmpului electrostatic și a diferenței de potențial

Comparând ambele expresii ale lucrului, avem: $q(\varphi_1 - \varphi_2) = qE_x d$, de unde:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = E_x d, \text{ sau } E_x = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}.$$

În cazul, când direcția deplasării sarcinii coincide cu direcția intensității câmpului electric ($\vec{E} \uparrow \uparrow \vec{s}$), această formulă primește forma:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}, \text{ sau } E = \frac{U}{d}$$

? Din ultima formulă reiese *unitatea de măsură a intensității câmpului în SI* — **volt pe metru**: $[E] = 1 \frac{\text{V}}{\text{m}}$. Demonstrați, că $1 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C}}$.

6 Care suprafețe se numesc echipotențiale

Pentru reprezentarea intuitivă a câmpului electrostatic în afară de liniile de forță, de asemenea, se aplică *suprafețele echipotențiale*.

Suprafața echipotențială — aceasta-i suprafața, în toate punctele căreia potențialul câmpului electrostatic are aceeași valoare.

Pentru o intuitivitate mai bună trebuie examinată nu o suprafață echipotențială, dar totalitatea lor. Însă a reprezenta grafic totalitatea suprafețelor complicate pe un singur desen este foarte dificil, de aceea, de obicei, se reprezintă doar intersecțiile suprafețelor echipotențiale cu un anumit plan (fig. 42.3).

Suprafețele echipotențiale sunt strâns legate de liniile de forță ale câmpului electrostatic. Dacă sarcina electrică se deplasează pe suprafața echipotențială, atunci lucrul câmpului este egal cu zero, deoarece $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$, iar pe suprafața echipotențială $\varphi_1 = \varphi_2$. Acest lucru al câmpului poate fi reprezentat prin forța \vec{F} , care acționează asupra sarcinii din partea câmpului electric: $A = F s \cos \alpha$, unde s — modulul deplasării sarcinii; α — unghiul dintre vectorii \vec{F} și \vec{s} . Deoarece $A = 0$ și $F \neq 0$ și $s \neq 0$ atunci $\cos \alpha = 0$, deci, $\alpha = 90^\circ$. Aceasta înseamnă, că în timpul mișcării sarcinii de-a lungul suprafeței echipotențiale vectorul forței \vec{F} și, prin urmare și vectorul intensității câmpului \vec{E} în orice punct sunt perpendiculari pe vectorul deplasării \vec{s} . Astfel *liniile de forță ale câmpului electrostatic sunt perpendiculare pe suprafețele echipotențiale* (vezi fig. 42.3).

Atrageți atenția! Simetria suprafețelor echipotențiale repetă simetria surselor câmpului. Astfel, câmpul sarcinii punctiforme este sferic simetric, deci suprafețele echipotențiale ale sarcinii punctiforme sunt sfere concentrice; în cazul câmpului uniform, suprafețele echipotențiale reprezintă un sistem de plane paralele.

7 Ne învățăm a rezolva probleme

Problemă. Un electron, începându-și mișcarea sa din starea de repaus, a parcurs diferența de potențial, acceleratoare, de -300 V. Ce viteză a obținut electronul? Masa electronului este de $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, sarcina constituie $-1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Analiza problemei fizice. Sarcina electronului — negativă, viteza lui inițială $v_0 = 0$, de aceea sub acțiunea forțelor câmpului electronul se va mișca în direcție opusă direcției liniilor de forță ale câmpului, adică în direcția măririi potențialului. Câmpul va efectua un lucru pozitiv, în rezultat energia cinetică a electronului și viteza lui se vor mări. Deci, ne vom folosi de formula pentru calculul lucrului a câmpului electrostatic care este dată prin diferența de potențial și teorema despre energia cinetică.

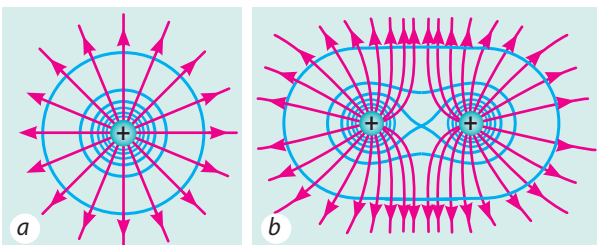


Fig. 42.3. Suprafețe echipotențiale (linii albastre) și linii de forță (linii roșii) a câmpurilor electrice simple formate: *a* — de o sarcină punctiformă pozitivă; *b* — de două sarcini punctiforme pozitive egale după modul

Дано:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = -300 \text{ V}$$

$$v_0 = 0$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

v — ?

Цăutarea modelului matematic, rezolvarea

Conform teoremei despre energia cinetică:

$A = \Delta W_k = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$, unde $A = e(\varphi_1 - \varphi_2)$ — lucrul forțelor câmpului.

$$\text{Astfel, } e(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{mv^2}{2}, \text{ de unde } v = \sqrt{\frac{2e(\varphi_1 - \varphi_2)}{m}}.$$

Verificăm unitatea de măsură, aflăm valoarea mărimii căutate:

$$[v] = \sqrt{\frac{\text{C} \cdot \text{V}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{C} \cdot \text{J}}{\text{kg} \cdot \text{C}}} = \sqrt{\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}} = \sqrt{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{\text{m}}{\text{s}};$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19}) \cdot (-300)}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 1,0 \cdot 10^7 \text{ (m/s)}.$$

Răspuns: $v \approx 1,0 \cdot 10^7$ m/s.



Facem totalurile

- Câmpul electrostatic este potențial. În câmpul electrostatic lucrul de deplasare a sarcinii electrice q dintre două puncte arbitrare 1 și 2 nu depinde de forma traiectoriei; este egal cu variația energiei potențiale W_p a sarcinii, luată cu semnul opus, iar în cazul câmpului uniform se calculează după formula $A_{1 \rightarrow 2} = qEd$.

- Caracteristica energetică a câmpului electrostatic este potențialul φ , care se determină prin raportul dintre energia potențială W_p a sarcinii electrice, plasate în punctul dat al câmpului electrostatic, către valoarea q a acestei sarcinii:

$$\varphi = \frac{W_p}{q}. \text{ Unitatea de măsură a potențialului în SI — voltul (V): } 1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}.$$

- Potențialul câmpului, generat în vid de o sarcină punctiformă Q în punctele, care sunt situate la distanța r de această sarcină: $\varphi = k \frac{Q}{r}$. Potențialul câmpului format de un sistem de sarcini: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$.

- Diferența de potențial dintre două puncte ($\varphi_1 - \varphi_2$) — o mărime scalară, care este egală cu raportul dintre lucrul $A_{1 \rightarrow 2}$ a forțelor câmpului electrostatic la deplasarea sarcinii din punctul inițial în cel final și valoarea q a acestei sarcini: $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{1 \rightarrow 2}}{q}$. Intensitatea câmpului electrostatic uniform este legată de diferența de potențial ($\varphi_1 - \varphi_2$) prin corelația $\varphi_1 - \varphi_2 = Ed$.

- Pentru reprezentarea intuitivă a câmpului electrostatic în afară de liniile de forță se aplică și suprafețe echipotențiale — suprafețe cu același potențial.



Întrebări de control

1. Cum se determină lucrul câmpului electrostatic uniform la deplasarea sarcinii în acest câmp? Depinde oare el de forma traiectoriei de mișcare a sarcinii? **2.** Cu ce este egală energia potențială a interacțiunii a două sarcini punctiforme? **3.** Ce se numește potențialul câmpului electrostatic? **4.** Cum se calculează potențialul

cămpului unei sarcini punctiforme? **5.** Ce este diferența de potențial? **6.** Care este corelația dintre intensitatea cămpului și diferența de potențiale pentru cămpul electrostatic uniform? **7.** Care suprafețe se numesc echipotențiale? **8.** Cum sunt amplasate liniile intensității cămpului față de suprafețele echipotențiale?



Exercițiul nr. 42

1. Sarcinile q și $2q$ sunt situate la distanță R una față de cealaltă. Cum se va schimba energia potențială de interacțiune a sarcinilor, dacă distanța dintre sarcini se va mări de două ori? dacă se va mări de două ori valoarea fiecărei sarcini?
2. În cămpul electric uniform cu intensitatea de 500 N/C s-a deplasat sarcina $q = -40 \text{ nC}$ în direcția liniilor de forță ale cămpului cu 15 cm . Ce lucru a efectuat cămpul? Cum s-a schimbat energia potențială a sarcinii?
3. Sarcina de $2 \text{ }\mu\text{C}$ s-a deplasat din punctul A , situat la distanța de 10 cm de la sarcina punctiformă $Q = 5 \text{ }\mu\text{C}$ în punctul B , situat la distanță de 5 cm de la sarcina Q . Ce lucru a efectuat cămpul electric? Va depinde oare acest lucru de aceea, pe care traiectorie a fost deplasată sarcina?
4. În cămpul electrostatic din punctul cu potențialul de 450 V în punctul cu potențialul de 900 V se mișcă o particulă încărcată negativ. Cămpul electric efectuează în acest caz un lucru de $1,8 \text{ }\mu\text{J}$. Determinați modulul sarcinii particulei.
5. Un electron, mișcându-se cu viteza de $3 \cdot 10^7 \text{ m/s}$, zboară într-un cămp electric. Determinați diferența de potențial, pe care trebuie să o parcurgă electronul, pentru ca viteza mișcării lui să scadă până la $1 \cdot 10^7 \text{ m/s}$.

Problemă experimentală

Voi știți cât de periculos este să atingeți firul sub tensiune. Dar există multe cazuri, în care omul sau animalul au fost accidentați, aflându-se doar în apropierea sârmei deteriorate. După efectuarea problemei experimentale, veți înțelege cum se pot preveni astfel de situații. Veți avea nevoie de: două fire groase izolate cu o lungime de $10\text{--}15 \text{ cm}$ și un fir de același fel cu lungimea de $20\text{--}25 \text{ cm}$, un LED, o sursă de curent continuu (40 V), două vase — cu nisip umed și uscat.



1. Curățați capetele firelor și din cele două mai scurte confecționați figura (vezi des.).

2. Legați «măinile» figurii cu LED-ul, «picioarele» scufundați în nisipul umed.

3. Unul dintre capetele firului lung conectați-l la polul pozitiv al sursei de curent continuu, al doilea capăt scufundați-l în nisip.

Conectați sursa de curent și urmărind strălucirea LED-ului, efectuați o serie de experiențe: puneți mai întâi figura mai aproape de locul de scufundare a firului, apoi mai departe; puneți «tălpile» figurii foarte apropiate una de alta, apoi măriți distanța dintre «tălpi»; «încălțați» figura; scufundați «tălpile» figurii în nisip uscat. Faceți concluzii.

Fizica și tehnica în Ucraina

Universitatea Națională «Politehnica Lviv» — cea mai veche universitate tehnică din Europa de Est (fondată în anul 1816). Timp de 200 de ani de istorie, Universitatea a pregătit mai mult de 250 de mii de specialiști, iar fiecare al 12-lea locuitor al orașului Lviv este absolventul ei.

La Universitatea s-au format școlile științifice din următoarele domenii: matematică, mecanică teoretică și aplicată, inginerie radio, inginerie electrică, astronomie, geodezie, construcția de aparate, dispozitive de măsurare, nanomateriale și nanotehnologii, tehnologii de economisire a energiei și a resurselor, sisteme avansate de calculator și tehnologii informaționale.

§ 43. CONDUCTORI ȘI DIELECTRICI ÎN CÂMPUL ELECTRIC



Făcând analogia între interacțiunile gravitaționale și electrostatice, noi am găsit unele proprietăți comune ale lor. Însă între ele există și deosebiri esențiale. Una dintre ele — atotpătrunderea câmpului gravitațional. Într-adevăr, este imposibil să construim un adăpost de forța de greutate. Dar de acțiunile forțelor câmpului electrostatic se poate să ne protejăm temeinic, construind protecția din conductor. Să clarificăm de ce aceasta este posibil.

1 În ce constau particularitățile structurii interne ale conductoarelor

Orice substanță se compune din molecule, atomi sau ioni care, la rândul său, conțin particule încărcate. De aceea, dacă corpul este amplasat într-un câmp electric, acesta va provoca anumite schimbări în substanța, din care este compus corpul. Este clar, că aceste schimbări depind de proprietățile substanței însăși. După proprietățile electrice substanțele se împart în *conductoare*, *dielectrice*, *semiconductoare*.

Conductoare — *aceasta-s substanțele capabile să conducă curentul electric.*

Orice conductor conține particule încărcate, care se pot mișca liber. Reprezentantii tipici ai conductoarelor — metalele. Reamintim: structura internă a metalelor reprezintă o rețea cristalină formată din ioni încărcăți pozitiv, care este în «gazul» electronilor liberi. Anume existența electronilor liberi condiționează proprietățile conductoare ale metalelor. Conductoare de asemenea sunt electroliții și, în anumite condiții — și gazele. În electroliți, particulele încărcate libere sunt ionii pozitivi și negativi, iar în gaze și electronii.

2 Proprietățile electrostatice ale conductoarelor

Proprietatea 1. *Intensitatea câmpului electrostatic în interiorul conductorului este egală cu zero.* Să plasăm conductorul metalic într-un câmp electrostatic (fig. 43.1). Sub acțiunea câmpului, mișcarea electronilor liberi va deveni orientată. Dacă câmpul electric nu este prea mare, atunci electronii nu pot părăsi conductorul și se acumulează într-o anumită regiune a suprafeței lui — această regiune a suprafeței conductorului obține sarcină negativă; cea opusă — pozitivă (o creează ionii pozitivi care au rămas acolo). Astfel, pe suprafața conductorului apar sarcini electrice *induse*, însă sarcina sumară a conductorului rămâne neschimbată (fig. 43.2).

Fenomenul de redistribuire a sarcinilor electrice în conductorul amplasat într-un câmp electrostatic, în rezultatul cărui fapt apar pe suprafața conductorului sarcini electrice, se numește **fenomenul inducției electrostatice**.

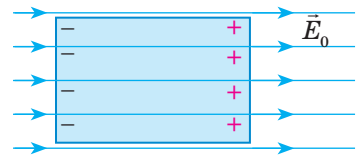


Fig. 43.1. Câmpul electrostatic exterior induce pe suprafața conductorului sarcini cu semne opuse

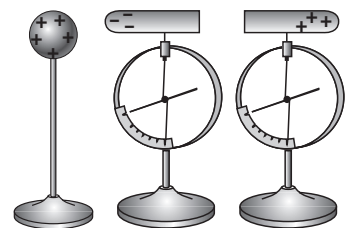


Fig. 43.2. Dacă doi cilindri metalici care se află în contact strâns unul cu altul, de le despărțim în prezența unei sfere încărcate, atunci fiecare cilindru va ieși la iveală că este încărcat

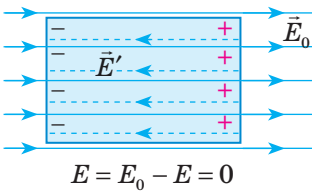


Fig. 43.3. Redistribuirea sarcinilor în conductor se petrece până atunci, până când modulul intensității a câmpului \vec{E}' a sarcinilor induse nu va fi egal cu modulul intensității \vec{E}_0 a câmpului indus

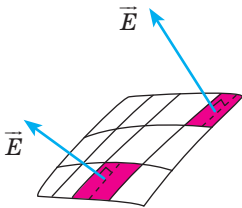


Fig. 43.4. În orice punct al suprafeței conductorului intensitatea \vec{E} a câmpului electric este orientată perpendicular pe această suprafață

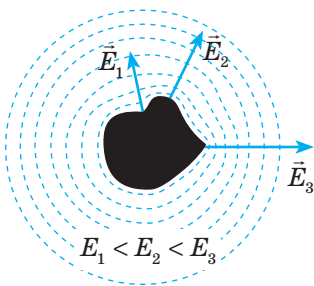


Fig. 43.5. Intensitatea câmpului electrostatic al conductorului este mai mare pe proeminențele conductorului și mai mică pe adânciturile lui

Sarcinile induse, ce au apărut, formează câmpul electric propriu cu intensitatea \vec{E}' , care este orientată în partea opusă intensității \vec{E}_0 a câmpului exterior (fig. 43.3). Procesul de redistribuire a sarcinilor în conductor va continua până în acel moment, până când câmpul format de sarcinile induse în interiorul conductorului compensează complet câmpul exterior. Într-un interval de timp foarte scurt, intensitatea $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$ a câmpului rezultat în interiorul conductorului va fi egală cu zero.

❓ Ce fel de proces ar fi avut loc, dacă în interiorul conductorului ar fi existat un câmp electric un timp îndelungat?

Proprietatea 2. Suprafața conductorului este echipotențială. Această afirmație este o consecință directă din corelația dintre intensitatea câmpului și diferența de potențial: $E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$. Dacă intensitatea câmpului în interiorul conductorului este egală cu zero, atunci diferența de potențial de asemenea este egală cu zero, de aceea potențialele în toate punctele conductorului sunt aceleași.

Proprietatea 3. Toată sarcina statică a conductorului este concentrată pe suprafața lui.

Această proprietate este o consecință a legii lui Coulomb și a proprietății de respingere a sarcinilor de același semn.

Proprietatea 4. Vectorul intensității câmpului electrostatic este perpendicular pe suprafața conductorului (fig. 43.4).

Să demonstrăm proprietatea a 4-a prin metoda contrazicerii. Presupunem, că într-un anumit punct oarecare al suprafeței conductorului vectorul \vec{E} al intensității câmpului electrostatic formează un unghi oarecare cu suprafața conductorului. Descompunem acest vector în două componente: cea normală \vec{E}_n , perpendiculară pe suprafață și tangențială \vec{E}_τ , orientată după tangenta la suprafață.

Este clar că, sub acțiunea \vec{E}_τ electronii se vor mișca orientat pe suprafață, dar aceasta înseamnă că pe suprafața conductorului trece curent electric, dar aceasta, la rândul său, contrazice legii conservării energiei, deci: $\vec{E}_\tau = 0$, de aceea $\vec{E} = \vec{E}_n$.

Proprietatea 5. Sarcinile electrice se distribuie pe suprafața conductorului astfel, că intensitatea câmpului electrostatic al conductorului este mai mare pe proeminențe și mai mică în adânciturile lui (fig. 43.5).

3 Cum se aplică proprietățile electrostatice ale conductorului

Dăm câteva exemple de aplicare a proprietăților electrostatice ale conductoarelor.

Protecția electrostatică. Uneori apare necesitatea de a izola unele corpuri, aparate de influența câmpurilor electrostatice exterioare. Evident, pentru aceasta ele trebuie instalate în interiorul corpului metalic, deoarece câmpul electrostatic exterior provoacă apariția sarcinilor induse numai pe suprafața conductorului, iar câmpul în interiorul conductorului este egal cu zero (fig. 43.6). Un efect analogic se obține chiar și în acel caz, când învelișul comact metalic va fi înlocuit cu o plasă metalică cu ochiuri mici: câmpul electric pătrunde după plasă numai la o adâncime de ordinul dimensiunilor ochiului plasei.

Legarea la pământ. Pentru a descărca un corp mic încărcat, el trebuie unit printr-un conductor cu un corp de dimensiuni mai mari, deoarece pe corpurile cu dimensiuni mai mari se acumulează o sarcină electrică mai mare. Pentru a argumenta această afirmație, examinăm două bile conductoare cu razele R_1 și R_2 , unite cu un conductor, situate la o distanță mare (în comparație cu razele lor) una de alta (fig. 43.7). Sarcina electrică transmisă sistemului este distribuită între bile astfel, încât potențialele lor vor fi egale ($\varphi_1 = \varphi_2$). Distanța dintre bile este cu mult mai mare decât razele lor, de aceea, calculând potențialele φ_1 și φ_2 ale bilelor, influența reciprocă a câmpurilor lor poate fi neglijată și de se folosit de formula pentru determinarea potențialului bilei:

$$\varphi_1 = k \frac{q_1}{R_1}; \quad \varphi_2 = k \frac{q_2}{R_2}.$$

Deoarece $\varphi_1 = \varphi_2$, obținem că sarcinile bilelor sunt direct proporționale cu razele lor: $\frac{q_1}{q_2} = \frac{R_1}{R_2}$.

Atrageți atenția! Dacă una dintre bilele încărcate este cu mult mai mare decât a doua, după unirea lor practic toată sarcina se va acumula pe bila mai mare. Această concluzie se realizează și pentru corpuri conductoare de formă arbitrară. Astfel, dacă ne vom atinge cu mâna de conductorul unui electroscop încărcat, atunci sarcina electrică se va redistribui între conductorul electroscopului și corpul omului, dar deoarece omul este cu mult mai mare după dimensiuni decât dimensiunea aparatului, atunci se poate considera, că întreaga sarcină va trece pe om. Deseori ca un corp de dimensiuni mari se folosește globul pământesc: aparatele, pe care nu trebuie să se acumuleze sarcini electrice, se leagă la pământ — se unesc cu un conductor masiv îngropat în pământ.

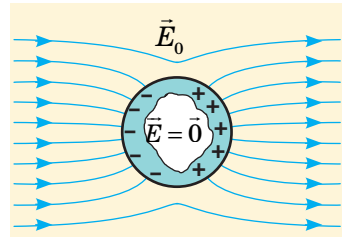


Fig. 43.6. Protecția electrostatică. Sub acțiunea câmpului exterior pe suprafața corpului metalic apar sarcini induse, câmpul cărora ecranează câmpul electric exterior: intensitatea câmpului în interiorul corpului devine egală cu zero

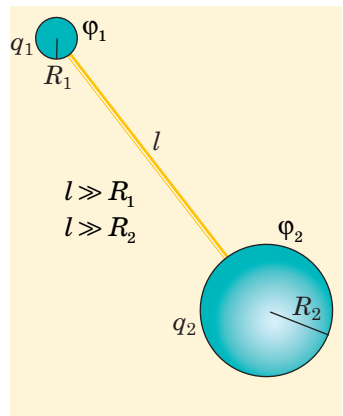
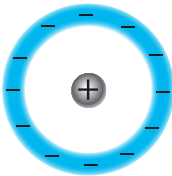
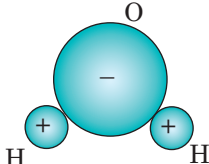
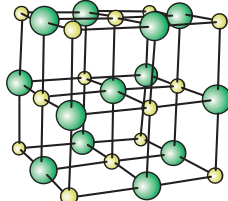


Fig. 43.7. Sarcina Q transmisă sistemului din două bile, unite cu un conductor, se va distribui între bile astfel, încât potențialele lor φ_1 și φ_2 vor fi egale

4 Care sunt particularitățile structurii interioare ale dielectricilor

Dielectrici se numesc substanțele care rău conduc curentul electric: în condiții normale în ele practic lipsesc sarcini care se pot mișca liber. În dependență de structura chimică, dielectricii se împart în trei grupe.

Dielectrici nepolari	Dielectrici polari	Dielectrici ionici
<p>Substanțele, moleculele (atomii) cărora sunt nepolare: în lipsa câmpului electrostatic exterior, centrele de distribuție ale sarcinilor pozitive și negative, din care sunt compuse moleculele (atomii) coincid.</p>  <p>Exemple tipice de astfel de substanțe sunt gazele monatomice inerte; gazele, care constau din molecule diatomice simetrice; unele lichide organice; plasticul.</p>	<p>Substanțele, moleculele cărora sunt polare: în lipsa câmpului electrostatic exterior, centrele de distribuție ale sarcinilor pozitive și negative, din care sunt compuse moleculele nu coincid, adică norii electronici în molecule sunt deplasați spre unul din atomi.</p>  <p>Exemplu de dielectric polar este apa (H_2O). Molecule de apă, ca și moleculele altor dielectrici polari, reprezintă dipoli electrici microscopici.</p>	<p>Substanțele, care au o structură ionică. Printre ele sunt sărurile și alcalinele, de exemplu, clorura de sodiu ($NaCl$). Rețelele cristaline ale multor dielectrici ionici pot fi examinate ca fiind compuse din două subrețele inserate, fiecare dintre ele fiind formată de ioni de un singur semn. În lipsa câmpului exterior, fiecare celulă a cristalului este în întregime neutră din punct de vedere electric.</p> 

5 Cum influențează câmpul electrostatic asupra dielectricului

Întroducerea dielectricului într-un câmp electrostatic exterior provoacă polarizarea dielectricului. În procesul polarizării dielectricilor nepolari se manifestă mecanismul electronic (de deformare). Sub influența câmpului electrostatic exterior moleculele dielectricului nepolar se polarizează: sarcinile pozitive se deplasează în sensul vectorului intensității \vec{E}_0 a acestui câmp, iar cele negative — în direcție opusă (fig 43.8, a).

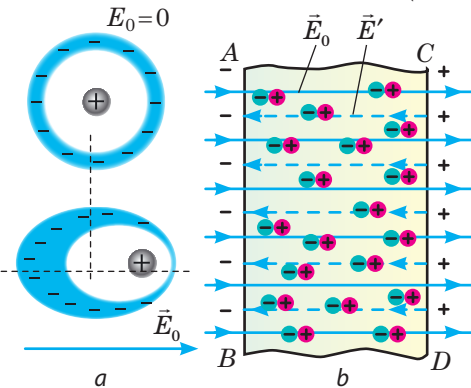


Fig. 43.8. Dielectricul nepolar în câmp electrostatic cu intensitatea \vec{E}_0

Peste un timp moleculele se transformă în dipoli electrici, aliniați de-a lungul liniilor de forță ale câmpului exterior. În rezultat, pe suprafețele AB și CD apar sarcini legate necompensate de semne opuse, ce formează câmpul său, a cărui intensitate \vec{E}' este orientată în întâmpinarea intensității \vec{E}_0 a câmpului exterior (fig.43.8, b).

În procesul *polarizării dielectricilor* polari apare *polarizarea orientată*. Sub acțiunea câmpului electric exterior moleculele dipole ale dielectricului încearcă să se rotească astfel, încât axele lor să fie orientate de-a lungul liniilor de forță ale câmpului. Însă mișcarea termică a moleculelor împiedică acest proces. De aceea apare numai orientarea parțială a moleculelor dipole (fig. 49.9).

Prezența ordonării în amplasarea moleculelor duce la aceea că pe suprafețele *AB* și *CD* apar sarcini legate necompensate de semne opuse. Aceste sarcini formează câmpul său cu intensitatea \vec{E}' , direcția căruia este opusă direcției intensității câmpului exterior \vec{E}_0 . Menționăm că, în dielectricii polari este prezent și *mecanismul polarizării electronice*, adică sub acțiunea câmpului electric are loc deplasarea sarcinilor în molecule. Însă, efectul orientării depășește cu câteva ordine efectul electronic, de aceea ultimul frecvent este neglijat.

În procesul polarizării dielectricilor *ionici* se observă *polarizarea ionică*. În urma acțiunii câmpului exterior ionii de diferite semne, care alcătuiesc două subrețele se deplasează în direcții opuse, de aceea pe fețele cristalelor apar sarcini legate necompensate, adică cristalul se polarizează. Trebuie de subliniat că polarizarea ionică nu se observă în stare pură — ea totdeauna este însoțită de polarizarea electronică.

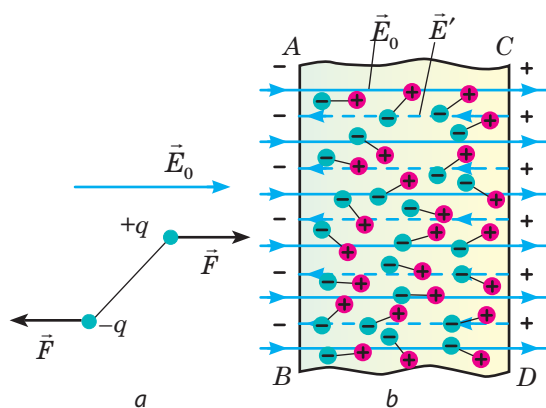


Fig. 43.9. Dielectricul polar în câmpul electrostatic cu intensitatea \vec{E}_0

6 Cum influențează dielectricul asupra câmpul electrostatic

Examinând diferitele mecanisme ale polarizării dielectricilor, ați aflat că introducerea dielectricului într-un câmp electrostatic exterior cauzează apariția sarcinilor legate pe suprafața lui. Sarcinile legate formează câmpul electric cu intensitatea \vec{E}' , care în interiorul dielectricului este orientată în direcție opusă vectorului intensității \vec{E}_0 a câmpului exterior. Din această cauză, câmpul din interiorul dielectricului este mai slab. Deci, intensitatea \vec{E} a câmpului rezultat în interiorul dielectricului este mai mică după modul decât intensitatea \vec{E}_0 a câmpului exterior: $E = E_0 - E'$. Micșorarea modului intensității \vec{E} a câmpului electrostatic în substanță în comparație cu modulul intensității \vec{E}_0 a câmpului electrostatic în vid caracterizează mărimea fizică, care se numește **permitivitatea dielectrică ϵ a substanței**:


$$\epsilon = \frac{E_0}{E}$$

Permitivitățile dielectrice ale diferitor substanțe pot să difere una de alta de zeci de ori. Astfel, permitivitatea dielectrică a gazelor este aproape de

unitate, a dielectricilor nepolari lichizi și solizi — până la câteva unități, a dielectricilor polari — până la câteva zeci de unități (pentru apă $\epsilon = 81$). Sunt substanțe a căror permitivitate dielectrică este de ordinul zecilor și sutelor de mii (aceste substanțe se numesc *seignetoelectrice*).

Micșorarea intensității a câmpului electric în dielectric de ϵ ori în comparație cu intensitatea câmpului în vid duce la aceeași micșorare a forțelor interacțiunii electrostatice. De aceea legea lui Coulomb în cazul interacțiunii a două sarcini electrice, care au valorile q_1 și q_2 și sunt situate într-un dielectric la distanța r una de alta are forma: $F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2}$.

Tot așa se schimbă și formulele pentru calculul potențialului φ și a modului intensității E a câmpului format de sarcina punctiformă Q situată în dielectric: $\varphi = k \frac{Q}{\epsilon r}$, $E = k \frac{|Q|}{\epsilon r^2}$, unde r — distanța de la sarcină până la punctul, pentru care se determină intensitatea sau potențialul câmpului.

-  Formulați de sine stătător totalurile § 43. Încercați să folosiți nu mai mult de 150–200 de cuvinte.

Întrebări de control



1. Care substanțe se numesc conductoare?
2. Ce este inducția electrostatică?
3. Numiți proprietățile electrostatice principale ale conductoarelor.
4. Cum se protejează utilajele și aparatele de influența câmpului electric?
5. Pentru ce se folosește legătura la pământ?
6. Care substanțe se numesc dielectrice? Dați exemple.
7. Prin ce diferă dielectricii polari de cei nepolari?
8. Ce se numește polarizarea dielectricului? Care sunt mecanismele ei?
9. Ce caracterizează permitivitatea dielectrică a substanței?

Exercițiul nr. 43



1. De ce corpurile neîncărcate se atrag de corpurile încărcate?
2. De conductorul electrometrului încărcat se apropie (fără a se atinge) un corp conductor care nu este încărcat. Cum și de ce se va schimba abaterea indicatorului electrometrului? Răspunsul verificați-l prin experiment.
3. Se vor schimba oare rezultatele experimentului reprezentat în [fig. 43.2](#), dacă cilindrii vor fi confecționați din dielectric? Argumentați răspunsul.
4. O bucașă neîncărcată din staniol atârnat pe un fir de mătase. De ea se apropie un bastonaș încărcat. Descrieți și explicați «comportarea» bucașei.
5. Deasupra conductorului electrometrului încărcat s-a plasat o placă din sticlă organică neîncărcată. Cum se va schimba abaterea acului electrometrului?
6. Două bile mici, sarcinile cărora sunt egale după modul, aflându-se în lubrifiantul transformatorului la distanța de 50 cm una de alta, interacționează cu o forță de 2,2 mN. Determinați modulul sarcinii fiecărei bile. Permitivitatea dielectrică a lubrifiantului transformatorului este 2,2.
7. O bilă metalică încărcată cu masa de 40 g și volumul de 4,2 cm³ se află la fundul unui vas cu lubrifiant. După ce sistemul s-a introdus într-un câmp electrostatic uniform, cu intensitatea de 4,0 MV/m, bila s-a ridicat la suprafață. Aflați sarcina minimă a bilei. Densitatea lubrifiantului este de 800 kg/m³, permitivitatea dielectrică — 5.
8. Care dispozitiv este reprezentat în fotografia expusă la începutul § 43? Cine, când și pentru ce l-a construit?



§ 44. CAPACITATEA ELECTRICĂ. CONDENSATOARELE. ENERGIA CONDENSATORULUI ÎNCĂRCAT



Aceea că banii se păstrează în bancă știe chiar și elevul din clasa întâia. Dar unde se păstrează sarcinile? Și, în genere, pentru ce aceasta trebuie? Răspunsurile la aceste întrebări le veți găsi în acest paragraf.

1 Ce este capacitatea electrică

Capacitatea electrică caracterizează proprietatea conductoarelor sau a sistemului din câteva conductoare de a acumula sarcina electrică.

Se deosebește capacitatea electrică a unui conductor izolat și capacitatea electrică a unui sistem de conductoare (de exemplu, a condensatorului). *Izolată* se numește conductorul, situat la o distanță de alte corpuri încărcate și neîncărcate astfel că ele nu exercită nici o influență asupra acestui conductor.

Capacitatea electrică a unui conductor izolat (C) — mărimea fizică scalară, care caracterizează proprietatea conductorului de a acumula sarcina și este egală cu raportul dintre valoarea sarcinii electrice q a conductorului izolat și potențialul său φ :

$$C = \frac{q}{\varphi}$$

Unitatea de măsură a capacității electrice în SI — farad: $[C] = 1 \text{ F}$ (numită în cinstea lui M. Faraday). 1 F — capacitatea electrică a unui astfel de conductor, potențialul cărui este egal cu 1 V , când lui i se comunică o sarcină de 1 C ; $1 \text{ F} = 1 \frac{\text{C}}{\text{V}}$ ($1 \text{ F} = 1 \frac{\text{C}}{\text{V}}$).

Deoarece 1 F — o unitate foarte mare a capacității, de obicei se folosesc submultiplii unității: $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$; $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$; $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$.

2 Ce este condensatorul

Dispozitivul, care reprezintă un sistem din două armături conductoare, separate printr-un strat de dielectric, a cărui grosime este mică în comparație cu dimensiunile armăturilor se numește condensator (fig. 44.1).

Armăturilor condensatorului li se transmite sarcini egale după modul, dar opuse ca semn, ce favorizează acumularea sarcinilor: sarcinile de semn diferit se atrag și, deci, se stabilesc pe suprafețele interioare ale armăturilor.

De obicei pentru încărcarea condensatorului se leagă ambele armături ale lui la poli unei baterii de acumulare: pe armături apar sarcini egale după modul, dar opuse după semn. Rezultatul nu se va schimba, dacă vom uni cu polul

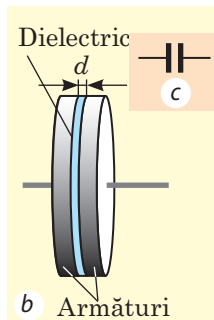


Fig. 44.1. Condensator școlar cu aer: a — aspectul, c — notarea în scheme, b — armături

bateriei numai una dintre armături, iar cealaltă vom lega-o cu pământul: în urma inducției electrostatice pe armătura legată cu pământul va apare o sarcină care va fi egală după modul cu sarcina celeilalte armături, dar va avea semnul opus.

Sarcina unui condensator se numește modulul sarcinii uneia din armăturile lui. Raportul dintre sarcina q a condensatorului dat și diferența de potențial $(\varphi_1 - \varphi_2)$ dintre plăcile lui nu depinde nici de $(\varphi_1 - \varphi_2)$ și, deci, poate servi ca caracteristică a condensatorului. Această caracteristică se numește *capacitatea electrică a condensatorului*. Capacitatea electrică a condensatorului se determină prin formulele:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}, \text{ sau } C = \frac{q}{U},$$

unde U — tensiunea dintre armături, care în cazul dat este egală cu diferența de potențial dintre ele.

După cum arată experimentele, capacitatea condensatorului se mărește, dacă se va mări aria suprafețelor armăturilor sau se vor apropia armăturile una de alta. Asupra capacității condensatorului influențează și dielectricul: cu cât este mai mare permitivitatea dielectrică a lui, cu atât mai mare este capacitatea condensatorului în comparație cu capacitatea unui condensator la fel, care are ca dielectric aerul.

Condensatorul, care este compus din două plăci metalice paralele (armături), separate printr-un strat de dielectric, se numește *plan* (vezi. fig. 44.1). Capacitatea electrică a unui condensator plan se calculează după formula:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d},$$

unde $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m — constanta electrică; ε — permitivitatea dielectrică a dielectricului; S — aria plăcii condensatorului; d — distanța dintre plăci.

Câmpul dintre plăcile condensatorului plan este uniform, de aceea relația dintre intensitatea E a câmpului dintre plăci și tensiunea pe plăcile condensatorului U se reprezintă ca $U = Ed$.

3 Cum se calculează capacitatea electrică a unei baterii de condensatoare

Fiecare condensator se caracterizează prin *capacitate* și *tensiunea maximă de lucru* U_{\max} . Dacă tensiunea pe condensator depășește considerabil U_{\max} , atunci se petrece *străpungerea* — între armăturile condensatorului apare o scânteie, care distruge izolația. Pentru a obține capacitatea electrică necesară la o anumită tensiune de lucru, condensatoarele se leagă în baterii, folosind *legarea în paralel, în serie și combinată*.

Pentru ușurarea percepției să examinăm o baterie care se compune din trei condensatoare cu capacitățile electrice C_1, C_2, C_3 respectiv.

În cazul *legării în paralel a condensatoarelor* armăturile tuturor condensatoarelor încărcate pozitiv se unesc într-un singur nod iar cele încărcate negativ — în alt nod (fig. 44.2). În acest caz, sarcina totală a bateriei de condensatoare este egală cu suma algebrică a sarcinilor fiecărui condensatorilor: $q = q_1 + q_2 + q_3$, unde q_1, q_2, q_3 — sarcinile primului, celui de-al doilea și al treilea condensatoare respectiv.

Armăturile unite într-un nod reprezintă un conductor, de aceea potențialele armăturilor și diferența de potențial (tensiunea) dintre armăturile tuturor condensatoarelor sunt la fel: $U = U_1 = U_2 = U_3$.

Deci, în cazul legării în paralel a condensatoarelor tensiunea de lucru admisibilă a bateriei se determină prin tensiunea de lucru a unui condensator.

Deoarece $q = CU$, $q_1 = C_1U$, $q_2 = C_2U$, $q_3 = C_3U$, atunci $CU = C_1U + C_2U + C_3U$, deci capacitatea electrică totală a bateriei, care este compusă din trei condensatoare legate în paralel, constituie: $C = C_1 + C_2 + C_3$.

În cazul **legării în serie a condensatoarelor** se unesc între ele armăturile încărcate cu semne diferite (fig. 44.3). În acest caz, sarcinile tuturor condensatoarelor vor fi aceleași și vor fi egale cu sarcina bateriei: $q = q_1 = q_2 = q_3$.

Tensiunea pe bateria condensatoarelor legate în serie este egală cu suma tensiunilor pe condensatoare separate: $U = U_1 + U_2 + U_3$.

Deci, tensiunea de lucru admisibilă a bateriei de condensatoare legate în serie este mai mare decât tensiunea de lucru admisibilă a unui condensator separat.

Capacitatea bateriei de condensatoare legate în serie poate fi calculată folosind formula:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

? Încercați să obțineți ultima formulă de sine stătător.

În cazul legării în serie a condensatoarelor, capacitatea bateriei este mai mică decât capacitatea condensatorului cu cea mai mică capacitate.

Relațiile date pot fi *generalizate pentru baterii care conțin orice număr de condensatoare*.

4 Cu ce este egală energia condensatorului plan

Condensatorul încărcat, ca și orice sistem de corpuri încărcate are energie. De justetea acestei afirmații ne putem convinge cu ajutorul unui experiment simplu. Vom uni armăturile unui condensator încărcat cu un bec de la lanterna de buzunar și vom descoperi că, în momentul închiderii întrerupătorului, becul se aprinde. Acum să măsurăm tensiunea de pe armăturile condensatorului — tensiunea este egală cu zero, deci, condensatorul s-a descărcat. Aceasta înseamnă, la rândul său, că condensatorul încărcat a avut o energie, care s-a transformat parțial în energia luminii.

Să calculăm energia condensatorului cu capacitatea C , încărcat până la tensiunea U_0 , pe care s-a acumulat sarcina q_0 . Această energie mai exact ar trebui să fie numită energia câmpului electrostatic, care există între armăturile

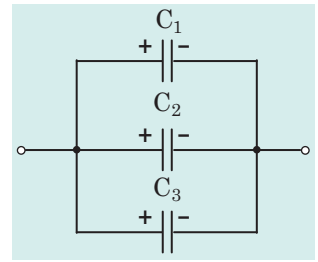


Fig. 44.2. Baterie din trei condensatoare unite în paralel

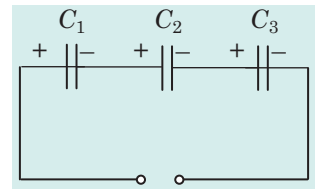


Fig. 44.3. Baterie din trei condensatoare unite în serie

Atrageți atenția!

- Dacă bateria conține n condensatoare unite *paralel* fiecare cu capacitatea electrică C' , atunci:

$$C = nC'$$

- Dacă bateria conține n condensatoare unite în *serie* de capacitatea electrică C' fiecare, atunci:

$$\frac{1}{C} = \frac{n}{C'}, \text{ sau } C = \frac{C'}{n}$$

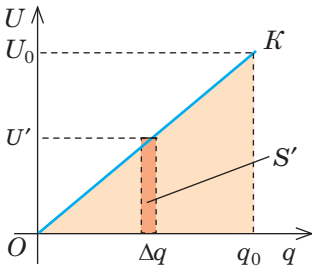


Fig. 44.4. La calculul lucrului, pe care-l efectuează câmpul electric al condensatorului încărcat în timpul descărcării lui

obține un șir de benzi. Aria S' a fiecărei benzi este egală cu produsul a două laturi, adică: $S' = \Delta q U' = A'$, unde U' — tensiunea, la care condensatorul a pierdut «porția» de sarcină Δq dată; A' — lucrul, pe care îl va efectua câmpul în timpul pierderii de către condensator a sarcinii Δq .

Evident, că lucrul total, pe care în face câmpul în timpul micșorării sarcinii condensatorului de la q_0 până la 0, se determină de aria triunghiului colorat. Deci, $A = \frac{q_0 U_0}{2}$. Deoarece $q_0 = CU_0$, obținem: $A = \frac{CU_0^2}{2}$, sau $A = \frac{q_0^2}{2C}$.

Pe de altă parte, acest lucru este egal cu micșorarea energiei câmpului electric al condensatorului de la W_p până la zero: $A = W_p - 0 = W_p$.

Astfel, *energia W_p a condensatorului încărcat până la tensiunea U , care are capacitatea electrică C și sarcina q , este egală cu:*

$$W_p = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

Este clar: *unitatea de energie a condensatorului încărcat în SI — joule: $[W_p] = 1 \text{ J (J)}$.*

5 Pentru ce sunt necesare condensatoarele

În *tehnica actuală* este complicat de găsit un domeniu, în care nu s-ar fi folosit pe larg și în mod variat condensatoarele. Fără ele, nu se poate lipsi *radiotehnica* și *aparatura televiziunii* (reglarea circuitelor oscilante), *tehnica radiolocației* și de *laser* (obținerea impulsurilor de o putere mare), *telefonie* și *telegrafia* (despărțirea circuitelor curenților alternativ și continuu, stingerea scânteilor în contacte), *tehnica utilajului de calcul* (în dispozitive speciale de memorizare), *tehnica de măsurat* (crearea modelelor de capacitate). Și această enumerare pe departe nu este deplină.

În *electroenergetica* contemporană condensatoarele de asemenea au o aplicare destul de diversă: în construcția lămpilor luminescente prezența condensatoarelor este obligatorie, în aparatele electrice de sudat, în dispozitivele de protecție contra supratensiunii. Condensatoarele sunt utilizate și în alte domenii ale tehnicii și industriei, neelectrotehnice (în medicină, tehnica fotografică, etc.).

Diversitatea domeniilor de aplicare determină o mare varietate a condensatoarelor. Alături cu condensatoarele miniatură, care au o masă mai mică de un gram și dimensiunile de ordinul a câțiva milimetri se pot întâlni condensatoare de câteva tone și în înălțime mai mari decât statura omului. Capacitatea condensatoarelor actuale poate fi de la câteva părți fracționare ale picofaradei până la câteva zeci și chiar mii de microfarade, iar tensiunea de lucru poate fi în limitele de la câțiva volți până la câteva sute de kilovolți. Condensatoarele pot fi clasificate după următoarele criterii și proprietăți:

- după destinație — cu capacitatea constantă și variabilă;
- după forma armăturilor — plane, sferice, cilindrice și altele;
- după tipul dielectricului — de aer, hârtie, mică, ceramice, electrolitice ș.a.



Facem totalurile

• Capacitatea electrică a condensatorului izolat C este egală cu raportul dintre sarcina electrică q a conductorului și potențialul lui φ : $C = \frac{q}{\varphi}$. Unitatea de măsură a capacității electrice — farad (F).

Capacitatea electrică a condensatorului, care are sarcina q și tensiunea dintre armături U este egală cu: $C = \frac{q}{U}$.

Pentru obținerea capacității necesare condensatoarele se leagă în baterii.

Mărimea fizică	Modul de legare a condensatoarelor	
	în serie	în paralel
Sarcina	$q = q_1 = q_2 = \dots = q_n$	$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$
Tensiunea	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$
Capacitatea	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$	$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

- Energia condensatorului încărcat poate fi calculată după formulele:

$$W_p = \frac{CU^2}{2}; \quad W_p = \frac{q^2}{2C}; \quad W_p = \frac{qU}{2}.$$

• Condensatoarele se clasifică după destinație (cu capacitatea constantă și variabilă; după forma armăturilor (plane, sferice, cilindrice); după tipul dielectricului (de aer, hârtie, mică, ceramice, electrolitice).



Întrebări de control

1. Ce se numește capacitate electrică a unui condensator izolat? Care este unitatea de măsură a ei?
2. Ce este condensatorul? Pentru ce el este destinat?
3. De ce spațiul dintre armăturile condensatorului este umplut cu dielectric?
4. De ce depinde capacitatea electrică a condensatorului?
5. După ce formulă se calculează capacitatea unui condensator plan?
6. Cum se calculează capacitatea electrică a bateriei, care constă din condensatoare legate în serie? legate în paralel?
7. Cu ajutorul căror formule se calculează energia condensatorului încărcat?
8. Numiți domeniile unde se aplică condensatoarele. Dați exemple.
9. Ce tipuri de condensatoare vă sunt cunoscute?



Exercițiul nr. 44

1. Tensiunea între armăturile unui condensator plan este egală cu 12 V. Sarcina condensatorului este de $60 \mu\text{C}$. Ce capacitate electrică are condensatorul? Cu ce este egală energia lui? Cum se va schimba energia condensatorului, dacă fără a schimba tensiunea dintre armăturile lui, distanța dintre ele se va mări de două ori?
2. Patru condensatoare identice într-un caz sunt legate în paralel, în alt caz — în serie. În care caz capacitatea bateriei de condensatoare este mai mare și de câte ori?
3. Determinați capacitatea bateriei de condensatoare (fig. 1). Capacitatea fiecărui condensator este egală cu C .
4. Un condensator plan de aer după încărcare a fost deconectat de la sursa de tensiune și scufundat în petrol lampant. Cum se va schimba energia condensatorului? Permittivitatea dielectrică a petrolului lampant — 2,1.
5. Două condensatoare cu capacitățile de 1 și $2 \mu\text{F}$ sunt legate în serie și unite cu o sursă de tensiune de 120 V. Determinați tensiunea dintre armăturile primului condensator; condensatorului al doilea.
6. Un condensator încărcat până la tensiunea de 100 V se leagă în paralel cu un condensator de aceeași capacitate, dar încărcat până la 200 V. Ce tensiune se va stabili între armăturile condensatoarelor?
7. Distanța dintre armăturile unui condensator plan de aer a fost mărită de la 5 până la 12 mm. Cu cât s-a schimbat energia condensatorului, dacă tensiunea pe condensator este de 180 V? aria plăcilor — 174 cm^2 .
8. Între bornele A și B sunt conectate condensatoare cu capacitățile $C_1 = 2 \mu\text{F}$ și $C_2 = 1 \mu\text{F}$ (fig. 2). Calculați capacitatea bateriei de condensatoare.

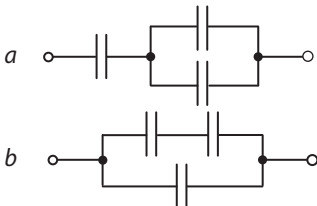


Fig. 1

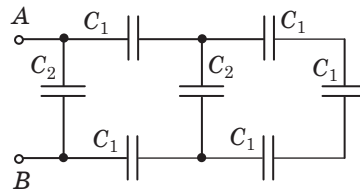


Fig. 2

9. Folosiți-vă de surse suplimentare de informații și aflați despre istoria creării condensatorului și tehnologiile de creare a condensatoarelor actuale.

Fizica și tehnica în Ucraina



Universitatea națională tehnică Iurii Condrațiu din Poltava

a fost întemeiată la 18 august anul 1930 ca institutul de inginerie de construcție a gospodăriei sătești. Primul rector al institutului (1930–1934) a fost *Illeașenco Dmătro Ivanovici*. În anul 1961 instituția de învățământ și-a schimbat denumirea în institutul de inginerie și construcții, în anul 1994 — în Universitatea tehnică din Poltava, iar în anul 2002 a primit statul de națională. În iunie a. 1997 instituției de învățământ i s-a acordat numele *Iurii Condrațiu (Alexandru Șarghei)*.

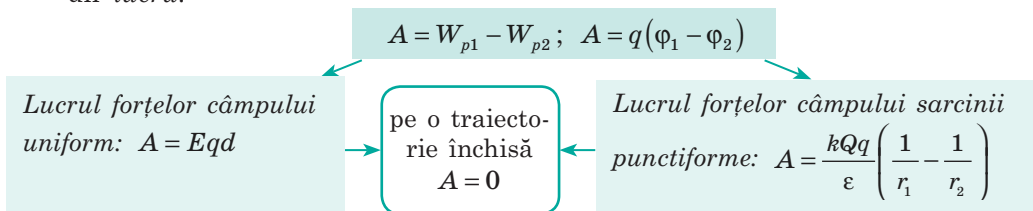
Astăzi peste 10 mii de studenți își fac studiile în 42 de specialități de la 8 facultăți ale universității. Cele mai populare sunt facultățile de arhitectură, construcții, electromecanică, petrol, gaz și managementul resurselor naturale, tehnologiilor și sistemelor informaționale și de telecomunicații.

FACEM TOTALURILE CAPITOLULUI IV «CÂMPUL ELECTRIC»

1. Voi ați profundat cunoștințele voastre despre *câmpul electric*.

Câmpul electric — o formă a materiei, care există în jurul corpurilor electrizate și se manifestă prin acțiunea cu o forță oarecare asupra oricărui corp încărcat care se află în acest câmp.

2. Voi ați demonstrat, că câmpul electric are *energie*, pe contul căreia forțele care acționează din partea câmpului asupra unei sarcini electrice efectuează un *lucru*:



3. Voi ați aflat despre *mărimile fizice, care caracterizează câmpul electric*.

Caracteristicile câmpului electric

<p style="text-align: center;"><i>De forță</i></p> <p><i>Intensitatea câmpului:</i></p> $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}; [E] = \frac{V}{m} = \frac{N}{C}$ <p>Pentru câmpul sarcinii punctiforme: $E = \frac{k q }{\epsilon r^2}$</p>	<p style="text-align: center;"><i>Energetică</i></p> <p><i>Potențialul:</i> $\varphi = \frac{W_p}{q}; [\varphi] = 1V$</p> <p>Pentru câmpul sarcinii punctiforme:</p> $E = \frac{k q }{\epsilon r^2}, \quad \varphi = \frac{kq}{\epsilon r}$
--	--

4. V-ați amintit, cum *se reprezintă grafic* câmpul electric.

5. V-ați amintit, cum *câmpul electric influențează asupra substanței*, ați aflat, cum *substanța influențează asupra câmpului electric*.

Conductoarele: $\vec{E} = \vec{E}_0 - \vec{E}' = 0$

Dielectricii: $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'; \epsilon = \frac{E_0}{E}$

6. Ați aflat despre *condensatoare*, despre aceea, că ele se clasifică *după destinație, forma armăturilor și tipul dielectricului*; ați aflat despre *capacitatea electrică a condensatorului (C), energia condensatorului (W)*.

$C = \frac{q}{U}$; pentru condensatorul *plan*: $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$

$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}$

Tipurile de legătură a condensatoarelor

<p style="text-align: center;"><i>În serie</i></p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div> $q = q_1 = q_2 = \dots = q_n$ $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$ </div> </div>	<p style="text-align: center;"><i>În paralel</i></p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div> $q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$ $U_1 = U_2 = \dots = U_n$ $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$ </div> </div>
---	---



PROBLEME PENTRU AUTOVERIFICARE LA CAPITOLUL IV «CÂMPUL ELECTRIC»

Problema 1. De un fir de mătase este suspendată o bilă metalică, sarcina căreia este $+20 \text{ nC}$, iar masa de 2 g . Sub ea la o distanță oarecare s-a plasat altă bilă identică, dar cu sarcina de -4 nC .

- (1 bal) Oare se va schimba forța de tensiune a firului, și dacă se va schimba, atunci cum?
 - se va mări;
 - se va micșora;
 - va rămâne neschimbată;
 - la început se va mări, iar apoi se va micșora.
- (3 baluri) La ce distanță trebuie amplasată bila a doua, pentru ca forța de tensiune a firului să se schimbe de 2 ori? Bilele sunt situate în aer.

Problema 2. Un electron, mișcându-se în vid de-a lungul liniilor de forță ale câmpului electric, trece printre două puncte cu diferența de potențial de 400 V . După trecerea acestei diferențe de potențial viteza electronului este egală cu zero.

- (1 bal) Care dintre forțe (fig. 1) indică direcția forței, care acționează asupra electronului?

a) \vec{F}_1 ; b) \vec{F}_2 ; c) \vec{F}_3 ; d) \vec{F}_4 .

- (2 baluri) Cu ce este egal lucrul efectuat de câmpul electric?

- (3 baluri) Determinați, care era viteza mișcării electronului, când el a intrat în câmpul electric, și de asemenea distanța, pe care a parcurs-o electronul, dacă intensitatea câmpului electric este de 8 kV/m .

- (4 baluri) Cu ce va fi egală variația energiei cinetice a electronului, dacă el va nimeri în câmpul electric cu aceeași viteză inițială, dar perpendicular pe liniile de forță ale câmpului? Timpul mișcării electronului în câmp este de $2 \cdot 10^{-8} \text{ s}$. Intensitatea câmpului este de 300 V/m .

Problema 3. Două sarcini punctiforme cu valoarea de $+40 \text{ } \mu\text{C}$ fiecare sunt amplasate în vid la o distanță oarecare una de alta.

- (2 baluri) Care este intensitatea câmpului electric în punctul situat în mijlocul dintre sarcini?

Problema 4. În fig. 2 este reprezentat un condensator cu mică, pe corpul căruia sint indicate valorile capacității și a tensiunii de lucru.

- (2 baluri) Determinați modulul sarcinii uneia dintre armăturile condensatorului încărcat până la tensiunea de lucru.

a) 6 mC ; b) $27 \text{ } \mu\text{C}$; c) 38 kC ; d) $400 \text{ } \mu\text{C}$.

- (3 baluri) Cum se va schimba energia condensatorului, dacă el va fi încărcat până la tensiunea de lucru, iar apoi va fi legat în paralel cu un condensator identic neîncărcat?

- (3 baluri) Determinați capacitatea electrică a bateriei din astfel de condensatoare, dacă ele vor fi legate așa cum este arătat în fig. 3.

Confrunțați răspunsurile voastre cu cele indicate la sfârșitul manualului. Notați însărcinările, pe care le-ați efectuat corect, calculați suma balurilor și împărțiți-o la doi. Rezultatul obținut va corespunde nivelului vostru al reușitei la învățatură.



Însărcinările de antrenare sub formă de teste cu verificare computațională le veți găsi pe resursul electronic de învățământ «Învățământul interactiv».

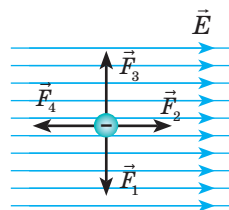


Fig. 1

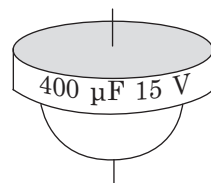


Fig. 2

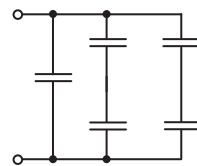


Fig. 3

ENERGETICA SOLARĂ

Mulți dintre voi folosesc telefonul mobil și alte aparate electrice, deci sperăm că cel puțin la nivel casnic voi, știți despre electricitate ceva mai mult decât cele expuse în capitolul IV. Dar aici va fi vorba despre o sursă relativ nouă de energie electrică — bateriile solare — și despre acele schimbări, pe care acestea le aduc în viața noastră din viitorul apropiat.

Energia Soarelui — baza vieții pe Pământ. Dar, pe parcursul aproape a întregii sale istorii, omenirea nu avea mijloacele necesare pentru a transforma direct energia solară pentru necesitățile sale și a fost nevoită să se folosească, de așa-zisele produse secundare: lemne, turbă, cărbune etc. Abia la limita secolului XIX și XX a fost descoperit *efectul fotoelectric extern* — apariția curentului electric în anumite materiale sub acțiunea radiației solare. Și a fost nevoie de aproape o sută de ani pentru ca transformatoarele fotoelectrice, care astăzi sunt numite *baterii solare (panouri solare)*, «să se nască» ca industrie. Dezvoltarea rapidă a aplicării lor practice are loc în văzul vostru. Astfel, puterea panourilor solare din lume în 2001 a fost de aproximativ 700 MW (aceasta este practic puterea a unei destule de mici centrale hidroelectrice de pe Nistru), dar în 2016 deja se vorbea de circa 230 GW — aceasta e de aproape 5 ori mai mult decât întreaga energetică a Ucrainei.

Astăzi multe se scriu despre epuizarea în viitor a rezervelor mondiale de petrol și gaz. Există oare o amenințare asemănătoare pentru dezvoltarea

energeticii solare? Cantitatea de energie, pe care Pământul o primește de la Soare timp de 10 minute, este aproximativ egală cu cea pe care omenirea o consumă în decursul unui an. Deci, reiese că pentru a înlocui alte surse de energie trebuie să se «însemânțeze» cu panouri solare nu toată suprafața Pământului, dar e suficient de o mică parte a lui, care este aproximativ egală cu teritoriul Austriei sau Republicii Cehă. Deci, în următoarele secole nu va avea loc «epuizarea resurselor solare». Însă din punct de vedere tehnic este imposibil, cel puțin la momentul actual, de concentrat toată energia planetei într-o regiune mică, de aceea inginerii au mers pe altă cale: pentru amplasarea panourilor solare ei folosesc elementele de construcție existente. Cel mai cunoscut exemplu — bateriile solare pe acoperiș (*fig. 1*). O soluție mai actuală — «bateriile integrate», adică bateriile solare, combinate cu elemente de construcție ale clădirilor — ferestre, cărămizi, țigle.

Să-l menționăm și pe Elon Musk, un antreprenor și inventator american. Automobilul «Tesla» cu tracțiune electrică, a lansat o nouă eră în industria automobilelor. Cel mai surprinzător, se pare, este camionul electric (*fig. 2*). Cu o încărcătură completă (36 tone), această mașină accelerează până la 100 km/h în 20 s și poate transporta această sarcină fără reîncărcare la o distanță de 800 km.

Energetica solară își termină «copilăria» sa. Care va fi viața ei adultă?

Fig. 1



Fig. 2



RĂSPUNSURI LA EXERCIȚII ȘI PROBLEMELE PENTRU AUTOVERIFICARE

Introducere

№ 2. 1. 8 %. 2. 1) 2,1 mm; 0,1 mm; 0,2 mm; 9,5 %; 2) $2,1 \pm 0,2$ (mm). **№ 3.** 1. Nu; nu; nu; da. 3. $a_x=2$; $a_y=3$; $b_y=0$; $c_x=3$, $c_y=-4$; $d_x=-4$, $d_y=0$; $l_x=0$, $l_y=-3$; $s_x=-2$, $s_y=-5$.

Capitolul I. Mecanica

Partea 1. Cinematica

№ 4. 1. Unidimensional; bidimensional; bidimensional; tridimensional; tridimensional. 2. Soarele. 3. Cu sine. 4. 31,4 m; 28,3 m. 5. O linie dreaptă; parabolă. **№ 5.** 1. 11 m/s; 9 m/s. 2. 167 m; 174 m. 3. I sfert: 0,94 m/s, 0,85 m/s; II sfert: 0,47 m/s, 0,42 m/s; semi-circumferință: 0,6 m/s, 0,4 m/s. 4. $x_1(t) = -700 + 5t$, $x_2(t) = 500 - 20t$, $x_3(t) = 1400 - 25t$; $t_{21} = 48$ s, $x_{21} = -460$ m; $t_{31} = 70$ s, $x_{31} = -350$ m; $t_{23} = 180$ s, $x_{23} = -3100$ m. 5. Cursul avionului trebuie să se abată de la direcția nordică sub un unghi de $7,7^\circ$ spre vest; 2 ore 1 min. 6. 40 km/h. **№ 6.** 1. 1) -4 m/s², 20 m/s; 2) 5 s. 2. 1) 18,75 m; 2) 5 s; 3) $v_x = 2,5 + 0,5t$, $s_x = 2,5t + 0,25t^2$; 4) 3,5 m/s, 3 s; 6) 4 s. 3. 2) $s_x = -18t + 0,9t^2$. 4. 10 s; 120 m. **№ 7.** 1. Accelerațiile sunt aceleași; 6 m/s. 2. 5 m; 10 m; 0. 3. 1) a) 20 m/s; b) 3,5 s; c) 35 m; 2) 35 m. 4. 1) 4,16 s, 31,6 m/s; 2) 2,16 s, 31,6 m/s; 3) 3 s, 30 m/s. **№ 8.** 2. În punctul B – maximă, în punctul A – minimă. 3. 3,3 m/s². 4. De 1,5 ori. 5. 6,3 m/s; 150 de rotații. 6. de 1200 ori. 7. 1675 km/h.

Probleme pentru autoverificare la capitolul I. Partea 1

1. d. 2. b. 3. c. 4. b. 5. 1 min 38 s. 6. 24 m; 4,8 m/s. 7. 2 m; 7 m/s. 8. 3,2 m. 9. 7 m/s; $\approx 1,2$ m. 10. $x = -1 + 4t - t^2$; $v_x = 4 - 2t$.

Partea 2. Dinamica și legile de conservare

№ 9. 3. SR1: 20 m, 2 s, 10 m/s², 20 m/s; SR2: 36 m, 2 c, 10 m/s², 25 m/s. 5. a) 6 N; orientată la stânga; b) 4 N; orientată la stânga; c) 10 N; orientată de-a lungul direcției forței F_2 . **№ 10.** 2. Nu. 3. 270 g. 4. De 1,44 ori. 7. 1) 4200 N; 2) 960 N. **№ 11.** 3. 1) se va mări de trei ori; 2) se va micșora de 9 ori. 4. De 49 de ori. 5. $2 \cdot 10^{30}$ kg. 6. 5520 s; ≈ 6800 km. 7. 42 000 km. **№ 12.** 1. 20 cm. 2. În punctul A; în punctul C; în punctul B. 3. 100 kN/m. 4. 1) 10 N; 2) 5 N; 3) 15 N. 5. În punctul A — 20 kN; în punctul B — 15,5 kN; în punctul C — 22,25 kN; 114 km/h. 6. 3,2 m/s. 7. 3 kN. **№ 13.** 4. 25 m; 2,5 s. 5. 20 s. 6. 43 N. **№ 14.** 1. a) stabil; b) nestabil; c) indiferent. 4. 100 N. 5. 39° . **№ 15.** 2. 500 J. 3. 1800 MJ. 4. 1–A, 2–B, 3–C. 5. 150 kJ. 6. $E_c \uparrow$ de 2 ori. 7. 420 kJ; 42 kW. **№ 16.** 1. Nu. 3. 2 m. 5. 15 m. 6. 1 m/s. 7. -250 J; 63 cm. **№ 17.** 1. Impulsul nu se va schimba. 2. 1) 0; 2) 19,6 kg; 3) 3 m/s. 3. 3 kg sau 330 g.

Probleme pentru autoverificare la capitolul I. Partea 2

1. c. 2. d. 3. 1–E, 2–C, 3–A, 4–B. 4. d. 5. b. 6. d. 7. 30 mJ, 10 cm. 8. 0,25. 9. 0,3 m/s². 10. 5,4 J.

Partea 3. Oscilații mecanice și unde

№ 19. 2. 1) 0,5 Hz, 3,14 rad/s; 2) 5; 3) 30 cm. 3. 0,4 m; 3 s; 0,33 Hz; $\approx 0,8$ m/s, $\approx 1,8$ m/s². 4. $x(t) = 0,1 \cos(2\pi t)$ (m). 5. 1) 2 m, 4 s, 0,25 Hz, $x(t) = 2 \cos(\pi t/2)$ (m); 2) 5 cm, 0,4 s, 2,5 Hz, $x(t) = 0,05 \cos(5\pi t)$ (m). **№ 20.** 1. 1) T nu se va schimba; 2) $T \downarrow$; 3) $T \downarrow$. 2. Nu. 3. Ceasornisul va începe să meargă înainte; ceasornicul va rămâne în urmă. 4. 2,3 kg. 5. 2 mm; 1 m. 6. 1) 10π rad/s, 0,2 s; 2) 4,9 kN/m; 3) 98 J; 4) 0,14 m; 49 J; 49 J. **№ 21.** 2. Nu. 3. 20 m/s. 4. 160 N/m. 5. 20 m/s. **№ 22.** 1. 1–B, 2–D, 3–A. 2. 20 mm; longitudinală. 3. 1) 0,2 cm, 1,6 m, 0,94 Hz; 2) din dreapta la stânga; 3) A — în jos, C — în sus; 4) A — în jos, B — în sus, C — în sus. **№ 23.** 1. 0,77 m; 3,4 m; 11,4 m. 2. 600 m. 3. $\lambda \downarrow$ de 4,4 ori. 4. Datorită difracției undelor sonore.

Probleme pentru autoverificare la capitolul I. Partea 3

1. c. 2. b. 3. 1—E, 2—B, 3—A, 4—C. 4. 1—D, 2—B, 3—A. 5. a. 6. $\vec{v}_A \uparrow$, $\alpha_A=0$; $\vec{v}_B \downarrow$, $\vec{a}_B \uparrow$. 7. $x=0,1\sin 10t$. 8. $l=1,25$ m; $s=5$ cm. 9. $\approx 2,1$ s. 10. $k=8$ N/m; $v_{\max}=31,4$ cm/s; $E_p=5$ MJ.

Capitolul II. Elementele teoriei relativității restrânse

№ 24. 1. c. 2. c. 4. a) 0,94c; б) 420 000 km. 3. 0,95c; 0,38c. № 25. 1. $t=3,3$ ani. 2. $l=2,5$ m. 3. De 2 ori. 4. $\approx 5,6 \cdot 10^{14}$ kg.

Capitolul III. Fizica moleculară și termodinamica

Partea 1. Fizica moleculara

№ 26. 1. $\approx 1,7 \cdot 10^{-9}$ m. 2. $3,34 \cdot 10^{25}$. 3. a) $M=28 \cdot 10^{-3}$ kg/mol, $N=6,02 \cdot 10^{25}$, $v=35,7$ mol, $m_0=4,65 \cdot 10^{-26}$ kg; b) $M=44 \cdot 10^{-3}$ kg/mol, $N=6,02 \cdot 10^{25}$, $v=22,7$ mol, $m_0=7,3 \cdot 10^{-26}$ kg; c) $M=16 \cdot 10^{-3}$ kg/mol, $N=6,02 \cdot 10^{25}$, $v=62,5$ mol, $m_0=2,66 \cdot 10^{-26}$ kg. 4. 190 mlrd. № 27. 2. Prin difuzie; în caldă. 3. Difuziei. 6. Da; puțin timp. № 28. 1. 2) a) $p \uparrow$, $V \downarrow$, $v_{\text{pătr}}$, m_0 nu se schimbă, $\rho \uparrow$; b) $p \downarrow$, $V \uparrow$, $t \downarrow$, $\vec{v}_{\text{pătr}} \downarrow$, m_0 nu se vor schimba, $\rho \downarrow$. 2. $p \uparrow$ de 4 ori. 3. $p \uparrow$ de 9 ori. 4. 1,3 m³. 5. $8,4 \cdot 10^{-21}$ J. № 29. 2. 184 K; -128 F. 3. $p \uparrow$ de 4 ori; $\vec{v}_{\text{pătr}} \uparrow$ de 2 ori. 4. $3,6 \cdot 10^{27}$. № 30. 1. $p \uparrow$ de 8 ori. 2. ≈ 20 m. 3. 2,14 atm. 5. $p \downarrow$. № 31. 5. Se poate. 6. Nu. № 32. 4. 40 %; 7,76 g/m³; 776 g; 194 g. № 33. 2. $5,82 \cdot 10^{-5}$ m. 3. 3,2 Pa. 4. 0,041 N/m. 5. 0,21 mJ. № 34. 2. b — din monocristal; c — din policristalină. № 35. 3. 1) 0,1 MPa; 2) 0,1; 3) 1 MPa; 4) 0,28 mm. 4. 22 kN. 5. 1 — fragil; 2 — plastic; 3 — elastic.

Probleme pentru autoverificare la capitolul III. Partea 1

1. c. 2. d. 3. d. 4. a. 5. c. 6. 1—C, 2—E, 3—D, 4—B. 7. $2,9 \cdot 10^{22}$. 8. $p \downarrow$, $T \downarrow$, $V \uparrow$. 9. Nu va cădea. 10. 1,2 mm; $h \downarrow$ cu 1,2 cm; $h \downarrow$ cu 1,4 cm; $h \uparrow$ cu 3,6 cm.

Partea 2. Bazele termodinamicii

№ 36. 1. -14 kJ. 2. 225 J; 9 K. 3. a) $U \downarrow$ cu 3750 J; b) $U \uparrow$ cu 10 500 J; c) $U \uparrow$ cu 15 000 J; d) U nu se va schimba. 4. 2,9 kg. 5. 190 kg. № 37. 2. 3,9 kJ. 3. $\approx 3,3$ kJ. 4. -500 kJ; 450 kJ. 5. $A_{123} > A_{123}$. № 38. 1. $\Delta U = -15$ J; $A = 0$. 2. $\Delta U = -3,6$ J; $A = -2,4$ J. 3. În timpul dilatării izobare. 4. a) $5,6 \cdot 10^2$ J; b) 1,9 kJ; c) $2,6 \cdot 10^2$ J; d) a cedat, 475 kJ. 5. 8,3 kJ; $\Delta U = 21$ kJ. № 39. 1. Nu se poate. 2. 50 %; 67 %; $\frac{n-1}{n}$. 3. 90 J; 37,5 %. 4. ≈ 500 g.

Probleme pentru autoverificare la capitolul III. Partea 1

1. c. 2. c. 3. d. 4. b. 5. 1—D, 2—E, 3—A, 4—B. 6. 1,5 kJ; 0. 7. 1,0 kJ; 1,5 kJ. 8. 143 g. 9. 750 J; 0; 1875 J; 29 %.

Capitolul IV. Câmpul electric

№ 40. 2. \downarrow de 4 ori. 3. a) \uparrow de 1,8 ori; б) \downarrow de 1,25 ori. № 41. 1. 10 μ N. 2. 250 N/C. 3. a) electronul — rectiliniu, $v_{el} \uparrow$, protonul — rectiliniu, $v_p \downarrow$; б) după o traiectorie parabolică, $v_{el} \uparrow$, $v_p \uparrow$. 4. 5400 N/C. 5. a) 0; b) $\frac{4kg}{a^2}$. 6. $E_A=8kq/a^2$; $E_B=E_C=\frac{32kg}{9a^2}$.

№ 42. 1. $W_p \downarrow$ de 2 ori; $W_p \uparrow$ de 4 ori. 2. -3 μ J; $A \uparrow$. 3. -0,9 J; nu. 4. 4 nC. 5. 2,275 kV. № 43. 3. Da. 4. 367 nC. 5. 0,46 μ C. № 44. 1. 5 μ F, 360 μ J, $W \downarrow$ de 2 ori. 2. La unirea în paralel $C \uparrow$ de 16 ori. 3. (2/3)C. 4. $W \downarrow$ de 2 ori. 5. 80 V și 40 V. 6. 150 V. 7. $W \downarrow$ cu 0,29 μ J. 8. $\approx 1,6$ μ F.

Probleme pentru autoverificare la capitolul IV

Problema 1. 1. a. 2. 6 mm. Problema 2. 1. g. 2. $-6,4 \cdot 10^{-17}$ J. 3. $1,2 \cdot 10^7$ m/s, 5 cm. 4. $5,1 \cdot 10^{-19}$ J. Problema 3. 1. 0. Problema 4. 1. a. 2. $W \downarrow$ de 4 ori. 3. 800 μ F.

INDICE DE MATERIE

- A** Accelerația 33
— căderii libere 40
— centripetă 50
— mișcării uniform accelerate 33
Alunecarea 119
Alungirea 73
— relativă 208
Amplitudinea oscilațiilor 119, 122
Anizotropie 204
Atom 160
Autooscilații 121
- C** Cantitatea de căldură 218
Cantitatea de substanță 162
Capacitatea electrică 257, 258
Capilar 200
Căderea liberă 40
Capacitate electrică 218
Câmpul
— electric 241
— electrostatic 241
— gravitațional 66
— potențial 245
Centrul de masă 87, 116
Ciclul Carnot 231
Concentrația moleculelor 172
Condensarea 187
Condensator 257
Condiții de echilibru 88
Conductibilitatea termică 217
Conductoare 51
Convecție 217
Cristale lichide 205
- D** Dielectrice 253
Deformație 72, 207
Deplasarea 22
Diferența de potențial 247
Difracție 138
Difuzia 166
Dispozitiv frigorific 233
Drumul 22
- E** Echilibrul corpului 87, 89
Echilibrul dinamic 187
Ecuția
— coordonatei corpului
— în timpul căderii libere 41
— mișcării rectilinii uniform accelerate 36
— de continuitate a fluxului 111
— de stare a gazului ideal
(lui Mendeleev — Clapeyron) 184
— lui Clapeyron
— oscilațiilor armonice 122
Ecuția fundamentală a TCM 176
Efectul
— gemenilor 157
— încetirii timpului relativist 156
— scurtării lungimii relativiste 155
Electrizarea 238
Energia
— cinetică 94
— condensatorului 260
— de repaus 157
— internă 216
— mecanică 98
— mecanică totală 100
— potențială 98
— a corpului ridicat 99
— a corpului elastic deformat 100
— de interacțiune a particulelor punctiforme 246
— superficială 196
Erorile măsurătorilor 13, 14
Etalonul 12
Evaporarea 184
Eveniment 152
Experiența
— lui Milliken 238
— lui Stern 167
- F** Faza oscilațiilor 122
Fierberea 189
Formula
— lui Einstein 157
— lui Huygens 129
— undei 136
Forța 60
— conservativă 98
— de reacțiune normală a suportului 75
— de rezistență a mediului 83
— de ridicare 112
— de tensiune a suspensiei 74
— de tensiune superficială 197
— de frecare 80—82
— de greutate 68
— elastică 73
Frecvența oscilațiilor 119
Front de undă 137
- G** Gazul ideal 172
Greutatea corpului 75
- H** Higrometru 193
- I** Inducția electrostatică 251
Inertitatea 61
Inerția 57
Infrasunetul 144
Imponderabilitatea 76
Impulsul 104
Intensitatea câmpului 242
Intensitatea sunetului 142
Interacțiune gravitațională 66
Interferența 138
Ionul 161
Izoprocese 180—182
Izotropia 202
Înălțimea sunetului 141

- L** Legarea condensatoarelor 258, 259
 Legarea la pământ 253
 Legea
 — atracției universale 67
 — compunerii deplasărilor 30
 — compunerii vitezelor
 — clasică 30, 150
 — relativistă 153
 — conservării energiei mecanice totale 101
 — conservării impulsului 105
 — conservării sarcinii electrice 239
 — lui Amonton — Coulomb 82
 — lui Bernoulli 112
 — lui Boyle — Mariotte 181
 — lui Charles 183
 — lui Gay-Lussac 182
 — lui Hooke 73, 208
 — lui Newton
 — — a doua 62
 — — a treia 63
 — — prima 58
 — termodinamicii
 — a doua 229, 231
 — prima 224
 Liniile intensității câmpului 243
 Lurcul
 — câmpului electrostatic 245, 246
 — gazului 221
 — mecanic 92
 Lungimea de undă 136
- M** Masa 61
 Mărime
 — scalară 17
 — fizică 11
 — vectorială 17
 Mecanica 20
 Mișcarea
 — corpului, aruncat orizontal 44
 — corpului, aruncat sub un unghi față
 de orizont 45
 — de rotație 87
 — mecanică 20
 — reactivă 105
 — rectilinie uniformă 26
 — rectilinie uniform accelerată 33
 — uniformă pe circumferință 48
 Model fizic 10
 Momentul forței 88
 Monocristal 204
 Mișcare browniană 165
 Motor 230, 232
 Motor termic 232
 Numărul lui Avogadro 166
- O** Oscilații 119–122
- P** Pendul 125, 127
 Permitivitate dielectrică 255
 Perioada
 — de rotație 48
 — oscilațiilor 119, 126, 127
- Policristal 204
 Polimorfism 203
 Postulatele TRR 151, 152
 Potențialul 246
 Presiunea
 — gazului 172
 Laplace 200
 Principiile fundamentale ale TCM 160
 Procese ireversibile 231
 Protecția electrostatică 258
 Principiul
 — relativității lui Galilei 58, 150
 — superpoziției 243
 Psihometru 194
 Punct de rouă 193
 Punct material 22
 Puterea 95
 Radiația 217
 Relativitatea mișcării mecanice 23
 Rezonanța 131
 — acustică 143
 Rigiditatea 74
- S** Sarcina 237, 239
 Scara de temperaturi 175, 176
 Sistem de referință 21, 57
 Starea echilibrului termic 175
 Stări de agregare ale substanței 169
 Stări de fază ale substanței 169, 203
 Substanțe amorfe 169, 202
 Suprafață echipotențială 247
- T** Tensiunea mecanică 208
 Tensiunea superficială 197, 198
 Teoria relativității restrânse 151
 Timbrul sunetului 142
 Temperatura 175
 — absolută 177
 Teorema
 — despre energia cinetică 94
 — despre energia potențială 100
 Termometru 176
 Traectoria mișcării 22
 Transmiterea de căldură 217
- U** Ultrasunet 144
 Umezirea 199
 Umiditatea 192, 194
 Undă 136–138, 141
- V** Vapori saturați 187
 Vaporizarea 184
 Viteza
 — liniară 48, 49
 — medie de drum 28
 — medie vectorială 28
 — mișcării rectilinii uniform accelerate 34
 — mișcării rectilinii uniforme 26
 — momentană 29
 — pătratică medie 172
 — prima cosmică 70
 — unghiulară 49
- Z** Zero absolut al temperaturii 17

CUPRINS

Prefață	3
Temele orientative ale proiectelor, referatelor și comunicărilor, cercetărilor experimentale	4

Introducere

§ 1. Apariția și dezvoltarea fizicii ca știință.	5
§ 2. Metodele percepției științifice. Mărimi fizice și măsurarea lor. Incertitudinea măsurărilor	10
§ 3. Mărimi scalare și vectoriale	16

Capitolul I. Mecanica

Partea I. Cinematica

§ 4. Problema fundamentală a mecanicii. Alfabetul cinematicii	20
§ 5. Viteza mișcării. Vitezele medii și momentană. Legile compunerii deplasărilor și vitezelor	26
§ 6. Mișcarea rectilinie uniform accelerată. Accelerația	33
§ 7. Căderea liberă și mișcarea curbilinie sub acțiunea forței de greutate constante	39
§ 8. Mișcarea uniformă a punctului material pe circumferință	47
<i>Lucrare de laborator nr. 1.</i>	52
<i>Lucrare de laborator nr. 2.</i>	53
Facem totalurile capitolului I. Partea 1.	54
Probleme pentru autoverificare la capitolul I. Partea 1. Cinematica	55

Partea II. Dinamica și legile conservării

§ 9. Sisteme de referință inerțiale. Legea întâi a lui Newton	56
§ 10. Forța. Masa. Legile a doua și a treia a lui Newton	60
§ 11. Câmpul gravitațional. Forța de greutate. Prima viteză cosmică	66
§ 12. Forța elastică. Greutatea corpului	72
§ 13. Forța de frecare	80
§ 14. Echilibrul corpurilor. Momentul forței.	87
§ 15. Lucrul mecanic. Energia cinetică. Puterea	92
§ 16. Energia potențială. Legea conservării energiei mecanice	98
§ 17. Impulsul corpului. Mișcarea reactivă. Ciocnirile elastică și neelastică	104
§ 18. Mișcarea lichidului și gazului. Forța portantă a aripii avionului.	111
<i>Lucrare de laborator nr. 3.</i>	115
<i>Lucrare de laborator nr. 4.</i>	116
Facem totalurile capitolului I. Partea 2.	117
Probleme pentru autoverificare la capitolul I. Partea 2	118

Partea 3. Oscilații mecanice și unde

§ 19. Felurile oscilațiilor mecanice	119
§ 20. Pendulele matematic și elastic. Energia oscilațiilor	125
§ 21. Rezonanța	131
§ 22. Unde mecanice.	134
§ 23. Unde sonore	141
<i>Lucrare de laborator nr. 5.</i>	146
Facem totalurile capitolului I. Partea 3.	147
Probleme pentru autoverificare la capitolul I. Partea 3	148
Pagina enciclopedică	149

Capitolul II. Elementele teoriei relativității restrânse

§ 24. Postulatele teoriei relativității restrânse. Legea relativistă de compunere a vitezelor	150
§ 25. Consecințe din postulatele teoriei relativității restrânse.	155
Facem totalurile capitolului II.	159

Capitolul III. Fizica moleculară și termodinamica

Partea 1. Fizica moleculara

§ 26. Principiile fundamentale ale teoriei cinetico-moleculare	160
§ 27. Mișcarea și interacțiunea moleculelor	165
§ 28. Ecuația fundamentală a TCM a gazului ideal	171
§ 29. Temperatura. Scara Kelvin a temperaturilor	175
§ 30. Ecuația de stare a gazului ideal. Izoprocese	179
§ 31. Vaporizarea și condensarea. Vaporii saturați și nesaturați. Fierberea	186
§ 32. Umiditatea aerului. Punctul de rouă.	192
§ 33. Tensiunea superficială a lichidului. Umezirea. Fenomene capilare	196
§ 34. Structura și proprietățile corpurilor solide. Anizotropia cristalelor. Cristale lichide	202
§ 35. Proprietățile mecanice ale corpurilor solide	206
<i>Lucrare de laborator nr. 6.</i>	212
<i>Lucrare de laborator nr. 7.</i>	213
Facem totalurile capitolului III. Partea 1.	214
Probleme pentru autoverificare la capitolul III. Partea 1.	215

Partea 2. Bazele termodinamicii

§ 36. Energia internă și metodele de variație ale ei	216
§ 37. Lucrul în termodinamică.	221
§ 38. Prima lege a termodinamicii. Procesul adiabatic	224
§ 39. Principiul de lucru al motoarelor termice. Mașina frigorifică	228
Facem totalurile capitolului III. Partea 2.	235
Probleme pentru autoverificare la capitolul III. Partea 2.	236

Capitolul IV. Câmpul electric

§ 40. Alfabetul electrostaticii	237
§ 41. Câmpul electric	241
§ 42. Lucrul la deplasarea sarcinei în câmpul electrostatic. Potențialul.	245
§ 43. Conductori și dielectrici în câmpul electric	251
§ 44. Capacitatea electrică. Condensatoarele. Energia condensatorului încărcat.	257
Facem totalurile capitolului IV	263
Probleme pentru autoverificare la capitolul IV	264
Pagina enciclopedică	265
Răspunsuri la exerciții și problemele pentru autoverificare	266
Indice de materie.	268

«Fizica și tehnica în Ucraina»: Institutul de fizică teoretică M. Bogoliubov al ANȘ a Ucrainei (9), A. M. Liulica (32), O. C. Antonov (65), Întreprinderea de stat «Antonov» (97), Institutul problemelor de robustețe G.S. Pâsarenco al ANȘ a Ucrainei (140), I. Ia. Pomeranciuc (174), Institutul de monocristale al ANȘ a Ucrainei (206), Universitatea Națională «Politehnica Lviv» (250), Universitatea națională tehnică Iurii Condriatiuc din Poltava (262)

Informație despre starea manualului

Nr.	Numele și prenumele elevului	Anul de învățământ	Starea manualului	
			la început de an	la final de an
1				
2				
3				
4				
5				

Навчальне видання
БАР'ЯХТАР Віктор Григорович
ДОВГИЙ Станіслав Олексійович
БОЖИНОВА Фаїна Яківна
та ін.

ФІЗИКА

(рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.)
Підручник для 10 класу закладів загальної середньої освіти з навчанням румунською/молдовською мовами
За редакцією В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Переклад з української мови
Перекладач *Рябко Родіка Георгіївна*
Румунською/молдовською мовами

Редактор *І.М. Грінчешин*
Художнє оформлення *В. І. Труфен*

В оформленні підручника використані зображення, розміщені в мережі Інтернет для вільного використання
Формат 70×100/16. Ум. друк. арк. 22,1. Обл.-вид. арк. 21,2.
Тираж 1404 пр. Зам. № 2526

Державне підприємство
«Всеукраїнське спеціалізоване видавництво «Світ»
79008 Львів, вул. Галицька, 21
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4826 від 31.12.2014
www.svit.gov.ua; e-mail: office@svit.gov.ua, svit_vydav@ukr.net

Друк ТОВ «Рік-У»
88000 м. Ужгород, вул. Гагаріна, 36
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5040 від 21.01.2016

CINEMATICA

Mișcarea rectilinie uniform accelerată

<p>Accelerația, m/s²</p> $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$ <p>Timpul variației vitezei, s</p>	<p>Viteza inițială, m/s</p> $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$ <p>Viteza finală, m/s</p>	<p>Proiecția deplasării, m</p> $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ $s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot t$	<p>Coordonata, m</p> $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ <p>Coordonata inițială, m</p>	<p>Căderea liberă</p> $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$ <p>Accelerația căderii libere, 9,8 m/s²</p> $y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$
--	--	---	--	---

Mișcarea uniformă pe circumferință

<p>Viteza liniară, m/s</p> $v = \frac{l}{t} = \frac{2\pi R}{T}$ <p>Perioada de rotație, s</p> <p>Unghiul de rotație, rad</p> $\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T}$ <p>Viteza unghiulară, rad/s</p>
--

Mișcarea oscilatorie

<p>Accelerația centripetă, m/s²</p> $a_{cp} = \frac{v^2}{R}$ <p>Raza circumferinței, m</p> $a_{cp} = \omega^2 R$	<p>Perioada oscilațiilor, s</p> $T = \frac{t}{N}$ <p>Frecvența oscilațiilor, Hz</p> $v = \frac{N}{t} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$ <p>Frecvența ciclică, c⁻¹</p>	<p>Faza oscilațiilor, rad</p> $\varphi = \omega t + \varphi_0$ <p>Faza inițială, rad</p>	<p>Ecuția oscilațiilor</p> <p>Coordonata, m</p> $x = A \cos \omega t$ $x = A \sin \omega t$ <p>Amplitudinea oscilațiilor, m</p> $a_x = -\omega^2 x$
---	--	--	---

DINAMICA, STATICA

Forțele gravitaționale

<p>Forța atracției universale, N</p> <p>Constanta gravitațională</p> $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ <p>Masele corpurilor, kg</p> <p>Distanța dintre corpuri, m</p>

<p>Forța de greutate, N</p> $F = mg$ <p>Masa corpului, kg</p> <p>Masa Pământului, kg</p> $F = G \frac{mM}{(R+h)^2}$ <p>Raza Pământului, m</p> <p>Înălțimea, m</p>

<p>Forța de frecare de alunecare, N</p> <p>Coeficientul de frecare</p> $F_{fr \text{ alunecare}} = \mu N$ <p>Forța de reacțiune normală a suportului, N</p>

<p>Forța elastică, N</p> <p>Rigiditatea N/m</p> $\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$ <p>Alungirea, m</p>
--

Legea a doua a lui Newton

<p>Accelerația, m/s²</p> $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ <p>Masa, kg</p>	<p>Rezultanta forțelor, N</p> $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$
---	---

<p>Momentul forței, N·m</p> $M = F \cdot d$ <p>Brațul forței, m</p> <p>Forța, N</p>

<p>Condițiile echilibrului</p> $\begin{cases} M_1 + \dots + M_n = 0 \\ \vec{F}_1 + \dots + \vec{F}_n = 0 \end{cases}$

LUCRUL, ENERGIA, IMPULSUL

<p>Lucrul mecanic, J</p> $A = F \cdot s \cdot \cos \alpha$ <p>Deplasarea, m</p>

<p>Puterea, W</p> $P = \frac{A}{t}$ <p>Proiecția forței pe direcția mișcării, N</p> $P = v \cdot F_x$

<p>Impulsul corpului, kg·m/s</p> $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ <p>Masa, kg</p> <p>Viteza de mișcare a corpului, m/s</p>

<p>Impulsul forței, N·s</p> $\vec{F} \cdot t$ <p>Forța, N</p> <p>Timpul, s</p>
--

<p>Energia cinetică, J</p> $E_c = \frac{mv^2}{2}$ <p>Viteza mișcării, m/s</p>

<p>Energia potențială, J</p> $E_p = mgh$ <p>Înălțimea, m</p> $E_p = \frac{kx^2}{2}$ <p>Rigiditatea, N/m</p>

<p>Legea conservării impulsului:</p> $\vec{p}_{01} + \dots + \vec{p}_{0n} = \vec{p}_1 + \dots + \vec{p}_n$ <p>Legea conservării energiei mecanice: $E_{c0} + E_{p0} = E_c + E_p$</p>

MECANICA RELATIVISTĂ

Legea compunerii vitezelor

<p>Viteza mișcării în raport cu SR imobil, m/s</p> $v_x = \frac{v_{1x} + v_{2x}}{1 + \frac{v_{1x} v_{2x}}{c^2}}$ <p>Viteza de propagare a luminii în vid, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s</p>

Legea interconexiunii masei și energiei

<p>Energia de repaus, J</p> $E_0 = mc^2$ <p>Energia corpului, care se mișcă, J</p> $E_0 = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
--

Reducerea lorentzeană a lungimii

<p>Lungimea în SR, în raport cu care corpul se mișcă, m</p> $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ <p>Lungimea în SR, în raport cu care corpul se află în stare de repaus, m</p>
--

Efectul încetării timpului

<p>Timpul în SR, în raport cu care corpul se mișcă, s</p> $\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ <p>Timpul în SR, în raport cu care corpul se află în stare de repaus, m</p>
--

FIZICA MOLECULARĂ ȘI TERMODINAMICA

Gazul ideal

<p>Ecuția fundamentală a TCM</p> $p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2$ <p>Presiunea gazului, Pa</p> $p = \frac{2}{3} n \bar{E}_c$ <p>Concentrația, m⁻³</p>

<p>Energia cinetică medie a moleculelor, J</p> $\bar{E}_c = \frac{3}{2} kT$ <p>Ecuția de stare</p> <p>Volumul gazului, m³</p> $pV = \frac{m}{M} RT$ <p>Temperatura, K</p>	<p>Ecuția lui Clapeyron</p> $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ <p>Temperatura, K</p>
--	---

Umiditatea

<p>Umiditatea absolută, kg/m³</p> $\rho_a = \frac{m_{H_2O}}{V}$ <p>Umiditatea relativă, %</p> $\varphi = \frac{\rho_a}{\rho_{v,s}} \cdot 100\%$
--

Tensiunea superficială

<p>Tensiunea superficială, N/m</p> $\sigma = \frac{F_{sup}}{l}$ <p>Forța de tensiune superficială, N</p> <p>Perimetrul de tangență</p> $\sigma = \frac{W_{sup}}{S}$ <p>Energia superficială, J</p> <p>Aria suprafeței, m²</p>
--

Prima lege a termodinamicii

<p>Cantitatea de căldură, J</p> <p>De încălzire</p> $Q = cm\Delta T$ <p>Topire</p> $Q = \lambda m$ <p>Vaporizare</p> $Q = rm$

<p>Lucrul gazului, J</p> $Q = \Delta U + A$ <p>Variația energiei interne, J</p> <p>Energia internă a gazului monoatomic ideal, J</p> $U = \frac{3}{2} m \frac{R\Delta T}{M}$ <p>Lucrul gazului în timpul procesului izobar, J</p> $A = p\Delta T$

Randamentul motoarelor termice

<p>Randamentul maxim posibil, %</p> <p>Temperatura răcoritorului, K</p> $\eta_{max} = \frac{T_i - T_r}{T_i} \cdot 100\%$ <p>Temperatura încălzitorului, K</p>

<p>Randamentul motorului, %</p> $\eta = \frac{Q_i - Q_r}{Q_i} \cdot 100\%$ <p>Lucrul util, J</p> $\eta = \frac{A_{util}}{Q_i} \cdot 100\%$ <p>Cantitatea de căldură, J</p>
--

ELECTROSTATICA

Legea lui Coulomb

<p>Forța de interacțiune a sarcinilor punctiforme, N</p> $F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}$ <p>Sarcinile corpurilor, C</p> <p>Permitivitatea dielectrică a mediului</p>

Mărimi fizice

<p>Intensitatea câmpului, N/m</p> $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ <p>Forța, N</p> <p>Sarcina, C</p>	<p>Potențialul, V</p> $\varphi = \frac{W_p}{q}$ <p>Energia potențială, J</p> <p>Câmpul sarcinii punctiforme</p> $E = k \frac{q}{\epsilon r^2} \quad \varphi = k \frac{q}{\epsilon r}$ <p>Distanța dintre sarcini</p>
---	--

Condensatoare

<p>Capacitatea electrică, F</p> $C = \frac{q}{U}$ <p>Sarcina, C</p> <p>Tensiunea, V</p> <p>Capacitatea electrică a condensatorului plan, F</p> $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$	<p>Energia condensatorului încărcat, J</p> $W = \frac{qU}{2}$ $W = \frac{CU^2}{2}$ $W = \frac{q^2}{2C}$
--	---