

PREMIUL NOBEL PENTRU FIZICĂ ÎN 2008 PENTRU STUDIUL SIMETRIILOR FUNDAMENTALE ALE UNIVERSULUI

Academia Regală Suedeză pentru Științe a decis, la 7 octombrie 2008, să ofere Premiul Nobel pentru Fizică în 2008 japonezului **Yoichiro Nambu** (o jumătate din premiu), care lucrează acum la Enrico Fermi Institute, University of Chicago, IL, SUA, pentru descoperirea mecanismului ruperii spontane a simetriei în fizica subatomică. Cealaltă jumătate a Premiului a fost acordată lui **Makoto Kobayashi** de la High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Tsukuba, Japonia, și lui **Toshihide Maskawa**, Yukawa Institute for Theoretical Physics (YITP), Kyoto University, Japonia, pentru descoperirea originii ruperii simetriei care prezice existența a cel puțin trei familii de cuarci în natură.



PASIUNE PENTRU SIMETRIE

Faptul că lumea noastră nu se comportă perfect simetric este rezultatul abaterilor de la simetrie la nivel microscopic. Încă din 1960, **Yoichiro Nambu** a formulat descrierea matematică pentru ruperea spontană a simetriei în fizica particulelor elementare. Ruperea spontană a simetriei maschează ordinea naturii sub o aparentă învălmășeală. S-a dovedit a fi extrem de folositoare, iar teoria lui a pătruns prin Modelul Standard al fizicii particulelor elementare. Modelul unifică într-o singură teorie cele mai mici cărămizi ale materiei și trei din cele patru forțe ale naturii.

Ruperea spontană a simetriei studiată de Nambu diferă de ruperea simetriilor descrisă de Makoto Kobayashi și Toshihide Maskawa. Aceste evenimente spontane par să fi existat în natură încă de la începutul Universului și a fost o mare surpriză atunci când au apărut pentru prima oară în experimente cu particule în anul 1964. Abia în ultimii ani oamenii de știință au confirmat pe deplin explicațiile oferite de Kobayashi și Maskawa în 1972. Pentru această muncă ei primesc Premiul Nobel pentru Fizică. Ei au explicat



Yoichiro Mambu (n. 1921, Tokyo, Japonia) a primit 1/2 din Premiul Nobel pentru Fizică pe 2008 pentru formularea matematică a ruperii spontane de simetrie în fizica particulelor elementare. El este cetățean american de origine japoneză.

ruperea simetriei în cadrul Modelului Standard, dar necesită ca Modelul să fie extins la trei familii de cuarci. Acestea prezise, noi cuarci ipotetici au apărut în experimentele fizice. În 2001, cele două detectoare de particule BaBar la Standford, SUA, și Belle la Tsukuba, Japonia, au detectat în mod independent unul de celălalt, ruperea simetriei. Aceste rezultate au fost exact cele prezise de Kobayashi și Maskawa cu trei decade în urmă.

Ruperi ale simetriei de același fel, dar neexplicate până în prezent stau în spatele apariției cosmosului prin Big-Bang acum aproximativ 14 miliarde de ani. Dacă au fost create cantități egale de materie și antimaterie ar fi trebuit să se anihileze una pe cealaltă. Dar acest lucru nu s-a întâmplat, a fost o mică deviație de o extra particulă de materie la 10 miliarde de particule de antimaterie. Această rupere a simetriei pare să fi dus la supraviețuirea Cosmosului. Întrebarea 'cum anume s-a întâmplat aceasta?' rămâne încă fără răspuns. Poate noul accelerator de particule LHC de la CERN din Geneva va descoperi câteva dintre misterele care continuă să ne nedumerească.



Makoto Kobayashi (n. 1944) a primit $\frac{1}{4}$ din Premiul Nobel pentru Fizică pe 2008 pentru descoperirea că există cel puțin trei familii de cuarci, folosind ruperea simetriilor elementare din fizica particulelor.



Toshihide Maskawa (n. 1940) a primit $\frac{1}{4}$ din Premiul Nobel pentru Fizică pe 2008 pentru descoperirea că există cel puțin trei familii de cuarci, folosind ruperea simetriilor elementare din fizica particulelor.

Declarația de presă oficială a Comitetului
Nobel
tradusă de Teodora Dan
pentru www.StiintaAzi.ro

MARELE ACCELERATOR DE HADRONI (LARGE HADRON COLLIDER - LHC) SAU CONCEPȚIA NOASTRĂ DESPRE UNIVERS ESTE PE CALE DE A SE SCHIMBA...

În dimineața zilei de 10 septembrie 2008 primul flux de protoni a circulat prin cel mai mare accelerator de particule din lume, construit la Centrul European de Cercetări Nucleare (CERN), între Munții Alpi și Munții Jura, lângă Geneva.

Acceleratorul de particule LHC (Large Hadron Collider – Mare Accelerator de Hadroni) este un instrument științific gigantic construit în apropiere de Geneva care intersectează frontiera între Elveția și Franța la aproximativ 100 m adâncime. Acest accelerator va fi utilizat de către fizicieni pentru a studia cele mai mici particule cunoscute – cărămizile fundamentale de construcție a tuturor lucrurilor. El va revoluționa concepțiile noastre – de la lumea minusculă din interiorul atomilor până la imensitatea Universului.



Două fascicule de particule subatomice numite „hadroni” – fie protoni, fie ioni de plumb – se vor mișca în sensuri opuse în interiorul unui accelerator circular, acumulând energie la fiecare rotație. Fizicienii vor folosi acceleratorul LHC pentru a reproduce condițiile care au existat imediat după Marea Explozie (Big Bang) prin ciocnirea frontală a celor două fascicule la energii foarte înalte. Echipe de fizicieni din întreaga lume vor analiza particulele create în procesul ciocnirilor, folosind detectoare speciale în o serie de experimente dedicate LHC.

Există mai multe teorii cu privire la ceea ce va rezulta din aceste experimente, însă absolut sigur este faptul că noul accelerator va da naștere unei noi lumi a fizicii, deoarece cunoștințele din fizica particulelor se vor aplica pentru a descrie funcționarea Universului. Decade în șir modelul standard din fizica particulelor a servit fizicienilor drept un mijloc de înțelegere a legilor fundamentale ale Naturii, însă el nu descrie totul. Numai datele

experimentale obținute la energiile înalte atinse în LHC pot impulsiona cunoașterea, provocându-i pe cei care caută confirmarea cunoștințelor stabilite, dar și pe cei care se încumetă să viseze ieșind din cadrul paradigmei.

CUM FUNCȚIONEAZĂ LHC

Acceleratorul LHC, cel mai mare și cel mai puternic accelerator de particule din lume, face parte din complexul de acceleratoare de la CERN. El constă dintr-un inel de 27 km de magneți supraconductori, prevăzut cu o serie de structuri de accelerare pentru a asigura creșterea energiei particulelor de-a lungul traseului.

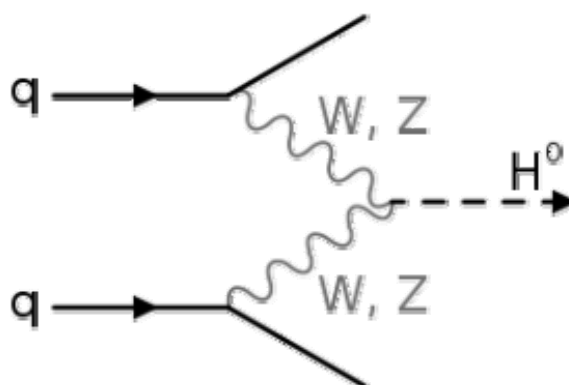
În interiorul acceleratorului, două fascicule de particule cu energie foarte înaltă se propagă cu viteze aproape de viteza luminii înainte de a se ciocni unul cu altul. Fasciculele se mișcă în sensuri opuse în două tuburi separate, menținute în vid ultraînalt. Ele sunt ghidate în inelul acceleratorului de către un câmp magnetic puternic, obținut cu ajutorul unor electromagneți supraconductori. Aceștia sunt construiți din bobine de cablu electric special, care funcționează în stare de supraconductibilitate, conducând eficient curentul electric fără rezistență sau pierderi de energie. Aceasta necesită răcirea magneților până la circa -271°C , adică la o temperatură mai joasă decât în spațiul cosmic ! Din acest motiv, cea mai mare parte a acceleratorului este conectată la un sistem de distribuție cu heliu lichid care răcește magneții, precum și la alte servicii de furnizare.

Mii de magneți de diferite tipuri și dimensiuni sunt folosiți pentru a direcționa fasciculele pe traseul circular al acceleratorului. Aceștia includ 1232 de magneți-dipoli de 15 m lungime utilizați pentru a curba fasciculele și 392 magneți-cvadripoli, fiecare de 5-7 m, pentru focalizarea fasciculelor. Chiar înainte de ciocnire, un alt tip de magnet este folosit pentru a „strânge” particulele mai aproape împreună în vederea sporirii șanselor de ciocnire. Particulele sunt atât de mici, încât sarcina de a le face să se ciocnească seamănă cu a împușca cu ace din două poziții situate la 10 km una de alta cu o astfel de precizie ca ele să se întâlnească la jumătate de cale !

Toate pârghiile de control al acceleratorului, al serviciilor acestuia și infrastructurii tehnice se află sub același acoperiș la Centrul de Control CERN. De aici, fasciculele din interiorul LHC vor fi făcute să se ciocnească în patru locuri ale inelului accelerator ce corespund pozițiilor detectoarelor de particule.

EXPERIMENTELE PROIECTATE

Cu ajutorul LHC vor fi realizate șase experimente prin colaborări internaționale, ele întrunind savanți de la institute de cercetare din întreaga lume. Fiecare experiment este unic și e caracterizat prin detectorul său unic de particule. Două dintre ele, experimentul ATLAS și CMS (Compact Muon Solenoid), sunt detectoare de particule mari și au roluri generice. ATLAS va fi folosit pentru a căuta semne de informații noi, inclusiv originile masei sau dimensiuni superioare. CMS, celălalt detector generic, ca și ATLAS, caută bosonul Higgs și alte indicii cu privire la natura materiei întunecate.



O diagramă Feynman a felului în care ar putea fi produs bosonul Higgs la LHC. Aici, două quark-uri emit fiecare un boson W sau Z, care se combină pentru a obține un boson Higgs neutru.

8 Noutăți din domeniul fizicii și tehnologiilor

Experimentele ALICE (A Large Ion Collider Experiment) și LHCb au roluri mai specifice. ALICE studiază starea de agregare a materiei, numită plasmă quark-gluon care a existat la scurt timp după Big Bang. În Big Bang au fost create cantități egale de materie și antimaterie. LHCb va încerca să investigheze ce s-a întâmplat cu antimateria lipsă. Ultimele două, TOTEM și LHCf sunt mult mai mici și sunt folosite pentru cercetări foarte specializate.

SCOPUL EXPERIMENTELOR LHC

Aproximativ 7 mii de oameni de știință din 80 de țări vor avea acces la LHC. Teoretic, acceleratorul va produce bosoni Higgs, ultima particulă neobservată dintre cele prevăzute teoretic de Modelul Standard. Verificarea existenței bosonului Higgs va aduce lumină asupra mecanismului ruperii simetriei electrolabe, prin care se consideră că particulele Modelului Standard capătă masă. În plus față de bosonul Higgs, la LHC ar putea fi produse și alte noi particule prezise de diverse extensii ale Modelului Standard. În general, fizicienii speră că LHC îi va ajuta să răspundă la următoarele întrebări:

- Este cu adevărat aplicat în natură mecanismul Higgs de generare a maselor particulelor elementare din Modelul Standard ? Dacă e așa, câți bosoni Higgs există și care sunt masele lor ?
- Electromagnetismul, forța nucleară tare și forța nucleară slabă sunt doar manifestări diferite ale unei singure forțe unificate, după cum prezic multiplele teorii ale unificării ?
- De ce este gravitația cu atâtea ordine de mărime mai slabă decât celelalte trei interacțiuni fundamentale ?
- Se realizează în natură Supersimetria, adică au particulele din Modelul Standard câte un partener supersimetric ?
- Măsurările mai precise ale maselor și ale dezagregărilor quarkurilor vor continua să mai fie consistente mutual în Modelul Standard ?
- De ce pare că există violări ale simetriei între materie și antimaterie ?
- Care este natura materiei întunecate și a energiei întunecate ?
- Există dimensiuni superioare, după cum prezic diferitele modele inspirate din teoria corzilor, și le putem detecta ?

Dintre descoperirile posibile pe care le-ar putea face LHC, doar descoperirea particulei Higgs este relativ necontroversată, dar nici aceasta nu este considerată o certitudine. Stephen Hawking a spus într-un interviu că „cred că va fi mult mai interesant dacă nu găsim Higgsul. Aceasta va arăta că am greșit undeva și că trebuie să regândim... Orice ar găsi sau nu ar găsi LHC, rezultatele ne vor spune multe despre structura Universului”.

FAPTE ȘI CIFRE

Cea mai mare mașină din lume

Circumferința exactă a acceleratorului LHC este de 26 659 m cu 9300 de magneți în interior. LHC este nu numai cel mai mare accelerator din lume, dar chiar și 1/8 din sistemul său criogenic de distribuție se poate califica drept cel mai mare frigifer din lume. Toți magneții vor fi răciți în prealabil până la $-193,2^{\circ}\text{C}$ (80 K) folosind 10 080 tone de azot lichid, înainte de a fi umpluți cu aproape 60 tone de heliu lichid pentru a le coborî temperatura până la $-271,3^{\circ}\text{C}$ (1,9 K).

Cel mai rapid traseu de pe planetă

La puterea maximă, trilioane de protoni vor parcurge cercul acceleratorului LHC de 11 245 ori pe secundă, mișcându-se cu viteza de 99.99% din viteza luminii. Protonii din cele două fascicule vor avea fiecare energia maximă de 7 TeV (tera-electronvolt), ceea ce corespunde unor ciocniri frontale de 14 TeV. În fiecare secundă se vor produce în total cam

600 milioane de ciocniri.

Cel mai înalt vid din Sistemul Solar

Pentru a evita ciocnirile cu moleculele de gaz din interiorul acceleratorului, fasciculele de particule se vor propaga într-un vid ultraînalt, ca în spațiul interplanetar. Presiunea internă în LHC este de 10^{-13} atm, de 10 ori mai joasă decât presiunea pe Lună !

Cel mai fierbinte loc în Galaxie, dar și mai friguros decât spațiul cosmic

LHC este o mașină de frig și căldură extreme. Atunci când două fascicule de protoni se ciocnesc, ele vor genera temperaturi de peste 100 000 ori mai înalte decât în centrul Soarelui, concentrate într-un spațiu minuscul. Prin contrast, „sistemul criogenic de distribuție” care pune în circulație heliul suprafluid în lungul inelului accelerator menține LHC la o temperatură extrem de joasă de -271.3°C (1,9 K) – chiar mai scăzută decât în spațiul cosmic !

Cele mai mari și mai sofisticate detectoare construite vreodată

Pentru a înregistra rezultatele a circa 600 milioane de ciocniri de protoni pe secundă, fizicienii și inginerii au construit dispozitive gargantuene care măsoară particulele cu precizia de microni. Detectoarele acceleratorului LHC au sisteme electronice trigger sofisticate care măsoară cu precizie timpul de trecere a unei particule cu exactitatea de câteva miliardimi de secundă. De asemenea, sistemul trigger înregistrează locația particulelor cu precizia de până la milionimi de metru. Această reacție incredibil de rapidă și precisă este esențială pentru a avea siguranța că particula înregistrată în straturi succesive ale unui detector este una și aceeași.

Cel mai performant sistem de supercomputere din lume

Datele înregistrate în fiecare din experimentele realizate la LHC vor umplea în fiecare an circa 100 000 de DVD cu strat dublu. Pentru a permite miilor de savanți împrăștiați pe tot globul să colaboreze în analiza acestora în următorii 15 ani (durata estimată de viață a LHC), zeci de mii de computere situate în întreaga lume sunt încadrate într-o rețea computațională distribuită numită Grid.

CĂLĂTORIA SPRE NOI FRONTIERE

Acceleratorul LHC a fost inițial conceput în anii 1980 și aprobat pentru construcție de către Consiliul CERN la sfârșitul anului 1994. Transpunerea acestui plan științific ambițios în realitate s-a dovedit a fi o sarcină imens de complexă.

Lucrările ingineresti de excavare a cavernelor subterane pentru amplasarea detectoarelor uriașe utilizate în experimente au început în 1998. Cinci ani mai târziu a fost, în sfârșit, excavat ultimul metru cub de sol în cadrul proiectului.

Numeroase tehnologii ultramoderne au fost chiar perfecționate pentru a satisface specificările de precizie și cerințele fără precedent față de construcția acceleratorului.

Anticipând cantitatea colosală de date pe care le vor produce experimentele LHC (aproape 1% din rata mondială de producere a informațiilor), a fost concepută o nouă abordare a proceselor de păstrare, procesare, difuzare și analiză a datelor în cadrul Proiectului Computațional Grid al LHC.

Pe parcursul a mai bine de o decadă, construcția LHC a fost un vis pentru mulți acei care au lucrat cu perseverență pentru a-l duce la bun sfârșit. Aceasta e istoria unei aventuri, repovestită ca o călătorie de la vis la realitate...

Tradadaptare de Stefan D. TIRON

Sursa: <http://public.web.cern.ch>

Notă. Problemele datorate supraîncălzirii unui magnet superconductor pe 19 septembrie 2008 au cauzat scurgerea unei tone de heliu lichid. Investigațiile au arătat că incidentul a fost cauzat de o legătură electrică defectă între doi dintre magneții ai acceleratorului. Repunerea în funcțiune a acceleratorului a fost amânată până în toamna anului 2009.

TRUSA DE MECANICĂ ASISTATĂ DE CALCULATOR. I. PROCESAREA DATELOR

Alexandru RUSU, Constantin PÎRȚAC, Spiridon RUSU
preuniversitas@gmail.com

Trusa de mecanică asistată de calculator reprezintă o instalație unificată de laborator destinată efectuării a 70 experiențe de mecanică utilizând cele mai simple și generale metode de cercetare experimentală. Aceste experiențe, majoritatea cărora se pot efectua în mai multe variante, pot fi considerate nu numai ca lucrări practice sau de laborator pentru învățământul preuniversitar, ci și ca o mică culegere de probleme experimentale de mecanică. Trusa conține un cronometru digital ce permite măsurarea unui număr de la 1 până la 99 intervale consecutive de timp cu precizia de 0,0001 s, utilizând unul sau doi senzori. Intervalele de timp măsurate sunt introduse în calculator, care le procesează urmând un soft elaborat special pentru această trusă. Softul permite determinarea mărimilor căutate, estimarea erorilor și construirea graficelor dependențelor studiate, folosind metoda celor mai mici pătrate. Softul elaborat mai permite elevului să întocmească un referat privind experimentul realizat. Timpul de efectuare a majorității experiențelor și de elaborare a referatului este de cel mult 25 – 35 min, elevii având la dispoziție 10 - 20 min pentru analiză, dezbateri în grup și formularea de concluzii.

Trusa de mecanică asistată de calculator reprezintă o instalație unificată de laborator care a fost proiectată și realizată cu scopul facilitării lucrului profesorului, dar și al elevului la măsurarea, procesarea datelor experimentale și întocmirea referatului la experiența efectuată. Un alt scop a fost facilitarea însușirii de către elevi a celor mai simple și generale metode de cercetare experimentală. Cu ajutorul acestei truse pot fi verificate experimental relațiile cinematice valabile la mișcarea rectilinie uniform variată pe planul înclinat (13 experiențe) și la căderea liberă (7 experiențe), principiul fundamental al dinamicii mișcării de translație (11 experiențe), legea lui Hooke pentru deformațiile de comprimare și dilatare (6 experiențe), legea conservării impulsului în interacțiunile elastice și plastice (8 experiențe), teorema despre variația energiei cinetice a unui corp supus acțiunii forței de greutate, de frecare sau elastice (10 experiențe), legea conservării energiei mecanice (8 experiențe), formulele pentru perioada oscilațiilor pendulului elastic și gravitațional (7 experiențe). În aceste experiențe, pe lângă verificarea unei legi sau relații, de regulă, se determină și o mărime fizică cum ar fi, de exemplu, viteza instantanee a unui corp, accelerația mobilului, accelerația gravitațională, constanta de elasticitate a unui resort, coeficientul de frecare (rezistență), forța de frecare, lucrul forțelor disipative ș. a.

Verificarea legilor fizice și determinarea cu precizie satisfăcătoare a unor mărimi fizice depinde de precizia cu care se măsoară intervalele de timp și distanțele parcurse de corpuri în experiența efectuată. Vom observa că în laborator cele mai accesibile distanțe S sunt cele de ordinul 0,5 m. Aceste distanțe sunt parcurse de către diferite mobile în intervale mici de timp, intervale care trebuie măsurate cu o exactitate suficientă pentru a obține rezultate satisfăcătoare la efectuarea experiențelor. De exemplu, fie că dorim să determinăm accelerația gravitațională g , pornind de la relația dintre înălțimea și timpul căderii libere a unui corp $h = gt^2/2$. Timpul căderii lui de la înălțimea $h = 0,3$ m este $t = 0,2473$ s, dacă măsurăm cu o eroare maximă $\Delta t = 0,0001$ s sau $t = 0,247$ s, dacă măsurăm cu eroarea maximă $\Delta t = 0,001$ s. Intervalului de timp $t = 0,2473$ s îi corespunde valoarea accelerației gravitaționale $g = 2h/t^2 = 9,81$ m/s², iar intervalului $t = 0,247$ s - valoarea

$g = 2h/t^2 = 9,83 \text{ m/s}^2$. Dacă eroarea măsurării este $\Delta t = 0,0001 \text{ s}$ și timpul de zbor măsurat este $t = 0,2472 \text{ s}$, atunci accelerația gravitațională determinată va fi $g = 9,82 \text{ m/s}^2$. Dacă eroarea este $\Delta t = 0,001 \text{ s}$ și timpul de zbor măsurat este $t = 0,246 \text{ s}$, atunci $g = 9,91 \text{ m/s}^2$. Acest exemplu ne demonstrează că, dacă nu ținem seama de erorile întâmplătoare și sistematice în experiență, precum și de eroarea comisă la măsurarea înălțimii h , folosirea unui cronometru cu precizia $\Delta t = 0,001 \text{ s}$ conduce la determinarea accelerației gravitaționale cu o eroare de ordinul $0,1 \text{ m/s}^2$, pe când în cazul unui cronometru de precizia $\Delta t = 0,0001 \text{ s}$ această eroare este de ordinul $0,01 \text{ m/s}^2$. Astfel, dacă dorim să determinăm accelerația gravitațională cu precizia de ordinul $0,01 \text{ m/s}^2$, trebuie să folosim un cronometru cu precizia $\Delta t = 0,0001 \text{ s}$. Această precizie este convenabilă și pentru verificarea mai multor legi și relații mecanice, mai ales, în cazurile când pentru verificări sunt necesare intervale mici de timp.

Trebuie să menționăm că metoda folosită în exemplul de mai sus la determinarea accelerației gravitaționale este o metodă foarte aproximativă, întrucât ea nu ține seama de erorile întâmplătoare și, mai ales, de cele sistematice comise în experiment la măsurarea intervalului de timp și a înălțimii. Experiența ne demonstrează că eroarea întâmplătoare Δt la măsurarea timpului poate fi diminuată dacă măsurarea se repetă de un număr mare de ori, N , și se iau valorile medii ale timpului măsurat și ale erorii absolute:

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i, \quad \Delta \bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta t_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\bar{t} - t_i| \quad (1)$$

Însă, valoarea accelerației gravitaționale determinată cu ajutorul formulei $g = 2h/\bar{t}^2$ se poate deosebi cu mult de cea adevărată, întrucât, de regulă, în astfel de măsurări există și o eroare sistematică, δt , care poate fi (deseori, cu mult) mai mare decât cea întâmplătoare. Rezultă că determinarea valorilor medii \bar{t} și $\Delta \bar{t}$ nu ajută la nimic atâta timp cât nu este eliminată influența erorii sistematice δt asupra valorii accelerației gravitaționale g . Dacă, de exemplu, $\delta t \approx 0,01 \text{ s}$, atunci cronometrul va indica pentru $h = 0,3 \text{ m}$ $\bar{t}_1 = 0,2573 \text{ s}$ sau $\bar{t}_2 = 0,2373 \text{ s}$ în loc de $\bar{t} = 0,2473 \text{ s}$ cât ar trebui să indice. Acestor valori ale intervalului de timp le vor corespunde două valori ale accelerației gravitaționale: $g_1 = 2h/\bar{t}_1^2 = 9,06 \text{ m/s}^2$ sau $g_2 = 2h/\bar{t}_2^2 = 10,65 \text{ m/s}^2$. Ambele valori se deosebesc prea mult de valoarea așteptată și cunoscută a accelerației gravitaționale $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Valoarea $\delta t \approx 0,01 \text{ s}$ pentru eroarea sistematică nu este exagerată. Ea poate să se obțină în experiență și se explică prin faptul că este foarte dificil de stabilit senzorul cronometrului astfel încât la eliberarea corpului obturatorul lui să acopere imediat fasciculul senzorului și astfel să declanșeze măsurarea timpului. De regulă, corpul parcurge o mică distanță δh înainte de a declanșa măsurarea timpului. Acestei distanțe mici îi corespunde un interval de timp mic $\delta t \approx \sqrt{2\delta h/g}$ neînregistrat de cronometru la fiecare repetare, care intervine ca o eroare sistematică. Dacă, de exemplu, $\delta h = 0,2 \text{ mm}$, atunci pentru eroarea sistematică obținem $\delta t \approx 0,006 \text{ s}$, iar dacă $\delta h = 0,5 \text{ mm}$, atunci $\delta t \approx 0,01 \text{ s}$.

Pentru a elimina influența erorii sistematice asupra valorii măsurate a accelerației gravitaționale g , observăm că formula $h = gt^2/2$ poate fi scrisă sub forma $\sqrt{h} = \sqrt{g/2} t$. Această relație reprezintă o funcție liniară de tipul

$$Y = pX + b, \quad (2)$$

unde $Y = \sqrt{h}$ și $X = t$. Graficul acestei funcții este o dreaptă cu panta $p = \sqrt{g/2}$ (fig. 1). Astfel, construind graficul dependenței liniare (2) și determinându-i panta $p = \operatorname{tg}\alpha$, putem determina accelerația gravitațională: $g = 2p^2$. Această valoare nu mai este influențată de eroarea sistematică, întrucât valoarea pantei nu depinde de ea. Dacă intervalul de timp măsurat diferă de fiecare dată cu δt , atunci termenul liber în (2) este $b = -p\delta t$ și eroarea sistematică $\delta t = -b/p$. Rezultă că eroarea sistematică la măsurarea mărimii X conduce numai la deplasarea graficului dreptei în întregime în sens opus axei absciselor cu $X_0 = \delta t$ (fig. 1).

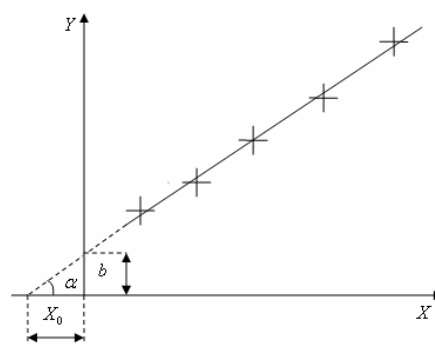


Fig. 1

În trusa de mecanică asistată de calculator se folosește un cronometru digital proiectat să măsoare și să memoreze un număr de la 1 până la 99 intervale consecutive de timp (în continuare aceste intervale vor fi notate prin $t_1, t_2, t_3, \dots, t_{99}$) cu precizia

$\Delta t = 0,0001 \text{ s}$,
folosind unul sau doi senzori.

Intervalele de timp măsurate pot fi citite, trecute în tabele și procesate manual sau la calculator. Procesarea la calculator este facilitată de posibilitatea transferului intervalelor de timp măsurate la portul serial al calculatorului.

Verificarea experimentală a legilor și relațiilor fizice în majoritatea cazurilor poate fi efectuată cu ajutorul graficului funcției liniare (2). Pentru construirea graficului sunt necesare n puncte experimentale, adică n perechi de valori experimentale: $(X_1, Y_1); (X_2, Y_2); (X_3, Y_3); \dots; (X_n, Y_n)$. deseori valorile Y_1, Y_2, \dots, Y_n reprezintă valori medii obținute în urma mai multor măsurări ale acestora pentru una și aceeași valoare a mărimii X . De exemplu, pentru valoarea X_i , care a fost măsurată o singură dată, s-au obținut N valori ale mărimii Y_i . Se poate întâmpla și invers când pentru o valoare fixă a mărimii Y se obțin mai multe valori ale mărimii X și atunci mărimile X_i vor avea sensul unor valori medii. Dacă pe ambele axe de coordonate se reprezintă mărimi măsurate indirect, atunci se pot

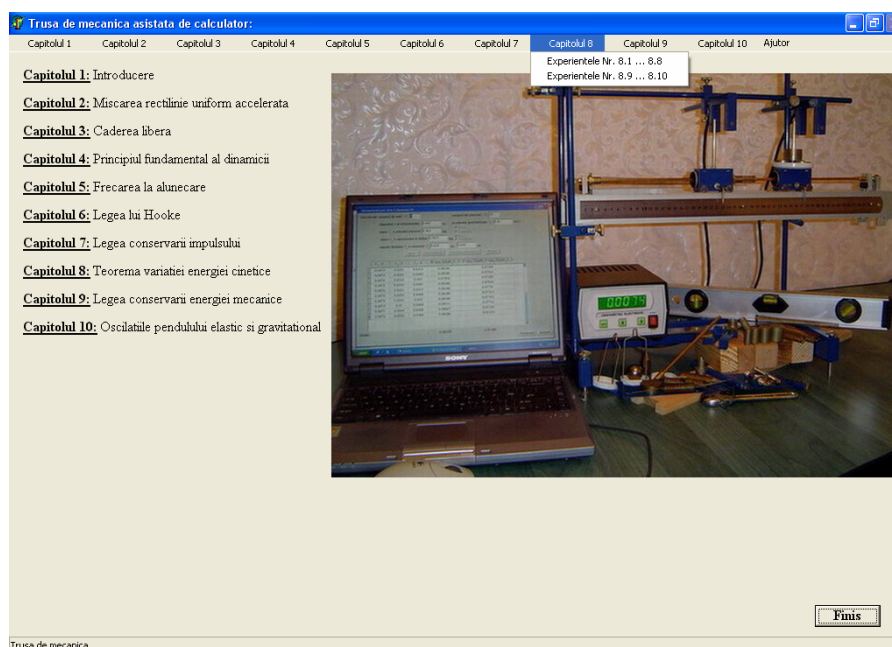


Fig. 2

întâlni cazuri când atât X_i cât și Y_i vor reprezenta niște valori medii:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_j \quad \bar{Y}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Y_j \quad \text{și /sau} \quad (3)$$

Cu ajutorul acestor valori medii se calculează erorile medii $\Delta\bar{X}_i$ și $\Delta\bar{Y}_i$ sau numai una din ele, după caz, pentru fiecare serie de măsurări, adică pentru fiecare din n puncte experimentale:

$$\Delta\bar{X}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |\bar{X}_i - X_j| \quad \Delta\bar{Y}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |\bar{Y}_i - Y_j| \quad \text{și /sau} \quad (4)$$

Deoarece în procesul măsurărilor se comit erori întâmplătoare, diferențele (abaterile de la dreapta (2)): $Y_1 - pX_1 - b, Y_2 - pX_2 - b, \dots, Y_n - pX_n - b$, vor fi diferite de zero. Problema constă în determinarea acelor valori ale parametrilor p și b , pentru care dreapta (2) cel mai bine va trece prin punctele experimentale. Se poate demonstra că valorile optime ale parametrilor p și b se obțin atunci când suma pătratelor abaterilor de la dreapta (2), adică mărimea

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - pX_i - b)^2 \quad (5)$$

este minimă. De aici și rezultă denumirea: *metoda celor mai mici pătrate*. Din condiția de minim al sumei (5) rezultă următoarele valori ale parametrilor p și b :

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})Y_i}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad b = \bar{Y} - p\bar{X} \quad (6)$$

unde

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (7)$$

Pentru erorile absolute (abaterile standard) și relative ale pantei și termenului liber se obțin relațiile:

$$Dp \approx \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - pX_i - b)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}, \quad \varepsilon_p = \frac{\Delta p}{p} \quad (8)$$

$$\Delta b \approx \sqrt{\left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right) \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - pX_i - b)^2}{n-1}}, \quad \varepsilon_b = \frac{\Delta b}{b} \quad (9)$$

Observăm că dacă în experiența concretă este nevoie de segmentul tăiat de dreaptă pe axa absciselor X_0 (fig. 1), atunci el se determină din condiția $Y = 0$, obținându-se

$$X_0 = -b/p \quad (10)$$

Erorile absolută și relativă ale mărimii X_0 sunt:

$$\Delta X_0 = \frac{b\Delta p + p\Delta b}{p^2}, \quad \frac{\Delta X_0}{X_0} = \frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta b}{b}. \quad (11)$$

Sensul fizic al pantei p a dreptei construite, precum și a segmentelor X_0 și b tăiate de dreaptă pe axele de coordonate depinde de experiența efectuată. Metoda celor mai mici pătrate presupune determinarea mărimilor p , b și X_0 efectuând n serii a câte N măsurări. Experiența demonstrează că valorile medii \bar{X}_i și/sau \bar{Y}_i în cadrul seriei cu numărul i (vezi (3)) vor fi cu atât mai apropiate de valorile lor adevărate, cu cât numărul de măsurări N în cadrul acestei serii va fi mai mare. În mod analog, mărimile p , b și X_0 vor fi cu atât mai apropiate de valorile lor adevărate cu cât numărul seriilor de măsurări n va fi mai mare. În majoritatea cazurilor se obțin rezultate bune dacă $N \geq 10$ și $n \geq 5$.

Totuși, datorită preciziei înalte a cronometrului electronic, în unele cazuri se obțin rezultate satisfăcătoare chiar și pentru $N = 1$, dacă $n \geq 7$. În acest caz numărul mic de repetări ($N = 1$)

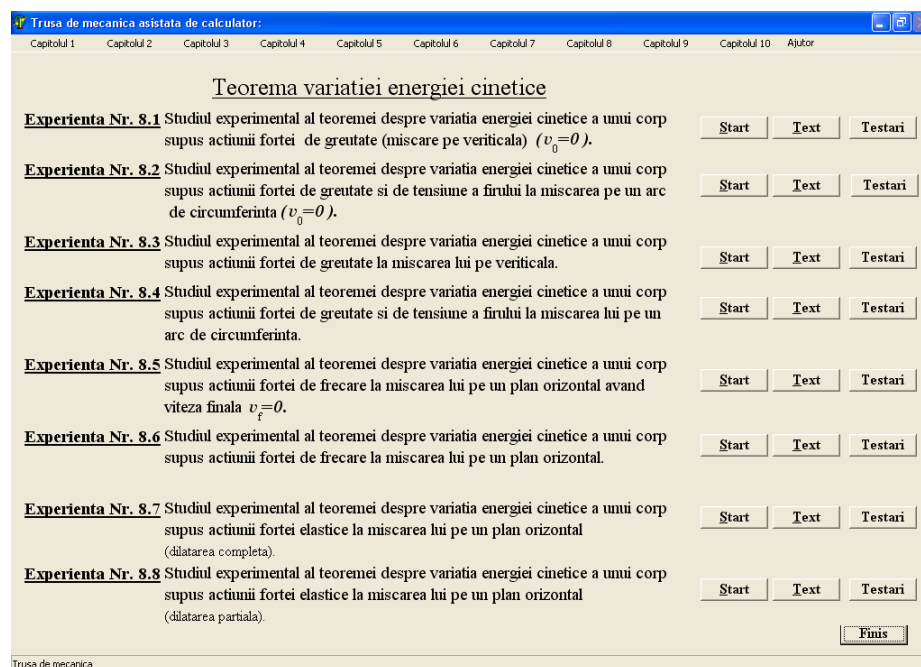


Fig. 3

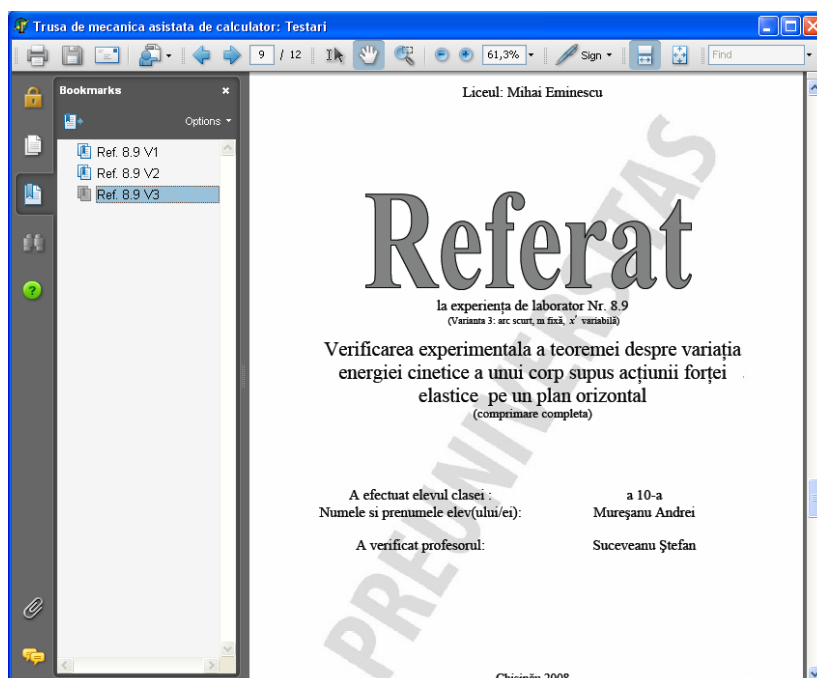


Fig. 4



Fig. 5

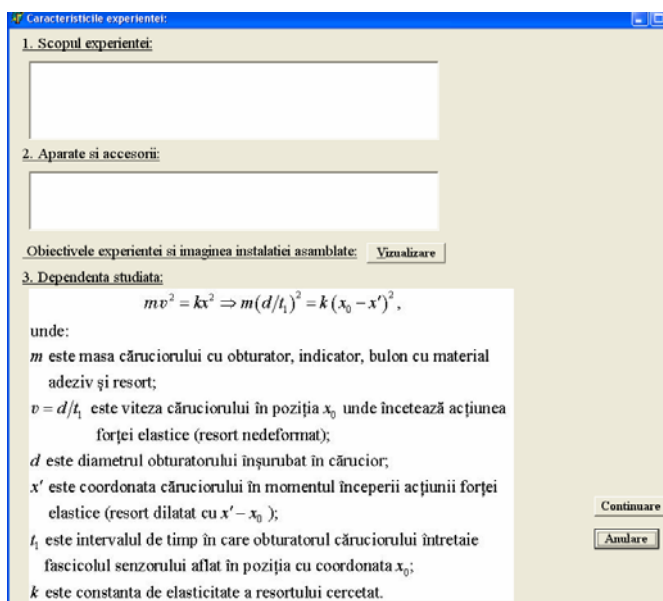


Fig. 6

este compensat de un număr mai mare de serii ($n \geq 7$). Însă, chiar pentru valori nu prea mari ale numerelor n și N calculul manual

al mărimilor p , b , X_0 și al erorilor acestora Δp , Δb , ΔX_0 cu ajutorul formulelor (6) – (11), precum și construirea graficului dependenței studiate cer foarte mult timp. Această dificultate poate fi înlăturată dacă se folosește softul elaborat pentru procesarea datelor la efectuarea celor 70 de experiențe propuse. În acest caz nu se pierde timp nici măcar pentru introducerea în calculator a intervalelor de timp măsurate cu cronometrul electronic, întrucât acesta este interfațat calculatorului și intervalele de timp se transferă automat.

La calcularea erorilor este important să înlăturăm erorile grave (gafele), care pot apărea într-un număr mare de măsurări (repetări). Dacă numărul de măsurări în seria cu numărul i este $N \geq 10$ și $\Delta X_j / \Delta \bar{X}_i > 4$, atunci rezultatul măsurării cu numărul j din această serie trebuie înlăturat, considerându-se că în măsurarea respectivă s-a comis o eroare gravă (gafă). În continuare, valoarea medie în seria cu numărul i , adică mărimea \bar{X}_i se calculează fără a folosi rezultatul măsurării j din această serie. Experiența demonstrează că metoda propusă de înlăturare a erorilor grave este valabilă pentru $10 \leq N < 100$.

Fiecare experiență din cele 70 propuse este asigurată cu softul necesar pentru transferul intervalelor de timp măsurate de la cronometrul electronic la calculator, procesarea datelor experimentale, dar și pentru întocmirea referatului la experiența efectuată. Accesând programul trusei de mecanică asistată de calculator (TMAC) apare imaginea trusei și lista celor 10 capitole din care acesta este compus (fig. 2). Butoanele acestor capitole sunt afișate pe bara de meniu. Acționând, de exemplu, butonul „Capitolul 8”, mai jos apar numerele experiențelor (fig. 2) ce pot fi efectuate în cadrul acestuia. În cazul capitolului 8 astfel de experiențe sunt 10. Ele sunt distribuite în două ferestre: în prima – 8 (fig. 3), iar în a doua – 2. La fiecare experiență sunt 3 butoane: „Start”, „Text” și „Testări” (fig. 3). Dacă se execută un click pe butonul „Text”, atunci apare textul experienței respective elaborat atât pentru cazul efectuării ei folosind transferul și procesarea datelor la calculator, cât și fără a folosi acest transfer și procesare. Acest text poate fi salvat sub alt nume și poate fi imprimat în întregime.

Toate experi-ențele propuse au fost testate în diferite cazuri posibile. Ele sunt prezentate sub forma referatelor întocmite cu ajutorul softului propus (circa 220 de variante). Rezultatele testărilor pot fi accesate, exe-cutând un click pe butonul „Testări” (fig. 3). Ele pot fi salvate sub un alt nume, iar fiecare referat-test (fig. 4) poate fi imprimat în întregime.

Dacă se execută un click pe butonul „Start”, atunci se inițiază programul pentru întocmirea referatului și procesarea datelor experimentale la experiența selectată, pe ecran apărând fereastra numită **Pagina de titlu** (fig. 5). Ea conține denumirea liceului, denumi-rea experienței, clasa, numele elevului, numele profesorului, denumirea localității. Toate aceste rubrici sunt completate de către elev. În fereastra **Pagina de titlu** sunt plasate 2 butoane: „Continuare” și „Anulare”. Prin executarea unui click pe butonul „Anulare” revenim la fereastra anterioară, iar printr-un click pe butonul „Continuare” se deschide fereastra următoare numită **Caracteristicile experienței** (fig. 6). Ea conține punctul 1. Scopul experienței și

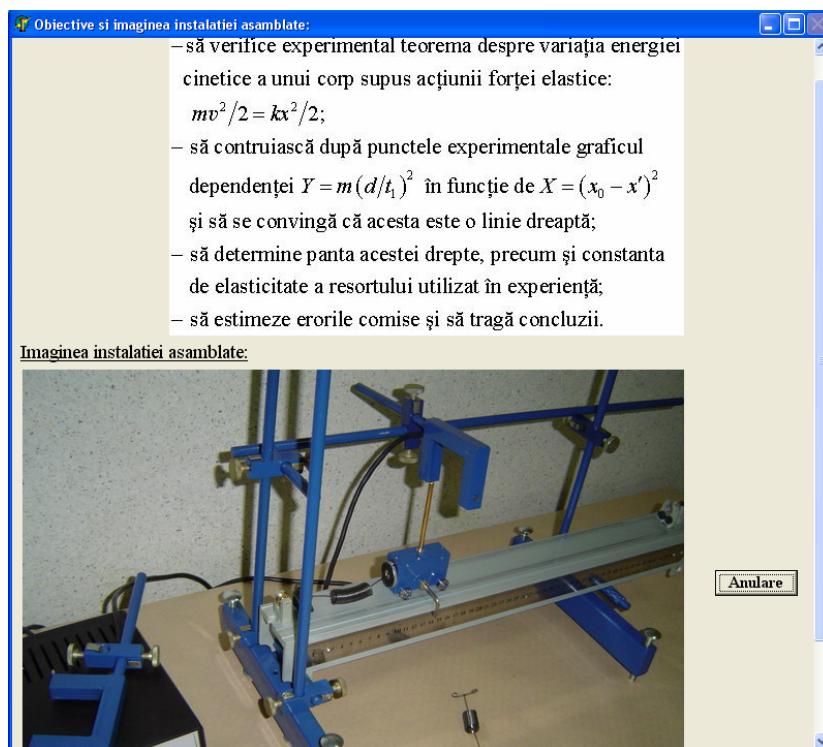


Fig. 7

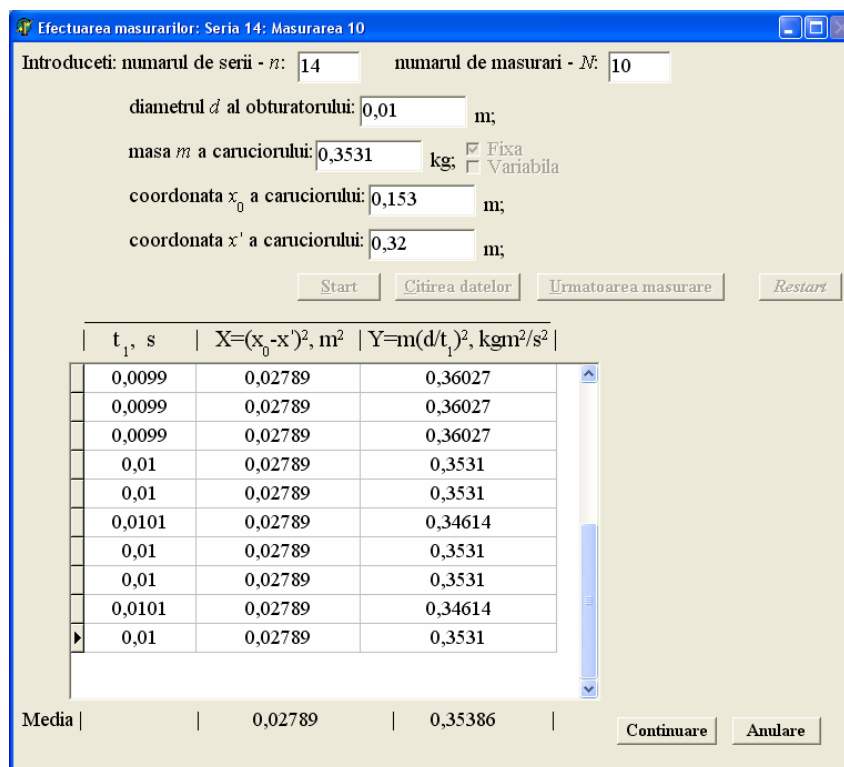


Fig. 8

punctul 2. **Aparate și accesorii**, care se completează de către elev. Punctul 3. **Dependența studiată** este completat din start. În el se afișează dependența studiată, exprimată în mărimi direct măsurabile și se explică ce reprezintă fiecare din mărimile fizice prezente în această dependență. Toate aceste 3 puncte ulterior vor intra în referatul experienței efectuate. După punctul 2. **Aparate și accesorii** este afișată expresia „**Obiectivele experienței și imaginea instalației asamblate**” cu butonul „**Vizualizare**”. Dacă se execută un click pe acest buton, atunci apare fereastra „**Obiective și imaginea instalației asamblate**” (fig. 7), în care sunt prezentate obiectivele experienței și imaginea trusei asamblate pentru efectuarea experienței selectate. În fig. 7 este reprezentată fereastra „**Obiective și imaginea instalației asamblate**” la experiența 8.9: „**Verificarea experimentală a teoremei despre variația energiei cinetice a unui corp supus acțiunii forței elastice pe un plan orizontal (comprimare completă)**”. În această fereastră este plasat un singur buton „**Anulare**”, un click pe care deschide fereastra anterioară (fig. 6).

În fereastra **Caracteristicile experienței** sunt situate butoanele „**Continuare**” și „**Anulare**”. Cu un click pe butonul „**Anulare**” se poate reveni la fereastra anterioară, iar printr-un click pe butonul „**Continuare**” se deschide următoarea fereastră numită „**Efectuarea măsurărilor**”. În fig. 8 este reprezentată această fereastră pentru experiența 8.9. Aici se cere introducerea mai multor mărimi: numărul seriilor de măsurări n ce urmează a fi efectuate (în exemplul analizat s-au luat $n = 14$ serii); numărul de măsurări N din cadrul fiecărei serii (s-au luat $N = 10$ măsurări); diametrul d al obturatorului înșurubat în cărucior (se măsoară cu șublerul) (a fost utilizat obturatorul cu diametrul $d = 10$ mm); masa m a căruciorului cu obturator, indicator, bulon cu resort fixat (se află prin cântărire, aici $m = 0,3531$ kg); coordonata poziției x_0 a căruciorului, în care asupra lui nu acționează forța elastică din partea resortului, acesta fiind nedeformat (se măsoară cu ajutorul indicatorului căruciorului de pe rigla planului, în exemplul analizat fiind $x_0 = 0,153$ m) (fig. 7); coordonata poziției căruciorului x' la momentul eliberării lui și începerii efectuării lucrului mecanic de către forța elastică, când resortul este deformat cu $x' - x_0$ (se determină în mod analog). Mărimea x' variază pe parcursul experienței, în fig. 8 fiind afișată valoarea $x' = 0,32$ m ce corespunde ultimei, adică celei de a 14-a serii de măsurări. După introducerea acestor mărimi se va cere bifarea valorii masei căruciorului care pe parcursul tuturor seriilor poate să rămână fixă sau să varieze la trecerea de la o serie de măsurări la alta. În această experiență ea a fost păstrată fixă (fig. 8).

Dacă cronometrul electronic este pornit și conectat la portul COM al calculatorului, se pot iniția măsurările propriu zise. Acționând butonul „**Start**”, cronometrul se stabilește automat în regimul de măsurare a numărului necesar de intervale consecutive de timp pentru experiență selectată. În cazul experienței 8.9 acest număr este 1, întrucât este necesar numai intervalul de timp t_1 , în care obturatorul căruciorului accelerat de resort acoperă fascicolul senzorului. La accesarea butonului „**Start**” se activează butonul „**Citirea datelor**”. Click-ul pe acest buton se va executa numai după ce cronometrul a măsurat intervalele de timp necesare în experiență. La acționarea acestui buton intervalele de timp stocate în cronometru după măsurarea efectuată vor fi trecute în tabel, calculându-se totodată mărimile X și Y (fig. 8).

Dacă măsurarea nu a avut loc în condițiile dorite, atunci ea poate fi repetată. În acest caz nu se mai execută click-ul pe butonul „**Citirea datelor**”, deci datele nu se citesc, și se acționează butoanele „**Restart**”, apoi „**Start**” inițiind o nouă măsurare. La accesarea butonului „**Citirea datelor**” se activează butonul „**Următoarea măsurare**”, după acționarea căruia se activează din nou butonul „**Start**”. Cu el se poate iniția următoarea măsurare din

seria de măsurări în curs de efectuare ș. a. m. d. În fig. 8 este reprezentată fereastra „Efectuarea măsurărilor” după acționarea butonului „Următoarea măsurare” când măsurarea cu numărul $N=10$ din seria $n=14$ fusese efectuată. Această accesare, fiind ultima din serie, conduce la calcularea valorilor medii ale mărimilor X și Y pentru seria dată. Softul ține seama și de eventualele gafe comise în experiment. Dacă în seria i există o măsurare j pentru care $\Delta X_j / \Delta \bar{X}_i > 4$, atunci această măsurare nu se va lua în seamă la calcularea valorilor medii ale mărimilor X și Y . Totodată, dacă se finalizează o serie intermediară, atunci ea conduce la dispariția valorii coordonatei căruciorului x' selectate pentru efectuarea seriei date de măsurări. Pentru a iniția o nouă serie de măsurări trebuie să introducem o nouă valoare a mărimii x' , apoi să acționăm butonul „Start”. În fig. 8 este reprezentată fereastra „Efectuarea măsurărilor” după terminarea ultimei serii de măsurări. Se observă că butoanele „Start”, „Citirea datelor”, „Următoarea măsurare” și „Restart” se dezactivează, dar se activează butonul „Continuare”, la acționarea căruia se deschide următoarea fereastră numită „Procesarea datelor” (fig. 9).

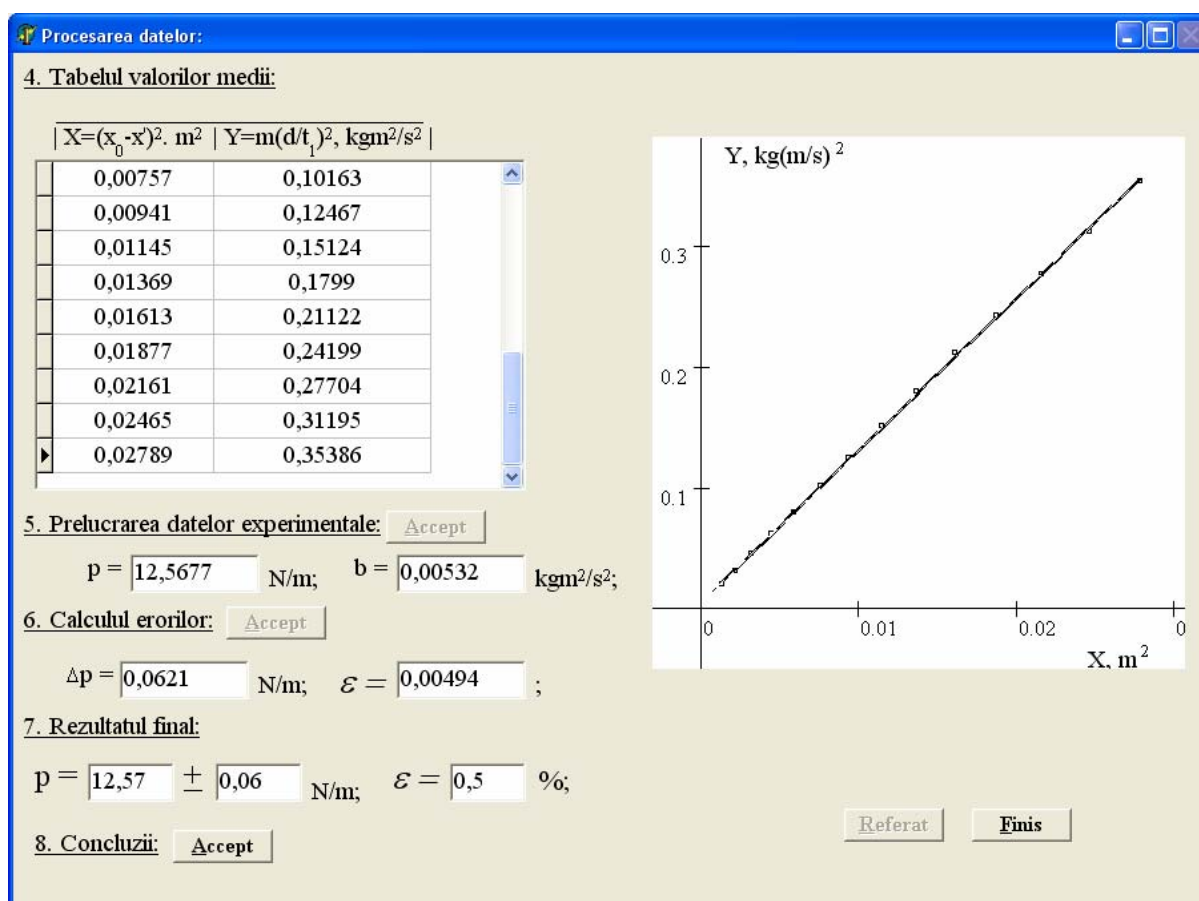


Fig. 9

La punctul 4 al acestei ferestre apare tabelul valorilor medii, constituit din 14 perechi de valori medii ale mărimilor X și Y obținute în urma efectuării celor $n=14$ serii a câte $N=10$ măsurări. La punctul 5. **Prelucrarea datelor experimentale** este activat butonul „**Accept**”. Executarea unui click pe acest buton conduce la calcularea pantei dreptei p și a

termenului liber b după metoda celor mai mici pătrate (vezi formulele (6) și (7)), precum și la construirea graficului dependenței $Y = pX + b$ (fig. 9). În experiența 8.9

$$X = (x' - x_0)^2,$$

$Y = m(d/t_1)^2$, iar panta dreptei p coincide cu constanta elastică k a resortului utilizat în experiență. După calcularea mărimilor p

și b se activează butonul „**Accept**” de la punctul 6. **Calculul erorilor**. La

acționarea acestuia se calculează erorile absolută Δp și relativă $\varepsilon = \Delta p/p$ a pantei dreptei după metoda celor mai mici pătrate (vezi (8)). În experiențele în care este necesar, se calculează, de asemenea, erorile absolută și relativă ale termenului liber b .

În continuare, analizând valorile pantei p și ale erorii absolute Δp , introducem rezultatul final (fig. 9) și cu ajutorul butonului „**Accept**” de la punctul 8. **Concluzii** deschidem fereastra următoare numită „**Concluzii**” (fig. 10). În această fereastră este afișat rezultatul final și eroarea relativă pentru a facilita formularea concluziilor. După formularea concluziilor (ele pot fi formulate și după salvarea referatului) accesând butonul „**Continuare**” revenim la fereastra „**Procesarea**

datelor” în care este deja activat butonul „**Referat**” împreună cu butonul „**Finis**” activat pe parcursul întregii experiențe (fig. 9). Accesarea butonului „**Referat**” conduce la întocmirea

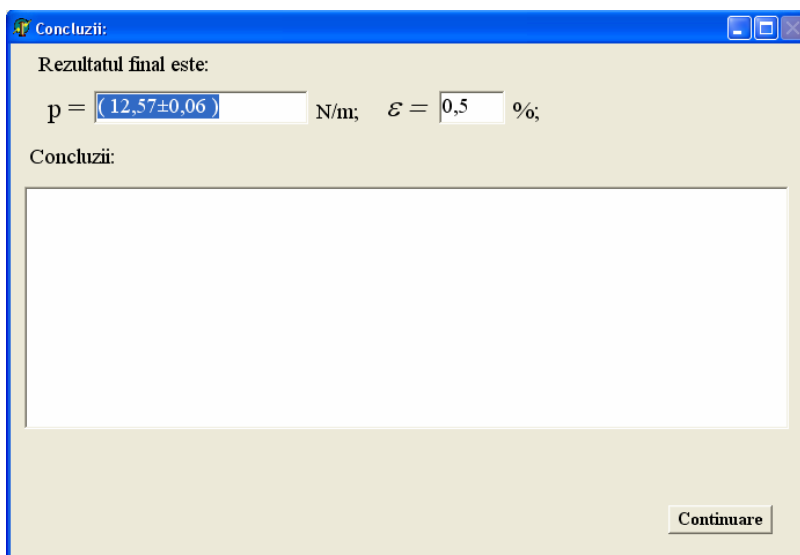


Fig. 10

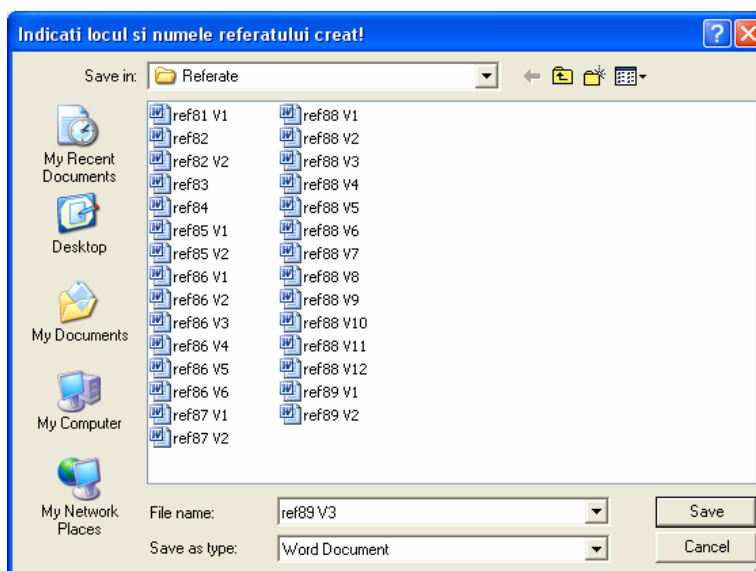


Fig. 11

referatului la experiența efectuată și la deschiderea unei noi ferestre în care cere indicarea locului și a numelui referatului creat, pentru salvarea acestuia. Referatul poate fi salvat în mapa dorită (fig. 11). După salvarea referatului, revenim la fereastra „Procesarea datelor” și prin acționarea butonului „Finiș” finalizăm lucrul cu programul la experiența efectuată și deschidem fereastra inițială (fig. 2) pentru a putea începe efectuarea unei alte variante a experienței sau a unei alte experiențe. Dacă nu se dorește efectuarea unei noi experiențe, atunci se acționează butonul „Finiș” din fereastra inițială (fig. 2) și se finalizează lucrul cu întregul program.

Referatul la experiența efectuată cuprinde pagina de titlu și 11 puncte: 1. Scopul experienței; 2. Aparate și accesorii; 3. Dependența studiată; 4. Schema experienței; 5. Tabelul măsurărilor (în referat se prezintă numai tabelul ultimei serii de măsurări); 6. Tabelul valorilor

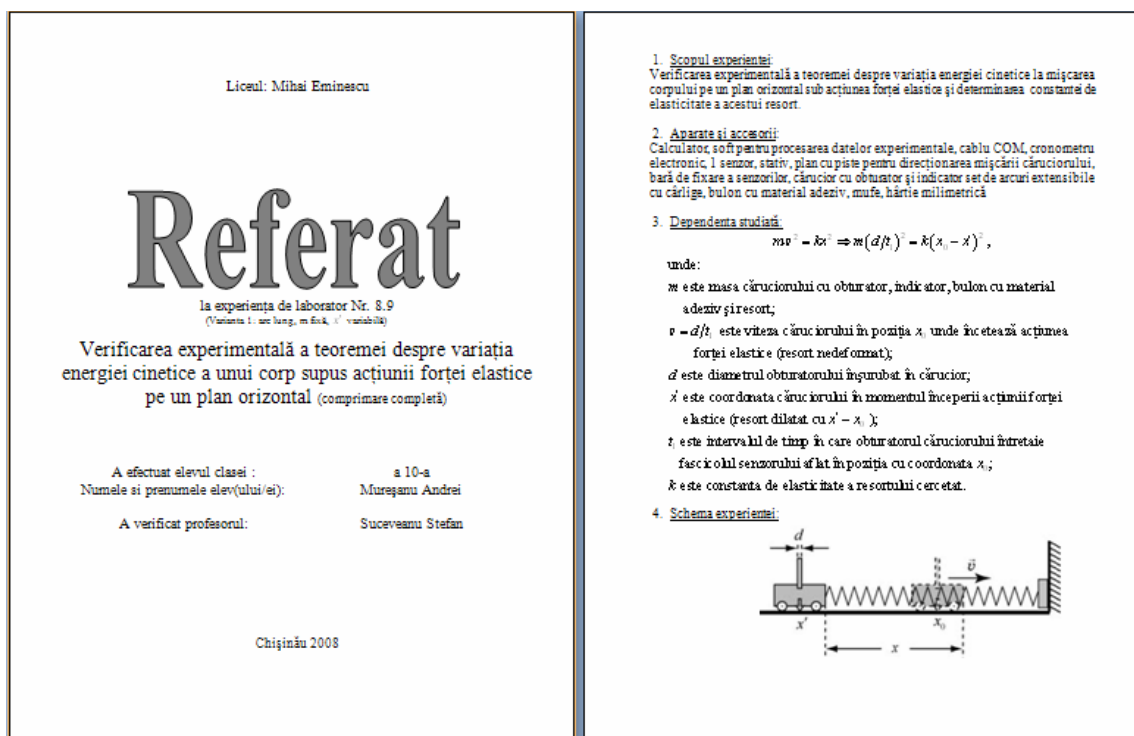


Fig. 12

medii (conține n perechi de valori medii ale mărimilor X și Y); 7. Prelucrarea datelor experimentale (conține valorile calculate (urmând metoda celor mai mici pătrate) ale pantei drepte și ale segmentelor tăiate de dreaptă pe axele de coordonate b și X_0 (dacă este necesar)); 8. Calculul erorilor (conține valorile calculate ale erorilor absolute și relative ale mărimilor calculate la punctul 7); 9. Rezultatul final; 10. Concluzii; 11. Graficul dependenței studiate (fig. 12, 13).

Din cele expuse rezultă că utilizarea softului elaborat pentru trusa de mecanică facilitează substanțial:

1. Formarea deprinderilor de efectuare a măsurărilor, de prelucrare a rezultatelor măsurărilor, de evaluare a erorilor comise, de sistematizare și generalizare a rezultatelor obținute;
2. Familiarizarea elevilor cu cele mai simple și generale metode de cercetare experimentală;

3. Lucrul elevului la procesarea datelor experimentale și întocmirea referatului la experiența efectuată;
4. Introducerea în procesul de studiere a fizicii, pe lângă problemele tradiționale, și a problemelor cu caracter de cercetare experimentală, întrucât cele 70 de experiențe propuse ce întrunesc circa 220 variante cu grade diferite de complexitate pot fi considerate nu numai drept lucrări practice sau de laborator, ci și o mică culegere de probleme experimentale de mecanică;

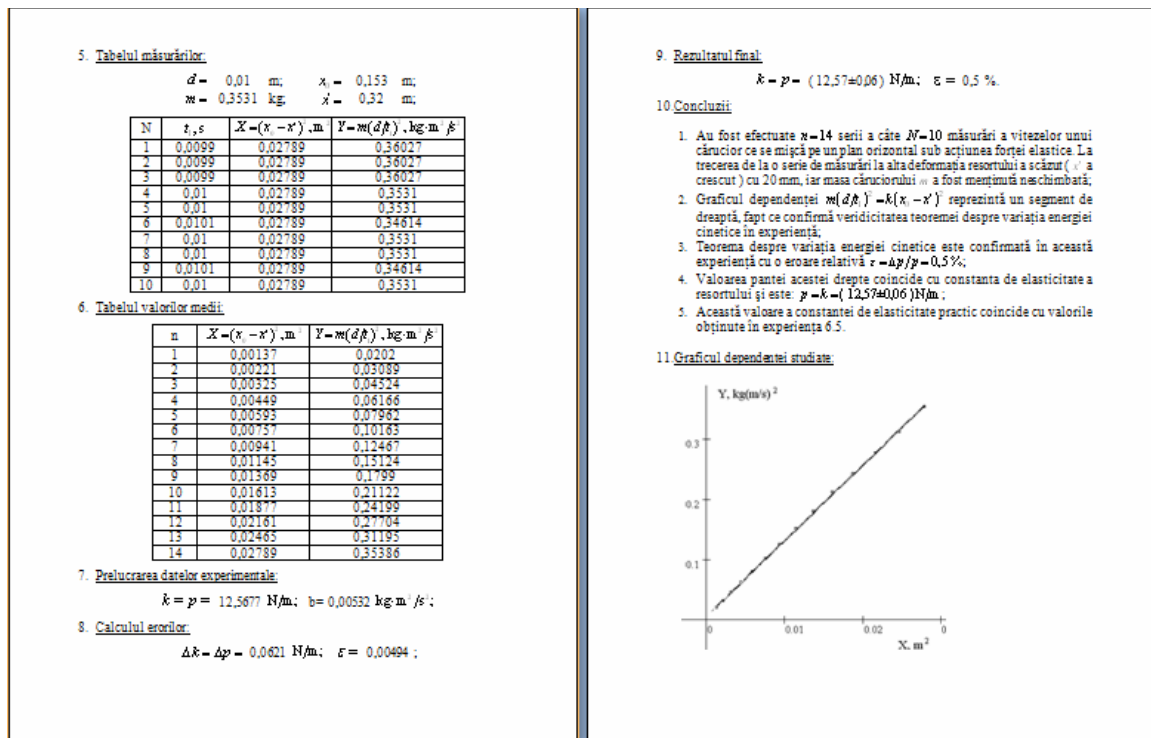


Fig. 13

5. Efectuarea de către elevii interesați a unor lucrări individuale cu caracter de cercetare experimentală ce pot conține diferite variante ale aceleiași experiențe sau determinarea unei mărimi fizice prin diferite experiențe;
6. Organizarea unor dezbateri privind rezultatele obținute la efectuarea experienței sau experiențelor de către diferite grupuri de elevi;
7. Lucrul profesorului pentru atingerea obiectivelor lecțiilor de fizică în învățământul preuniversitar;
8. Utilizarea unor variante ale experiențelor propuse în calitate de experiențe demonstrative.

BIBLIOGRAFIE

1. Dorn W.S., McCracken D. D. Metode numerice cu programe în FORTRAN IV (Cap. 7). Editura Tehnică, București, 1976, 468 p.
2. Alexandru Rusu, Spiridon Rusu, Constantin Pîrțac. Trusa de mecanică asistată de calculator, Revista Evrika, Nr.10, 2006.

Primit la redacție: 15 septembrie 2008

A 39-A OLIMPIADĂ INTERNAȚIONALĂ DE FIZICĂ HANOI, VIETNAM, 20-29 IULIE 2008

În perioada 20-29 iulie 2008, la Hanoi, Vietnam, s-a desfășurat cea de a 39-a Olimpiadă Internațională de Fizică, la care au participat 376 de competitori din 85 țări, dintre care 3 țări au fost pasive (fiind reprezentate doar de observatori). Republica Moldova s-a prezentat cu cinci elevi din clasele XI-XII. Echipa națională a fost condusă de conf. univ. dr. Igor Evtodiev, desemnat în această postură prin Ordinul Nr. 444 din 13 iunie 2008 al Ministerului Educației și Tineretului, și însoțită de dl Victor Pașinu, inspector la minister.

Participarea elevilor moldoveni s-a încununat de mult succes, toți elevii revenind acasă cu rezultate remarcabile.

Nr crt	Numele, prenumele	Clasa, liceul	Distincția	Clasamentul mondial	%
1	Lemeșevski Dmitrii	Clasa a XII-a, Liceul „Gaudeamus”, Chișinău	Medalie de Aur	8	2,13
2	Sanduleanu Ștefan	Clasa a XII-a, Liceul „Mircea Eliade”, Chișinău	Medalie de Bronz	108	28,72
3	Patrinica Artiom	Clasa a XII-a, Liceul „Orizont”, Chișinău	Medalie de Bronz	160	42,55
4	Buza Victor	Clasa a XI-a, Liceul „Orizont”, Chișinău	Mențiune de Onoare	230	61,17
5	Lopușanschi Mariana	Clasa a XII-a, Liceul „Mircea Eliade”, Chișinău	Mențiune de Onoare	236	62,77



Echipa Națională a Republicii Moldova la a 39-a Olimpiadă Internațională de Fizică, 20-29 iulie 2008, Hanoi, Vietnam

De la stînga la dreapta: conf. univ. dr. Igor Evtodiev, USM, conducătorul Echipei naționale; Patrinica Artiom, cl. a XII-a, Liceul „Orizont”, Chișinău; Lemeșevski Dmitrii, cl. a XII-a, Liceul „Gaudeamus”, Chișinău; Buza Victor, cl. a XI-a, Liceul „Orizont”, Chișinău; Lopușanschi Mariana, cl. a XII-a, Liceul „Mircea Eliade”, Chișinău; Sanduleanu Ștefan, cl. a XII-a, Liceul „Mircea Eliade”, Chișinău; Pașinu Victor, inspector, Ministerul Educației și Tineretului.

Echipa Națională a Republicii Moldova participă la OIF din anul 1995, însă abia în 2008 a obținut prima Medalie de Aur. De asemenea, pentru prima dată o elevă din echipa națională a RM obține o distincție la o competiție de asemenea rang.

În urma contestărilor înaintate de conducătorul echipei, au fost obținute trei avansări în top: Buza Victor și Lopusanschi Mariana s-au clasat la Mențiune de Onoare, iar Patrinnica Artiom - de la Mențiune de Onoare la Medale de Bronz.

Este de remarcat faptul că în topul primilor 15 învingători predomină participanți din țările asiatice, însă pe locul 8 se clasează Lemeșevski Dmitrii, elev din R. Moldova, care l-a depășit chiar și pe liderul țării-gază (poziția 11). Cu 2.13%, Republica Moldova s-a clasat pe poziția a 6-a, după China, Indonezia, Korea, Canada, Taiwan. Dintre cei 376 de participanți, 118 concursanți n-au primit premii, iar 2 nu au acumulat nici un punct.

Performanțele Echipei Naționale a R. Moldova în mare parte s-au datorat pregătirii serioase, desfășurate în cadrul Facultății de Fizică a USM. Este de menționat ajutorul dezinteresat, acordat de laborantele Facultății de Fizică, Silvia Postolachi și Oxana Udalova care pe parcursul a 5 ani academici contribuie constant la pregătirea Lotului Național Olimpic, fără a fi remunerate pentru această activitate, și merită, incontestabil, să li se acorde Diploma de Onoare a USM.

Conf. univ. Dr. Igor EVTODIEV

Universitatea de Stat din Moldova

Catedra de Meteorologie, Metrologie și Fizică Experimentală

PROBLEMA TEORETICĂ NR. 1

PIUĂ DE DECORTICAT OREZUL ACȚIONATĂ HIDRAULIC

A. Introducere

Orezul este hrana de bază pentru majoritatea oamenilor din Vietnam. Pentru obținerea orezului alb din orezul nedecorticat este necesară separarea tărâțelor, provenite din coaja boabelor de orez. Partea nordică deluroasă a Vietnamului are din abundență cursuri de apă și oamenii care trăiesc în această zonă utilizează *pive de decorticat orezul acționate hidraulic* pentru a îndepărta stratul superficial care dă tărâța. În figura 1 este prezentată imaginea unei astfel de pive, iar în figura 2 este prezentat modul său de funcționare.

B. Designul și modul de funcționare

1. Designul

Piua de decorticat orez prezentată în Figura 1 are următoarele părți:

Piua (mojarul), un vas de lemn pentru orez

Balansoarul (pârghia), care este un trunchi de copac, având un capăt mai mare și un capăt mai mic. Balansoarul se poate roti în jurul unui ax orizontal. *Pistilul (bătătorul)* este atașat perpendicular de capătul mai mic al balansoarului. Lungimea bătătorului este astfel aleasă încât acesta atinge orezul din piua atunci când balansoarul este orizontal. Capătul mare al balansoarului este astfel fasonat încât reprezintă o găleată (căuș). Forma acestei găleți este crucială pentru funcționarea pivei.

2. Modul de operare

Piua se poate afla în două situații.

Situația în care lucrează. În această situație piua trece prin ciclul de operare ilustrat în Figura 2.

Funcția de decorticare începe cu transferul de lucru mecanic de la pistil la orez în

cursul etapei (f) din Figura 2. Dacă, dintr-un motiv oarecare, pistilul nu atinge orezul, spunem că piua nu funcționează.

Situația de repaus în care balansoarul este ridicat. În cursul etapei (c) a ciclului de operare din Figura 2, dacă unghiul de rotație α crește, cantitatea de apă din găleată scade. La un moment anumit de timp, cantitatea de apă este exact aceea necesară pentru contrabalansarea greutății inegale a basculei.

Notează unghiul de rotire pentru această situație cu β . Dacă balansoarul este ținut la unghiul β și viteza sa unghiulară inițială este nulă, balansoarul va rămâne definitiv în această poziție. Aceasta este poziția de repaus cu balansoarul ridicat. Stabilitatea acestei poziții depinde de debitul Φ de curgere a apei în găleată. Dacă Φ depășește o anumită valoare Φ_2 , atunci situația de repaus este stabilă și piua nu poate fi în situația „de lucru”. Cu alte cuvinte Φ_2 este debitul de curgere pentru care piua nu lucrează.



Figura 1
Piuă hidraulică de decorticat orezul

CICLUL OPERAȚIILOR PENTRU PIUA HIDRAULICĂ DE DECORTICAT OREZUL

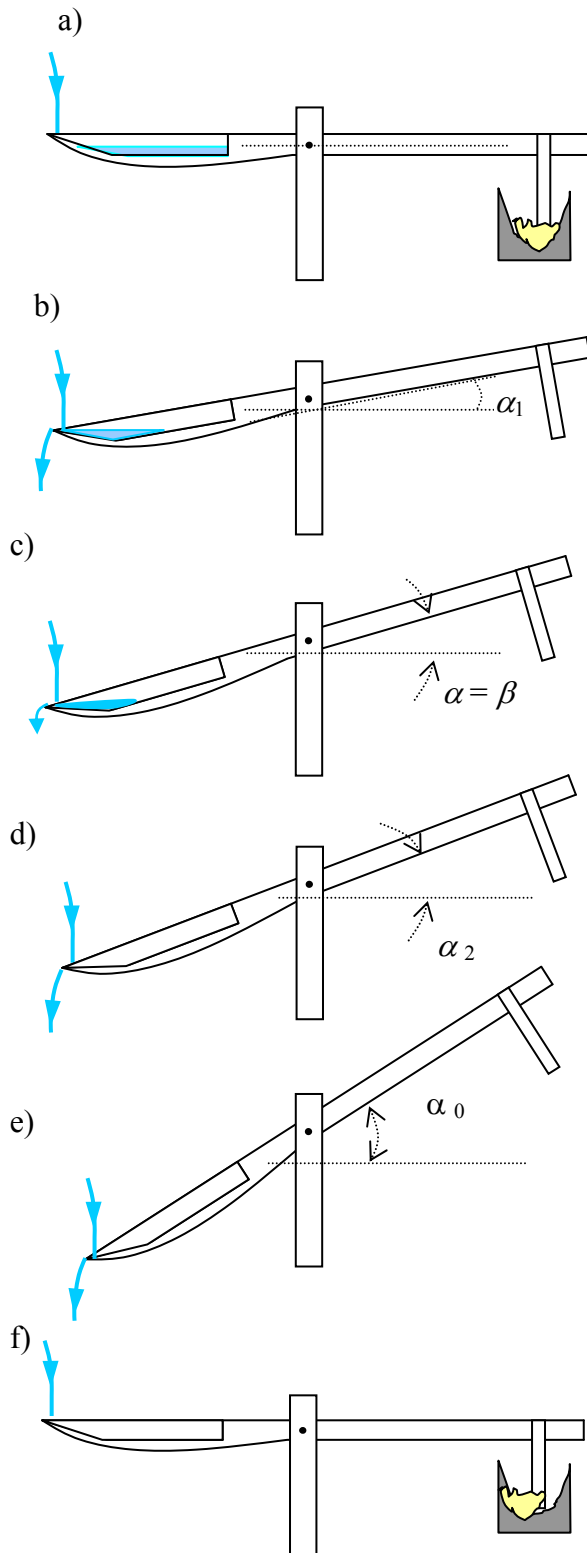


Figura 2.

a) La început în găleată nu este apă și bătătorul (pistilul) stă în piuă (mojar). Apa curge în găleată cu un debit mic și pentru un interval de timp balansoarul (pârghia) rămâne în poziția orizontală.
 b) La un moment dat, cantitatea de apă din găleată este suficientă pentru a produce rotirea (bascularea) balansoarului și ridicarea capătului cu bătătorul. Datorită înclinării, apa se duce către partea din spate a găleții făcând ca înclinarea balansoarului să se facă mai repede. Atunci când înclinarea ajunge la $\alpha = \alpha_1$ apa începe să curgă din găleată.

c) La creșterea unghiului α , apa continuă să curgă. La un anumit unghi de rotire $\alpha = \beta$, momentul total devine zero.

d) Unghiul α continuă să crească și apa continuă să curgă din găleată până când în găleată nu mai rămâne apă.

e) Unghiul α continuă să crească datorită inerției. Datorită formei găleții apa cade în găleată și imediat curge afară din aceasta. Mișcarea inerțială a balansoarului continuă până când α atinge o valoare maximă α_0 .

f) Deoarece în găleată nu este de loc apă, greutatea balansoarului îl aduce înapoi în poziția orizontală inițială. Bătătorul lovește în piuă (care are orezul înăuntru) și un nou ciclu începe.

C. PROBLEMA

Consideră o puiă hidraulică de decorticat orezul, având parametrii prezentați în Figura 3
Masa balansoarului (inclusiv băătorul, dar fără apă) este $M = 30\text{kg}$.

Centrul de masă al balansoarului este G . Balansoarul se rotește în jurul axei T (proiectată în figură în punctul T).

Momentul de inerție al balansoarului în jurul lui T este $I = 12\text{kg} \cdot \text{m}^2$.

Când în găleată este apă, masa apei se notează cu m și centrul de masă al apei este notat cu N .

Unghiul de înclinare al balansoarului față de axa orizontală este α .

Măsurările principale de lungimi asupra pivei și găleții sunt indicate în Figura 3.

Se neglijează frecările la ax și forța datorată căderii apei în găleată.

În problemă se consideră suprafața apei ca fiind mereu orizontală.

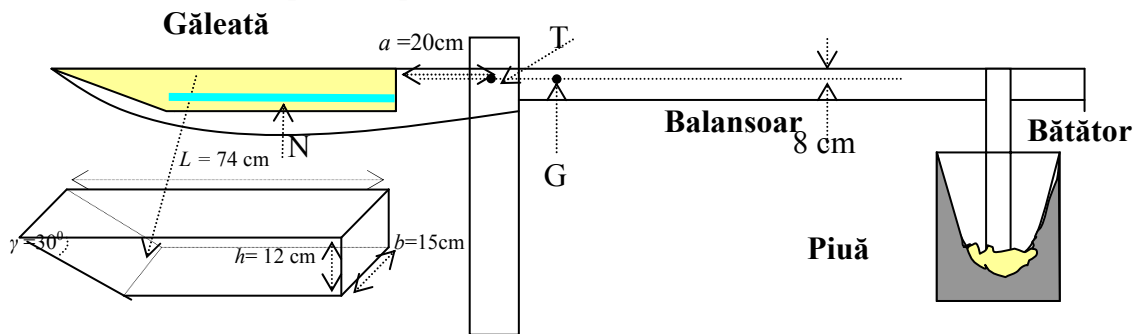


Figura 3. Schemă cu dimensiunile pivei hidraulice de decorticat orez

1. Structura pivei

La început găleata este goală și balansoarul este orizontal. Apa curge în găleată până când balansoarul începe să se rotească. Cantitatea de apă în găleată în acel moment este $m = 1,0\text{kg}$.

1.1. Determină distanța de la centrul de masă G al balansoarului până la axa de rotație T . Se știe că segmentul GT este orizontal atunci când găleata este goală.

1.2. Apa începe să curgă din găleată atunci când unghiul dintre balansoar și axa orizontală de coordonate atinge valoarea α_1 . Găleata se golește complet atunci când acest unghi devine α_2 .

Determină α_1 și α_2 .

1.3. Fie $\mu(\alpha)$ momentul total (relativ la axa T) care se datorează greutateii balansoarului și a apei din găleată. $\mu(\alpha)$ este nul atunci când $\alpha = \beta$. Determină β și masa m_1 a apei din găleată în acest moment.

2. Parametrii situației în care puiă lucrează

Fie situația în care apa curge în găleată cu un debit Φ , constant și mic. Cantitatea de apă care curge în găleată în cursul mișcării balansoarului este neglijabilă. În cursul rezolvării acestei părți de problemă neglijează schimbarea momentului de inerție în timpul unui ciclu de lucru.

2.1. Schițează un grafic $\mu(\alpha)$ al momentului μ , ca funcție de unghiul α în cursul unui ciclu de funcționare. Scrie explicit valorile pentru $\mu(\alpha)$, corespunzătoare unghiurilor α_1 , α_2 și $\alpha = 0$.

2.2. Folosind graficul trasat la punctul 2.1. discută și dă o interpretare geometrică a valorii energiei totale W_{total} produsă de $\mu(\alpha)$ și a lucrului mecanic W_{lovire} , care este transferat de la băător la orez.

2.3. Din graficul care reprezintă momentul μ ca funcție de α estimează α_0 și W_{lovire} (presupune că energia cinetică a apei ce curge în găleată și afară din găleată este neglijabilă. Poți înlocui liniile curbe prin linii în zigzag, dacă aceasta îți simplifică operațiile de calcul.

3.Situația de repaus

Consideră situația în care apa curge în găleată cu un debit constant Φ , dar că nu se poate neglija cantitatea de apă care curge în găleată în cursul mișcării balansoarului.

3.1. Presupunând că găleata este întotdeauna plină cu apă,

3.1.1. Trasează un grafic al momentului μ ca funcție de unghiul α în vecinătatea lui $\alpha = \beta$. Cărui tip de echilibru aparține poziția în care pentru balansoar $\alpha = \beta$?

3.1.2. Determină forma analitică a momentului $\mu(\alpha)$, ca funcție de $\Delta\alpha$, când $\alpha = \beta + \Delta\alpha$ și $\Delta\alpha$ este mic.

3.1.3. Determină ecuația mișcării balansoarului, care se mișcă având viteză inițială nulă din poziția $\alpha = \beta + \Delta\alpha$ ($\Delta\alpha$ este mic). Arată că mișcarea este cu o bună acuratețe o mișcare oscilatorie armonică. Calculează perioada τ .

3.2. Pentru un debit dat Φ găleata este plină cu apă tot timpul și apa se revarsă, numai dacă mișcarea balansoarului este suficient de lentă. Există o limită superioară a amplitudinii oscilației armonice care depinde de Φ . Determină valoarea minimă Φ_1 a debitului Φ (în kg/s), astfel încât balansoarul să poată face o mișcare oscilatorie armonică având amplitudinea de 1° .

3.3. Presupune că Φ este suficient de mare astfel încât în timpul mișcării libere a balansoarului, când unghiul de înclinare descrește de la α_2 la α_1 , găleata este întotdeauna plină cu apă și apa se revarsă. Totuși, dacă Φ este prea mare piua nu lucrează. Presupunând că mișcarea balansoarului este aceea a unui oscilator armonic estimează debitul minim Φ_2 , pentru care piua nu funcționează.

PROBLEMA TEORETICA NR 2

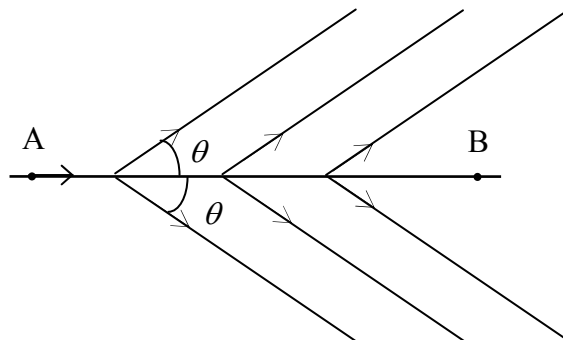
RADIAȚIE CHERENKOV ȘI DETECTOR DE IMAGINI INELARE

Lumina se propagă în vid cu viteza c . Nu există particule care să se miște în vid cu viteze mai mari decât c . Este însă posibil ca într-un mediu transparent o particulă să se miște cu viteza v mai mare decât viteza luminii în același mediu $\frac{c}{n}$, unde n este indicele de refracție al mediului. Experimental (Cherenkov, 1934) și teoretic (Tamm și Frank, 1937) au arătat că o particulă încărcată care se deplasează cu viteza v , într-un mediu transparent care are indicele de refracție n , astfel încât $v > \frac{c}{n}$ radiază

lumină, numită *radiație Cherenkov* într-o direcție care face cu traiectoria un unghi

$$\theta = \arccos \frac{1}{\beta n} \quad (1)$$

unde $\beta = \frac{v}{c}$.



1. Pentru a stabili relația de mai sus,

consideră o particulă care se mișcă cu viteza constantă $v > \beta c$ în linie dreaptă. Particula trece prin punctul A la momentul 0 și prin punctul B la momentul t_1 . Deoarece problema este simetrică la rotație în jurul axei AB este suficient să iei în considerare lumina radiată într-un plan care conține axa AB .

În oricare punct C dintre A și B , particula emite o undă luminoasă sferică a cărei viteză de propagare este $\frac{c}{n}$. Se definește frontul de undă la un moment dat t , ca fiind înfășurătoarea tuturor acestor sfere la acest moment.

1.1. Determină frontul de undă la momentul t_1 și desenează intersecția sa cu un plan care conține traiectoria particulei.

1.2. Exprimă unghiul φ dintre această intersecție și traiectoria particulei în funcție de n și β .

2. Consideră un fascicul de particule care se mișcă cu viteza $v > \frac{c}{n}$, de-a lungul unei linii IS (ca în figura din Foaia de Răspunsuri), astfel încât unghiul θ este mic. Fasciculul intersectează o oglindă sferică concavă cu distanța focală f și centrul C , în punctul S . SC face cu SI un unghi mic α (ca în figura din Foaia de Răspunsuri). Fasciculul de particule face să apară o imagine inelară în planul focal al oglinzii. Explică, schițând un desen care să illustreze situația, de ce se petrece acest lucru. Găsește poziția centrului O și a razei r a imaginii inelare.

Acest dispozitiv este utilizat în *contorul de imagini inelare Cherenkov (RICH - Ring Imaging Cherenkov counters)*, iar mediul traversat de particule este numit *radiator*.

Notă: în toate întrebările din această problemă, termenii de ordinul doi și de ordine mai mari în α și θ se vor neglija.

3. Un fascicul de particule cu impulsul cunoscut $p = 10,0 \text{ GeV}/c$ constă din trei tipuri de particule: protoni, kaoni și pioni cu masele de repaus $M_p = 0,94 \text{ GeV}/c^2$, $M_K = 0,50 \text{ GeV}/c^2$ și respectiv $M_\pi = 0,14 \text{ GeV}/c^2$. Ai în vedere că pc și Mc^2 au dimensiunea unei energii și că 1 eV este energia dobândită de un electron după ce a fost accelerat sub diferența de potențial de 1 V , că $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$ și că $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$.

Fasciculul de particule traversează aerul (radiator), aflat la presiunea P . Indicele de refracție al aerului depinde de presiunea acestuia P , măsurată în atmosfere, conform relației

$$n = 1 + 2,7 \cdot 10^{-4} \cdot P$$

3.1. Calculează pentru fiecare dintre cele trei tipuri de particule valoarea minimă P_{\min} a presiunii aerului, astfel încât acesta să emită radiație Cherenkov.

3.2. Calculează presiunea P_1 astfel încât imaginea inelară datorată kaonilor să aibă raza egală cu jumătate din aceea datorată pionilor. Calculează valorile θ_K și θ_π în acest caz. Este posibilă observarea imaginii inelare datorată protonilor la această presiune?

4. Presupune acum că fasciculul nu este perfect monocromatic: impulsurile particulelor sunt distribuite într-un interval centrat pe $10,0 \text{ GeV}/c$ și având semilărgimea la semiînălțime Δp . Aceasta face ca imaginea inelară să se lățească, raza inelului nemaiavând o valoare fixă ci variind într-un interval, care corespunde semilărgimii la semiînălțime a distribuției

unghiurilor θ . Presiunea radiatorului este menținută în continuare la valoarea $\frac{P_1}{2}$, determinată la punctul 3.2.

4.1. Calculează valorile $\frac{\Delta\theta_K}{\Delta\rho}$ și $\frac{\Delta\theta_\pi}{\Delta\rho}$, luate de $\frac{\Delta\theta}{\Delta\rho}$ în cazul kaonilor și pionilor.

4.2. În cazul în care separarea dintre cele două imagini inelare $\theta_\pi - \theta_K$ este mai mare decât de zece ori suma semilărgimilor $\Delta\theta = \Delta\theta_\pi + \Delta\theta_K$, adică $\theta_\pi - \theta_K > 10 \cdot \Delta\theta$ cele două imagini inelare se pot distinge foarte bine. Calculează valoarea maximă a lui $\Delta\rho$, astfel încât cele două imagini inelare să poată fi distinse foarte bine.

5. Cherenkov a fost primul care a descoperit efectul care-i poartă numele. El a observat că apa dintr-o sticlă aflată în apropierea unei surse radioactive emite lumină.

5.1. Determină energia cinetică minimă T_{\min} a unei particule cu masa de repaus M , care se mișcă în apă, astfel încât aceasta să emită radiație Cherenkov. Indicele de refracție al apei este $n = \frac{4}{3}$.

5.2. Sursa radioactivă utilizată de Cherenkov emitea particule α (adică nuclee de heliu) având masa de repaus $M_\alpha = 3,8 \text{ GeV}/c^2$ și particule β , (adică electroni) având masa de repaus $M_e = 0,51 \text{ MeV}/c^2$. Calculează valoarea numerică pentru T_{\min} pentru particulele α și pentru particulele β .

Cunoscând că energia cinetică a particulelor emise de o sursă radioactivă nu depășește niciodată câțiva MeV , determină care dintre particule produc radiația observată de Cherenkov.

6. În secțiunea precedentă a problemei a fost ignorată dependența efectului Cherenkov de lungimea de undă λ . În continuare se ține seama de faptul că radiația Cherenkov a unei particule apare într-un spectru larg, care include domeniul radiațiilor vizibile (cu lungimi de undă de la $0,4 \mu\text{m}$ la $0,8 \mu\text{m}$). Se știe de asemenea că indicele de refracție n al radiatorului (mediul transparent) descrește liniar cu 2% din $(n-1)$, atunci când λ crește de la $0,4 \mu\text{m}$ la $0,8 \mu\text{m}$.

6.1. Consideră un fascicul de pioni cu impulsul de $10,0 \text{ GeV}/c$ care se deplasează în aer, aflat la presiunea de 6 atm . Determină diferența unghiulară $\delta\theta$, dintre cele două capete ale spectrului vizibil.

6.2. Pe această bază studiază calitativ efectul dispersiei asupra imaginii inelare a pionilor cu impulsul distribuit într-un interval centrat la $p = 10,0 \text{ GeV}/c$ și având semilărgimea la semiînălțime $\Delta p = 0,3 \text{ GeV}/c$.

6.2.1. Calculează lărgirea datorată dispersiei (variind indicele de refracție) și aceea datorată nemonocromaticității fasciculului (variind impulsul).

6.2.2. Descrie modul în care se schimbă culoarea inelelor, atunci când se trece de la marginea interioară la marginea exterioară prin marcarea corespunzătoare în căsuțele din Foia de Răspuns.

PROBLEMA TEORETICA NR 3

MODIFICAREA TEMPERATURII AERULUI CU ALTITUDINEA,
STABILITATEA ATMOSFEREI ȘI POLUAREA AERULUI

Mișcarea verticală a aerului guvernează multe procese din atmosferă, cum ar fi formarea norilor și apariția precipitațiilor, precum și dispersia poluanților din aer. Dacă atmosfera este *stabilă* mișcarea verticală este restricționată și poluanții din aer tind să se acumuleze în jurul locului de emisie, mai degrabă decât să se disperseze și să se dilueze. În același timp, în atmosfera *instabilă* mișcarea verticală a aerului încurajează dispersia verticală a poluanților din aer. Prin urmare, concentrația de poluanți depinde nu numai de intensitatea de emisie a surselor, dar și de *stabilitatea* atmosferei.

Vei determina stabilitatea atmosferică, folosind conceptul de *pachet de aer* din meteorologie și comparând temperatura pachetului de aer, care se ridică sau care coboară adiabatic în atmosferă, cu aceea a aerului înconjurător. Vei vedea că în multe cazuri un pachet de aer care conține poluanți și se ridică de la suprafața pământului, ajunge în repaus la o anumită altitudine, numită *înălțime de amestec*. Cu cât este mai mare înălțimea de amestec, cu atât este mai scăzută concentrația de poluant. Vei evalua înălțimea de amestec și concentrația de monoxid de carbon emisă de motociclete în zona metropolitană a Hanoiului, pentru scenariul orelor de aglomerație matinală. În situația de mai sus amestecarea verticală este restricționată datorită inversiei de temperatură (temperatura aerului crește cu altitudinea) la o înălțime de aproximativ 119 m, față de suprafața pământului, considerată a avea înălțimea zero. Presupune că aerul este un gaz ideal diatomic cu masa molară $\mu = 29 \text{ g/mol}$.

O transformare adiabatică la cvasiechilibru este descrisă de ecuația $p V^\gamma = \text{const}$, unde $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ este raportul căldurilor molare izobară și respectiv izocoră a gazului.

Dacă este necesar se pot folosi următoarele date:

Constanta universală a gazelor $R = 8,31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$.

Presiunea atmosferică la nivelul pământului $p_0 = 101,3 \text{ kPa}$.

Accelerația gravitațională $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Căldura molară izobară pentru aer este $C_p = \frac{7}{2} R$.

Căldura molară izocoră pentru aer este $C_v = \frac{5}{2} R$.

Sugestie matematică

a.

$$\int \frac{dx}{A+Bx} = \frac{1}{B} \int \frac{d(A+Bx)}{A+Bx} = \frac{1}{B} \ln(A+Bx)$$

b. Soluția ecuației diferențiale $\frac{dx}{dt} + Ax = B$ (cu A și B constante) este $x(t) = x_1(t) + \frac{B}{A}$, unde

$x_1(t)$ este soluția ecuației diferențiale $\frac{dx}{dt} + Ax = 0$.

$$c. \lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e$$

1. Variația presiunii cu altitudinea

1.1 Presupune că temperatura atmosferei este uniformă și egală cu T_0 . Determină expresia presiunii atmosferice p , ca funcție de altitudinea z .

1.2 Presupune că temperatura atmosferei variază cu altitudinea conform relației $T(z) = T(0) - \Lambda z$

unde Λ este o constantă, denumită viteză de descreștere a temperaturii atmosferei (gradientul vertical al temperaturii este $-\Lambda$).

1.2.1. Determină expresia presiunii atmosferice p ca funcție de altitudinea z .

1.2.2. Procesul numit convecție liberă apare atunci când densitatea aerului crește cu altitudinea. Determină valoarea lui Λ pentru care apare convecția liberă.

2. Variația temperaturii pachetului de aer în mișcare verticală

Consideră un pachet de aer care se mișcă în sus și în jos în atmosferă. Un pachet de aer este o cantitate compactă de aer, suficient de extinsă pe câțiva metri, pentru a putea fi tratată ca o entitate termodinamică independentă; pachetul de aer este însă suficient de mic pentru a se putea considera că temperatura sa este uniformă. Mișcarea verticală a pachetului de aer poate fi tratată ca un proces cvasiadiabatic, ceea ce înseamnă că schimbul de căldură cu aerul înconjurător este neglijabil. Dacă pachetul de aer se ridică în atmosferă el se extinde și se răcește. Invers, dacă se mișcă în jos, presiunea în creștere exercitată de mediu comprimă aerul din pachet și temperatura acestuia va crește.

Deoarece dimensiunea pachetului nu este prea mare, presiunea atmosferică pe frontiera pachetului poate fi considerată ca având o aceeași valoare $p(z)$, unde z este altitudinea centrului pachetului. Temperatura în pachet este uniformă și egală cu $T_{pachet}(z)$, care este în general diferită de temperatura aerului înconjurător $T(z)$. În părțile 2.1 și 2.2 nu se face nici o presupunere asupra dependenței $T(z)$.

2.1. Variația temperaturii pachetului cu altitudinea este definită ca $\frac{dT_{pachet}}{dz} = -G$.

Determină expresia lui $G(T, T_{pachet})$.

2.2. Consideră condiții atmosferice speciale, în care la orice altitudine z , temperatura T a atmosferei este egală cu temperatura T_{pachet} a pachetului de aer, $T(z) = T_{pachet}(z)$. Utilizează simbolul Γ pentru a nota valoarea lui G , atunci când $T = T_{pachet}$, adică $\Gamma = -\frac{dT_{pachet}}{dz}$ (cu $T = T_{pachet}$). Γ este denumit *viteză de scădere adiabatică uscată*.

2.2.1. Dedu expresia lui Γ .

2.2.2. Calculează valoarea numerică a lui Γ .

2.2.3. Determină expresia temperaturii atmosferei $T(z)$, ca funcție de altitudine.

2.3. Presupune că temperatura atmosferei depinde de înălțime conform relației $T(z) = T(0) - \Lambda \cdot z$, unde Λ este o constantă. Găsește dependența temperaturii pachetului de aer $T_{pachet}(z)$ de altitudinea z .

2.4. Determină expresia aproximativă $T_{pachet}(z)$, pentru cazul în care $|\Lambda \cdot z| \ll T(0)$ și $T(0) \approx T_{pachet}(0)$.

3. Stabilitatea atmosferică

În această parte vei presupune că temperatura T variază liniar cu altitudinea.

3.1. Consideră un pachet de aer, inițial în echilibru cu aerul înconjurător la altitudinea z_0 , adică un pachet de aer care are aceeași temperatură $T(z_0)$ ca cea a aerului înconjurător. Dacă pachetul se mișcă ușor în sus și în jos (de exemplu din cauza turbulenței atmosferice), atunci poate să apară una din următoarele trei situații:

- pachetul de aer își găsește drumul înapoi către altitudinea inițială z_0 , caz în care echilibrul pachetului este stabil. Se spune că atmosfera este stabilă;

- pachetul de aer continuă să se miște în direcția mișcării inițiale, caz în care echilibrul pachetului este instabil. Se spune că atmosfera este instabilă;

- pachetul de aer rămâne în noua sa poziție, caz în care echilibrul pachetului este indiferent. Se spune că atmosfera este neutră.

Determină condiția pentru Λ , pentru care atmosfera să fie stabilă, instabilă sau neutră.

3.2. Un pachet de aer are la suprafața pământului temperatura $T_{pachet}(0)$ mai mare decât temperatura $T(0)$ a aerului înconjurător. Forța ascensională va face pachetul să se ridice. Determină expresia altitudinii maxime pe care pachetul de aer o poate atinge în cazul atmosferei stabile în funcție de Λ și Γ .

4. Înălțimea de amestecare

4.1. În tabelul 1 sunt indicate temperaturile înregistrate de un balon (radiosondă meteorologică) la ora 7:00 dimineața într-o zi de noiembrie în Hanoi. Variația temperaturii cu altitudinea poate fi descrisă aproximativ prin formula $T(z) = T(0) - \Lambda \cdot z$, cu diferite viteze de descreștere Λ , în trei straturi $0 < z < 96\text{ m}$, $96\text{ m} < z < 119\text{ m}$ și $119\text{ m} < z < 215\text{ m}$.

Consideră un pachet de aer cu temperatura $T_{pachet}(0) = 22^\circ\text{C}$, care se ridică de la suprafața pământului. Calculează temperatura pachetului de aer aflat la altitudinile de 96 m și 119 m , pe baza datelor din tabelul 1 și folosind o aproximație lineară.

4.2. Determină altitudinea maximă H pe care pachetul o poate atinge și temperatura sa $T_{pachet}(H)$.

H se numește înălțime de amestec. Poluanții din aer emiși de la suprafața pământului se pot amesteca în atmosferă cu aerul (de exemplu datorită vântului, turbulențelor sau dispersiei) și se diluează în acest strat.

Tabelul 1 Datele înregistrate de un balon (sondă meteorologică) la ora 7:00 dimineața într-o zi de noiembrie în Hanoi.

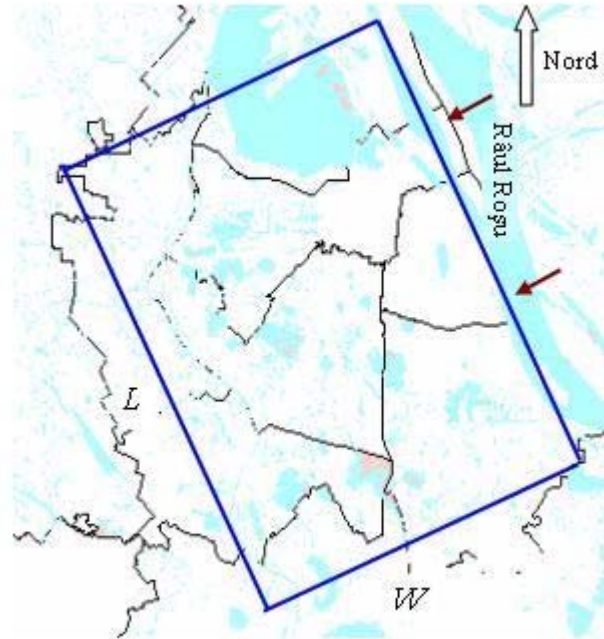
Altitudine, m	Temperatură, °C
5	21,5
60	20,6
64	20,5
69	20,5
75	20,4
81	20,3
90	20,2
96	20,1
102	20,1
109	20,1
113	20,1
119	20,1
128	20,2

136	20,3
145	20,4
153	20,5
159	20,6
168	20,8
178	21,0
189	21,5
202	21,8
215	22,0
225	22,1
234	22,2
246	22,3
257	22,3

5. Estimarea poluării cu monoxid de carbon în timpul aglomerației matinale, datorată motocicletelor în Hanoi.

Aria metropolitană a Hanoiului poate fi aproximată cu un dreptunghi cu dimensiunile L și W , ca în figură, având o latură de-a lungul țărmului de sud-vest a Râului Roșu.

Se estimează că în timpul aglomerației de dimineață, de la ora 7:00 la ora 8:00, în oraș circulă $8 \cdot 10^5$ motociclete, fiecare mergând în medie 5 km și emițând 12 g de CO pe kilometru. Cantitatea de CO poluantă este considerată ca fiind emisă aproximativ uniform în timp, cu o viteză constantă M în timpul orei de aglomerație. În același timp vântul curat din nord-vest bate perpendicular pe Râul Roșu (adică perpendicular pe latura L a paralelipipedului) cu viteza u , trece peste oraș cu aceeași viteză și transportă o parte din aerul poluat cu CO în afara atmosferei orașului.



Folosește de asemenea următorul model relativ grosier:

- CO se împrășteie rapid în întregul volum al stratului de amestec de deasupra ariei metropolitane a Hanoiului, astfel încât concentrația $C(t)$ de CO , la un moment t poate fi presupusă ca fiind constantă în interiorul cutiei paralelipipedice cu dimensiunile L , W și H .
- Aerul adus în cutie de vântul care intră este curat și se presupune că nici un poluant nu iese din cutie prin fețele paralele cu direcția vântului.
- Înainte de ora 7:00 dimineața, concentrația de CO este neglijabilă.

5.1. Dedu ecuația diferențială care exprimă concentrația $C(t)$ de CO poluant, ca funcție de timp.

5.2. Scrie soluția acestei ecuații pentru $C(t)$.

5.3. Calculează valoarea numerică a concentrației $C(t)$ la ora 8:00 dimineața. Se dau $L = 15 \text{ km}$, $W = 8 \text{ km}$, $u = 1 \text{ m/s}$.

PROBLEMA EXPERIMENTALA

METODA TERMOMETRICĂ DIFERENȚIALĂ

În această problemă vei utiliza o metodă termometrică diferențială pentru a îndeplini următoarele două sarcini:

1. Găsirea temperaturii de solidificare a unei substanțe cristaline solide.
2. Determinarea eficienței unei celule solare.

A. Metoda termometrică diferențială

În acest experiment se folosește ca senzor pentru măsurarea temperaturii o diodă semiconductoră de siliciu, polarizată direct. Dacă prin diodă trece un curent electric constant, atunci căderea de tensiune pe diodă depinde de temperatură conform relației

$$V(T) = V(T_0) - \alpha(T - T_0) \quad (1)$$

unde $V(T)$ și $V(T_0)$ sunt respectiv căderile de tensiune pe diodă la temperatura T și respectiv la temperatura T_0 a camerei (cu temperaturile măsurate în $^{\circ}\text{C}$); factorul α are valoarea

$$\alpha = 2,00 \pm 0,03 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

Valoarea $V(T_0)$ poate varia ușor de la o diodă la alta.

Dacă două astfel de diode sunt plasate la temperaturi diferite, atunci diferența de temperatură poate fi măsurată din diferența căderilor de tensiune pe cele două diode. Diferența căderilor de tensiune, denumită *tensiune diferențială* poate fi măsurată cu mare precizie; prin urmare diferența de temperatură poate fi de asemenea măsurată cu mare precizie.

Această metodă se numește *metodă termometrică diferențială*. Schema circuitului electric utilizat în acest experiment este prezentată în

Figura 1. Diodele D_1 și D_2 sunt polarizate direct, folosindu-se o baterie de $9V$ prin rezistoarele R_1 și R_2 , având fiecare rezistența electrică de $10k\Omega$. Circuitul astfel construit menține constant curentul electric prin cele două diode.

Dacă temperatura diodei D_1 este T_1 , iar temperatura diodei D_2 este T_2 , atunci,

$$V_1(T_1) = V_1(T_0) - \alpha \cdot (T_1 - T_0)$$

și

$$V_2(T_2) = V_2(T_0) - \alpha \cdot (T_2 - T_0)$$

Tensiunea diferențială este

$$\Delta V = V_2(T_2) - V_1(T_1) = V_2(T_0) - V_1(T_0) - \alpha \cdot (T_2 - T_1) = \Delta V(T_0) - \alpha \cdot (T_2 - T_1)$$

$$\Delta V = \Delta V(T_0) - \alpha \cdot \Delta T \quad (3)$$

unde $\Delta T = T_2 - T_1$. Măsurând tensiunea diferențială ΔV , poți determina diferența de temperatură.

Pentru a polariza diodele se utilizează o cutie cu circuite, a cărei diagramă este prezentată în Figura 2.

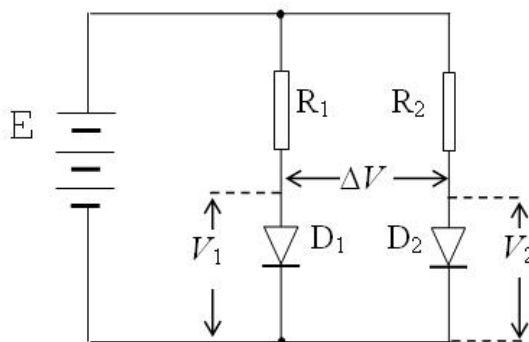


Figura 1. Circuitul electric al senzorului cu diode

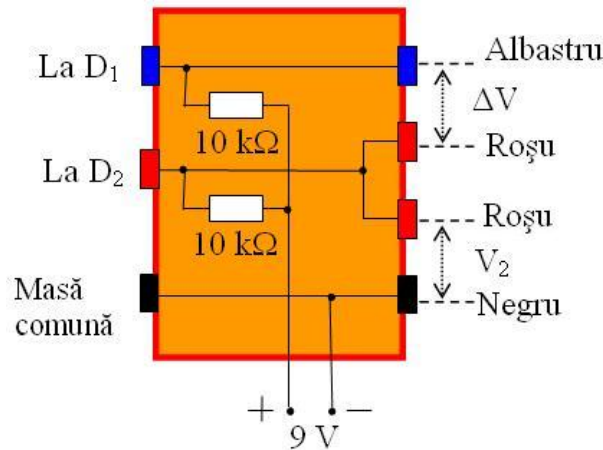


Figura 2. Diagrama cutiei cu circuite
(vedere de sus)

Cutia cu circuite conține două rezistențe de polarizare de câte $10\text{k}\Omega$ fiecare, fire de legătură la o baterie de 9V , borne pentru conectarea diodelor D_1 și D_2 , borne pentru conectarea multimetrelor digitale utilizate pentru măsurarea căderii de tensiune V_2 pe dioda D_2 și a tensiunii diferențiale ΔV pe diodele D_1 și D_2 .

B. Sarcina de lucru 1: Determinarea temperaturii de solidificare a unei substanțe cristaline

1. Scopul experimentului

Dacă o substanță cristalină solidă este încălzită până când se topește și apoi este răcită, ea se solidifică la o temperatură fixă T_s , numită *temperatură de solidificare* (numită de asemenea și *punct de topire* al substanței). *Metoda tradițională* de determinare a lui T_s este urmărirea variației temperaturii ca funcție de timp în cursul procesului de răcire. Deoarece procesul de solidificare este însoțit de eliberarea căldurii latente corespunzătoare tranziției de fază, temperatura substanței nu variază în cursul solidificării sale. Pentru o cantitate mare de substanță, intervalul de timp în care temperatura rămâne constantă este destul de mare și se poate determina ușor această temperatură. Dacă însă cantitatea de substanță este mică, intervalul de tip în care se petrece solidificarea este prea scurt pentru a fi observat și, în acest caz, este dificilă determinarea temperaturii de solidificare T_s .

Pentru determinarea T_s în cazul unei cantități mici de substanță se utilizează *metoda termometrică diferențială* al cărei principiu este prezentat în continuare. Se utilizează două talere mici identice, dintre care unul conține o cantitate mică din substanța de studiat și va fi numit în continuare *taler de probă*. Celălalt taler, care nu conține vreo substanță va fi numit în continuare *taler de referință*. Cele două talere sunt puse pe o sursă de căldură, a cărei temperatură variază lent în timp. Fluxul termic de la și către cele două talere este practic același. Fiecare taler are câte un senzor de temperatură (câte o diodă de siliciu, polarizată direct). Câtă vreme substanța studiată nu suferă transformarea de fază, temperatura T_{proba} a talerului de probă și temperatura T_{ref} a talerului de referință variază practic cu aceeași viteză și prin urmare $\Delta T = T_{ref} - T_{proba}$ variază lent cu temperatura T_{proba} . Dacă apare transformarea de fază, întrucât în timpul schimbării de fază temperatura probei T_{proba} nu mai variază și rămâne egală cu T_s , în timp ce T_{ref} variază în continuare, atunci apare o variație rapidă a lui ΔT .

Graficul dependenței lui ΔT de T_{proba} prezintă o schimbare bruscă. Valoarea temperaturii probei T_{proba} , corespunzătoare acestei schimbări abrupte a lui ΔT este chiar T_s .

Scopul experimentului este determinarea temperaturii de solidificare T_s a unei substanțe cristaline pure, a cărei temperatură de solidificare T_s se află în domeniul dintre $50^\circ C$ și $70^\circ C$, folosind atât metoda tradițională cât și metoda analizei termice diferențiale. Cantitatea de substanță folosită în experiment este de aproximativ 20 mg .

2. Aparat și materiale

1. Sursa de căldură – o lampă având un bec cu halogen de 20 W .

2. Suportul pentru talere – o placă de bachelită cu o deschidere pătrată în care este fixată o placă de oțel. Pe placa de oțel se află doi magneți mici.

3. Două talere mici de oțel, fiecare având lipită câte o diodă de siliciu. Unul dintre talere va fi folosit ca taler de referință, iar celălalt ca taler de probă.

Fiecare taler este plasat pe câte unul dintre magneții mici. Forța magnetică menține contactul dintre taler, magnet și placa de oțel. Magneții mențin de asemenea un flux termic moderat, către și de la placa de oțel către talere. Pentru protejarea talerelor de influențele exterioare se utilizează cutia gri din plastic. În Figura 3 este prezentată dispunerea talerelor și magneților pe suport și lampa cu halogen.

4. Două multimetre digitale folosite ca voltmetre. De asemenea, ele pot măsura temperatura camerei, rotind selectorul de funcții la funcția " $^\circ C/^\circ F$ ".

Funcția de măsurare a tensiunii a multimetrului are o eroare de ± 2 digiți la ultimul digit. (± 2 din unitățile de măsurare pentru ultima cifră indicată).

Notă: pentru a preveni ca multimetrul (vezi Figura 9) să intre în regimul „Auto power off” rotește selectorul de funcții din poziția OFF în poziția dorită, în timp ce se presează și se ține apăsat butonul SELECT.

5. Cutia cu circuite prezentată în Figura 2.

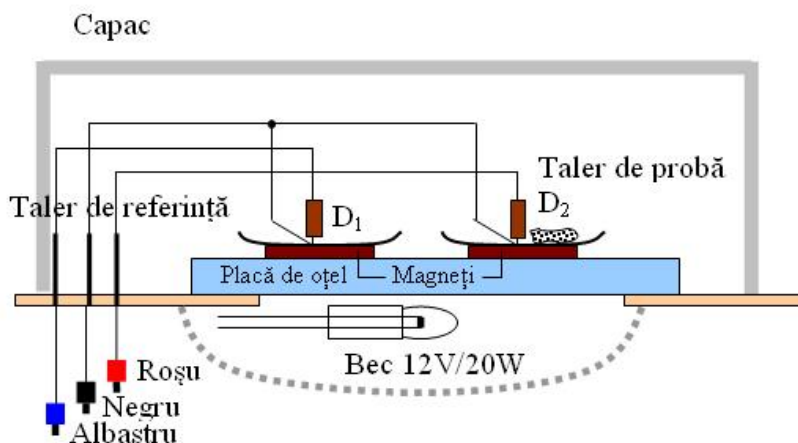


Figura 3. Aparat pentru măsurarea temperaturii de solidificare

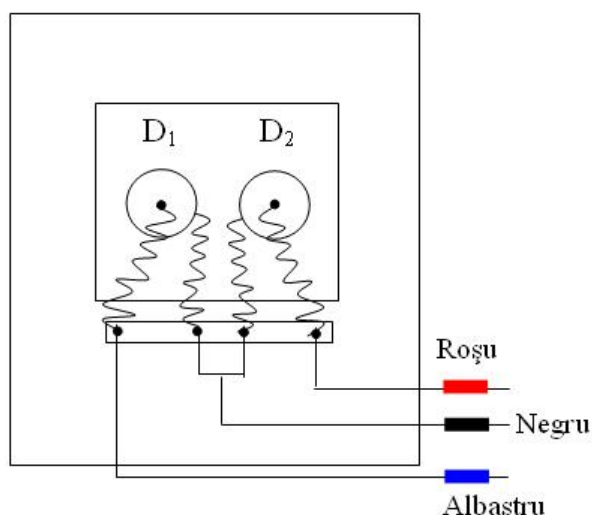


Figura 4. Talere pe suportul de talere (vedere de sus)

6. O baterie de $9V$.
7. Fire conductoare de legătură.
8. Un vas mic conținând aproximativ 20 mg din substanța de studiat.
9. Un cronometru.
10. Un calculator.
11. Hârtie pentru trasarea graficelor.

3. Experiment

1. Magneții sunt plasați în două poziții echivalente pe placa de oțel. Talerul de referință și talerul gol de probă, sunt așezate pe magneți, așa cum este ilustrat în Figura 3 și 4. Se utilizează talerul din partea stângă ca taler de referință, cu dioda D_1 lipită pe el (D_1 este numită diodă de referință) și talerul din partea dreaptă ca taler de probă cu dioda D_2 lipită pe el (D_2 este numită diodă de măsurare).

Înclină brațul lămpii față de suport până când abajurul lămpii se sprijină pe masă, având becul în sus, așa cum se vede în Figura 5. Nu aprinde lampa. Așează suportul de bachelită (cu pătratul de oțel pe care se așează magneții pentru talere) deasupra becului lămpii (sprijinindu-l pe deschiderea abajurului). Conectează aparatele astfel încât să poți măsura căderea de tensiune $V_{proba} = V_2$ pe dioda D_2 și tensiunea diferențială ΔV .

În scopul eliminării erorilor datorate perioadei de încălzire a instrumentelor și a dispozitivelor este recomandat cu tărie ca circuitul de măsurare să fie pornit cu aproximativ 5 minute, înaintea începerii experimentelor.

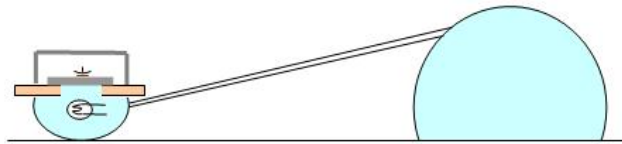


Figura 5
Utilizarea lămpii cu halogen ca sursă de
căldură

1.1. Măsoară temperatura camerei T_0 și căderea de tensiune $V_{proba}(T_0)$ pe dioda D_2 , fixată pe talerul de probă la temperatura camerei T_0 .

1.2. Calculează căderea de tensiune $V_{proba}(50^\circ C)$, $V_{proba}(70^\circ C)$ și $V_{proba}(80^\circ C)$ pentru dioda de măsurare la temperaturile de $50^\circ C$, $70^\circ C$ și respectiv $80^\circ C$.

2. Cu ambele talere goale aprinde lampa. Urmărește evoluția tensiunii V_{proba} . Stinge lampa atunci când temperatura talerului de probă atinge valoarea $T_{proba} \sim 80^\circ C$.

2.1 Așteaptă până când $T_{proba} \sim 70^\circ C$ și urmărește variația căderii de tensiune V_{proba} și tensiunea diferențială ΔV , în funcție de timp, în cursul răcirii plăcii de oțel. Notează în tabelul din Foaia de Răspunsuri valorile pentru V_{proba} și ΔV la intervale de timp de 10 s până la 20 s .

Dacă ΔV variază rapid, intervalul de timp dintre două măsurări consecutive poate fi și mai scurt. Când temperatura în descreștere a talerului de probă atinge valoarea $T_{proba} \sim 50^\circ C$ se opresc măsurările.

2.2. Trasează graficul, numit Graph 1, pentru V_{proba} ca funcție de timpul t , pe hârtia de grafice, pe care ai primit-o.

2.3. Trasează graficul, numit Graph 2, pentru ΔV ca funcție de V_{proba} , pe hârtia de grafice, pe care ai primit-o.

Notă: pentru 2.2. și 2.3. nu uita să scrii numele corect al fiecărui grafic.

3. Pune substanța din vas în talerul de probă. Repetă experimentul întocmai ca în secțiunea 2.

3.1. Notează în tabelul din Foaia de Răspunsuri valorile pentru V_{proba} și ΔV precum și timpul t la care acestea au fost măsurate.

3.2. Trasează graficul, numit Graph 3, pentru V_{proba} ca funcție de timpul t , pe hârtia de grafice, pe care ai primit-o.

3.3. Trasează graficul, numit Graph 4, pentru ΔV ca funcție de V_{proba} , pe hârtia de grafice, pe care ai primit-o.

Notă: pentru 3.2. și 3.3. nu uita să scrii numele corect al fiecărui grafic.

4. Comparând graficele din secțiunile 2 și 3, determină temperatura de solidificare a substanței.

4.1. Determină T_s , folosind metoda tradițională; comparând graficele V_{proba} ca funcție de t din secțiunile 3 și 2, adică Graph 3 și Graph 1. Marchează pe Graph 3 punctul în care substanța se solidifică și determină valoarea V_s a lui V_{proba} , corespunzătoare acestui punct.

Găsește temperatura de solidificare T_s a substanței și estimează eroarea.

4.2. Determină T_s , folosind metoda termometrică diferențială; comparând graficele ΔV ca funcție de V_{proba} din secțiunile 3 și 2, adică Graph 4 și Graph 2. Marchează pe Graph 4 punctul în care substanța se solidifică și determină valoarea V_s a lui V_{proba} , corespunzătoare acestui punct.

Găsește temperatura de solidificare T_s a substanței.

4.3. Din erorile de măsurare și ale instrumentelor, calculează eroarea pentru T_s , obținută cu metoda termometrică diferențială. Efectuează calculul erorilor și în final scrie valoarea temperaturii de solidificare T_s , împreună cu eroarea sa în Foaia de Răspunsuri.

C. Sarcina de lucru 2: Determinarea eficienței unei celule solare, iluminată cu o lampă cu incandescență

1. Scopul experimentului

Scopul experimentului este determinarea *eficienței* unei celule solare iluminată cu o lampă cu incandescență. Eficiența este definită ca raportul dintre puterea electrică pe care o celulă o poate furniza circuitului exterior și puterea radiantă totală primită de celulă. Eficiența depinde de spectrul radiației incidente. În acest experiment, radiația incidentă pe celulă este aceea a unei lămpi de halogen cu incandescență. În scopul determinării eficienței celulei solare vei măsura *iluminarea energetică* E a punctului situat sub lampă, la distanța d de aceasta pe direcție verticală și *puterea maximă* P_{max} a celulei solare, când aceasta este plasată în

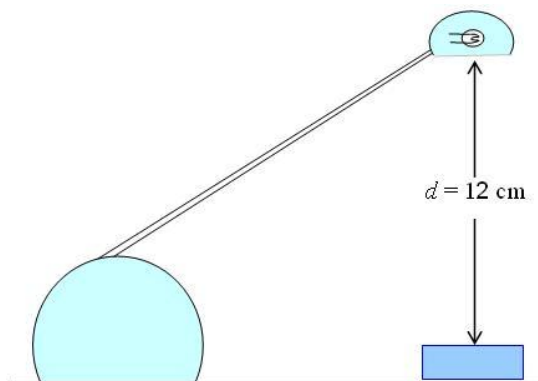


Figura 6
Utilizarea lămpii cu halogen
ca sursă de lumină

acest punct. În acest experiment, $d = 12 \text{ cm}$ (Figura 6). Iluminarea energetică E este definită ca $E = \frac{\Phi}{S}$, unde Φ este fluxul radiant, iar S este aria suprafeței iluminate.

2. Aparate și materiale

1. Sursa de lumină – o lampă având un bec cu halogen de 20 W .

2. Un detector de radiație care este un con gol de cupru, a cărui suprafață interioară este înnegrită cu funingine (Figura 7). Conul este incomplet izolat termic față de mediu. În acest experiment detectorul este considerat ca fiind un corp negru ideal. Pentru măsurarea temperaturii se utilizează diode de siliciu. Dioda de măsurare este fixată pe detectorul de radiație (D_2 , în Figura 1 și Figura 7), astfel încât temperatura sa este egală cu temperatura conului. Dioda de referință este plasată în interiorul cutiei care conține detectorul; temperatura sa este egală cu temperatura mediului. Capacitatea termică totală a detectorului (a conului și a diodei de măsurare) este $C = (0,69 \pm 0,02) \text{ J/K}$. Detectorul este acoperit cu o peliculă foarte subțire de polietilenă; absorbția și reflexia luminii de către peliculă poate fi neglijată.

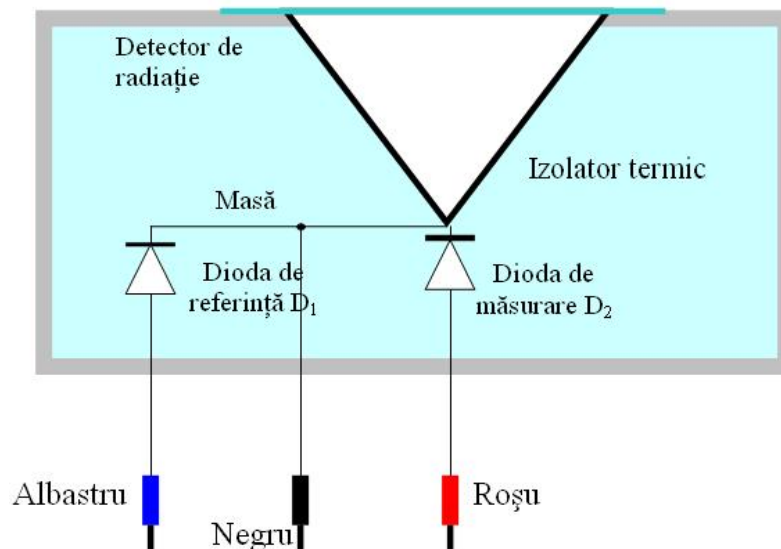


Figura 7. Diagrama detectorului de radiație și diodele folosite ca detector de temperatură

3. O cutie cu circuite, ca aceea prezentată în Figura 2.

4. O celulă solară, fixată pe o cutie de plastic (Figura 8.). Pe suprafața celulei sunt câteva benzi de metal, reprezentând contactele electrice. În calculele de eficiență aceste benzi sunt considerate ca făcând parte din celulă.

5. Două multimetre digitale. Atunci când sunt folosite pentru măsurarea tensiunilor acestea au o rezistență internă foarte mare, care poate fi considerată infinită. Când multimetrele măsoară curenți, rezistența lor internă nu poate fi neglijată. Funcția de măsurare a tensiunii a multimetrului are o eroare de ± 2 digiți la ultimul digit. (± 2 din unitățile de măsurare pentru ultima cifră indicată). Multimetrele pot măsura și temperatura camerei.

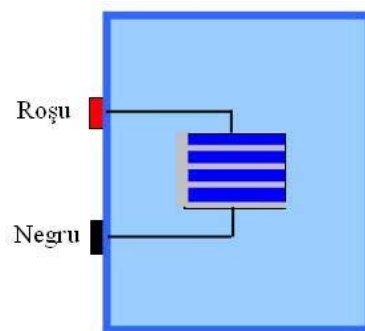


Figura 8. Celulă solară

Notă: pentru a preveni ca multimetrul (vezi Figura 9) să intre în regimul „Auto power off” rotește selectorul de funcții din poziția OFF în poziția dorită, în timp ce se presează și se ține apăsat butonul SELECT.

6. O baterie de 9V.
7. Un rezistor cu rezistența variabilă.
8. Un cronometru.
9. O riglă cu diviziuni de un milimetru.
10. Fire electrice de contact.
11. Hârtie pentru trasarea graficelor.

3. Experiment

Detectorul se încălzește atunci când primește energie de la radiație. În același timp detectorul pierde căldură prin diferite mecanisme, cum ar fi conducție, convecție, radiație, etc. Deci, energia radiantă primită de detector în intervalul de timp dt este egală cu suma dintre energia necesară pentru creșterea temperaturii detectorului și energia cedată de detector către mediu.

$$\Phi \cdot dt = C \cdot dT + dQ$$

unde C este capacitatea calorică a detectorului și a diodei, dT este creșterea temperaturii, iar dQ este căldura pierdută.

Atunci când diferența de temperatură dintre detector și mediu $\Delta T = T - T_0$ este mică se poate considera cantitatea de căldură dQ transferată de la detector la mediu în intervalul de timp dt ca fiind aproximativ proporțională cu ΔT și cu dt , adică $dQ = k \cdot \Delta T \cdot dt$, unde k este un factor măsurat în W/K .

Prin urmare, presupunând că factorul k este constant și că ΔT este mic

$$\Phi \cdot dt = C \cdot dT + k \cdot \Delta T \cdot dt = C \cdot d(\Delta T) + k \cdot \Delta T \cdot dt$$

sau

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} + \frac{k}{C} \cdot \Delta T = \frac{\Phi}{C} \quad (4)$$

Soluția acestei ecuații diferențiale descrie variația diferenței de temperatură ΔT ca funcție de timpul t , din momentul în care detectorul supus unei iluminări constante începe să primească lumină, presupunând că la $t=0$, $\Delta T=0$.

$$\Delta T(t) = \frac{\Phi}{k} \cdot \left(1 - e^{-\frac{k}{C} \cdot t} \right) \quad (5)$$

Când se oprește iradierea detectorului, ecuația diferențială de mai sus devine

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} + \frac{k}{C} \cdot \Delta T = 0 \quad (6)$$

iar diferența de temperatură ΔT depinde de timp conform relației

$$\Delta T(t) = \Delta T(0) \cdot e^{-\frac{k}{C} \cdot t} \quad (7)$$

unde $\Delta T(0)$ este diferența de temperatură la $t=0$ (momentul în care se încep măsurările).

1. Determină temperatura T_0 a camerei.

2. Construiește un circuit electric cuprinzând senzorul cu diodă, cutia de circuite și multimetrele pentru măsurarea temperaturii detectorului.

Pentru eliminarea erorilor datorate timpului de încălzire a instrumentelor și dispozitivelor se recomandă cu tărie ca circuitul de măsurare să fie pornit cu aproximativ 5 minute înaintea începerii experimentelor propriu-zise.

2.1. Plasează detectorul sub sursa de lumină la distanța $d = 12 \text{ cm}$. Lampa rămâne stinsă. Urmărește timp de aproximativ 2 minute variația tensiunii diferențiale ΔV efectuând măsurări la intervale de timp de 10 s și determină valoarea $\Delta V(T_0)$ din ecuația 3.

2.2. Aprinde lampa pentru ca aceasta să ilumineze detectorul. Urmărește variația tensiunii diferențiale ΔV , notând la fiecare $10 - 15 \text{ s}$ valorile acesteia în tabelul din Foaia de Răspunsuri (Notă: coloanele x și y din acest tabel vor fi utilizate mai târziu în secțiunea 4.). După 2 minute stinge lampa.

2.3. Mută detectorul departe de lampă. Urmărește variația tensiunii diferențiale ΔV timp de 2 minute după mutare. Notează la fiecare $10 - 15 \text{ s}$ valorile tensiunii diferențiale ΔV în tabelul din Foaia de Răspunsuri (Notă: coloanele x și y din acest tabel vor fi utilizate mai târziu în secțiunea 3.).

Sugestie:

Deoarece detectorul are inerție termică este recomandat să nu se utilizeze datele obținute imediat după momentul în care detectorul începe să fie iluminat sau încetează să fie iluminat.

3. Trasează într-un sistem de coordonate xy cu x și y convenabil alese, un grafic cu ajutorul căruia să poți arăta că ecuația (7) este satisfăcută atunci când becul este stins.

3.1. Scrie expresii pentru variabilele x și y .

3.2. Trasează graficul y ca funcție de x , grafic numit Graph 5.

3.3. Din acest grafic determină valoarea lui k .

4. Trasează într-un sistem de coordonate xy cu x și y convenabil alese, un grafic cu ajutorul căruia să poți arăta că ecuația (5) este satisfăcută atunci când detectorul este iluminat.

4.1. Scrie expresii pentru variabilele x și y .

4.2. Trasează graficul y ca funcție de x , grafic numit Graph 6.

4.3. Din acest grafic determină valoarea iluminării E a ferestrei detectorului.

5. Așează celula solară în același loc în care s-a aflat detectorul de radiație. Conectează celula solară într-un circuit electric corespunzător cuprinzând multimetrele și rezistorul cu rezistență variabilă pe care celula solară debitează. Prin variația rezistenței acestuia se schimbă sarcina celulei, adică modul în care acesta debitează energie electrică pe rezistorul cu care este înseriată. Măsoară curentul din circuit și tensiunea pe celulă pentru diferite valori ale rezistenței rezistorului.

5.1. Desenează o schemă a circuitului folosit în acest experiment.

5.2. Rotind butonul rezistenței variabile, modifică sarcina celulei solare.

Notează valorile curentului I și ale tensiunii V pentru fiecare poziție a butonului rezistenței variabile.

5.3. Trasează graficul puterii debitate de celulă și care este furnizată sarcinii (rezistenței variabile), ca funcție de intensitatea curentului electric prin celulă. Numește acest grafic Graph 7.

5.4. Din acest grafic, determină puterea maximă P_{\max} debitată de celulă și estimează-i eroarea.

5.5. Scrie expresia eficienței celulei, corespunzătoare puterii maxime determinate. Calculează-i valoarea și eroarea.

Conținutul kit-ului experimental (vezi și Figura 10)

1	Lampă cu halogen 220 V / 20 W	9	Cronometru
2	Suport pentru talere	10	Calculator
3	Talere	11	Detector de radiație
4	Multimetre	12	Celulă solară
5	Cutie cu circuite	13	Rezistor cu rezistență variabilă
6	Baterie de 9 V	14	Riglă
7	Fire conductoare de legătură	15	Cutie de protecție
8	Vas cu substanța de măsurat		

Notă: pentru a preveni situația în care multimetrul (vezi Figura 9) intră în starea “Auto power off”, rotește selectorul de funcții din poziția OFF în poziția dorită în timp ce ții apăsat butonul SELECT.



Figura 9. Multimetric digital

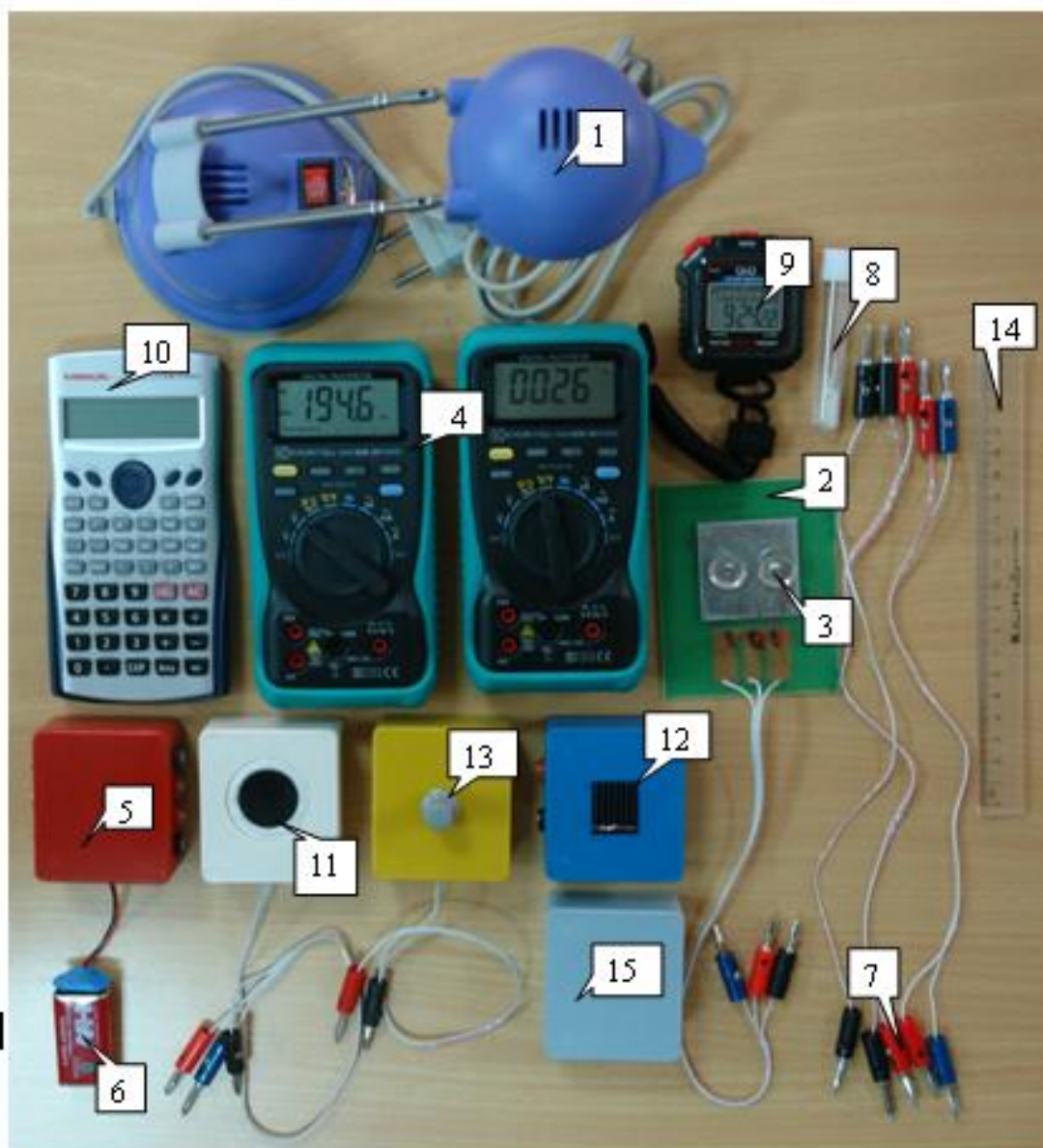


Figura 10. Conținutul kit-ului experimental

AI NOȘTRI ÎN LUME: DISTINCȚII PENTRU ÎNTREGUL LOT OLIMPIC DE LA HANOI

Tatiana ROTARU

În ultima decadă a lunii iulie curent, 20-29 iulie 2008, la Hanoi, Vietnam, a avut loc cea de-a 39-a Olimpiadă Internațională de Fizică. La concurs au participat 376 de concurenți din 85 de țări ale lumii, 3 dintre care au avut doar observatori. Lotul olimpic al Republicii Moldova a fost format din 5 liceeni, care au înregistrat performanțe importante la Olimpiada de fizică și alte concursuri din țară și de peste hotare. Echipa națională a fost însoțită de dr. Igor Evtodiev, conferențiar universitar la Catedra de Meteorologie, metrologie și fizica experimentală a USM, conducător al lotului olimpic, și de dl Victor Păgînu, inspector al Ministerului Educației și Tineretului.

Conform informației prezentate de dr. Igor Evtodiev, rezultatele obținute de liceenii moldoveni la Olimpiada Internațională de Fizică de la Hanoi sunt impresionante. Pentru prima dată, de la 1995 înapoi, un elev moldovean a cucerit o medalie de aur la o competiție de acest rang. E vorba de Dmitri Lemeșevski din clasa a XII-a, Liceul „Gaudeamus” din Chișinău. Cu două medalii de bronz au fost decorați Ștefan Sanduleanu, elev din clasa a XII-a, Liceul „Mircea Eliade”, Chișinău, și Artiom Patrnică, elev din clasa a XII-a, Liceul „Orizont”, de asemenea, din Chișinău. Alți doi reprezentanți ai țării noastre, Victor Buza, elev din clasa a XI-a de la Liceul „Orizont” din capitală, și Mariana Lopusanschi, elevă din clasa a XII-a a Liceului „Mircea Eliade” din Chișinău, au fost apreciați cu Diplome „Mențiune de Onoare”.

Mariana Lopusanschi este prima domnișoară care s-a întors de la Olimpiada Internațională de Fizică cu o distincție. Fizica este considerată de multă lume un domeniu științific dificil, în care se pot afirma cu succes doar bărbații. Practica ne aduce multiple exemple că în acest domeniu pot persevera și reprezentantele sexului frumos.

Echipa națională a Republicii Moldova s-a clasat pe poziția a 6-a, după China, Indonezia, Korea, Canada și Taiwan. În topul primelor 15 învingători predomină, de asemenea, reprezentanții statelor asiatice, locul 8 revenindu-i liceeanului moldovean Dmitri Lemeșevski.

Primit la redacție: 14 august 2008

OLIMPIADA REPUBLICANĂ DE FIZICĂ

Proba teoretică, clasa XII

Chișinău, 4 martie 2008

Subiectul prevede un model cu ajutorul căruia sunt studiate efecte mecanice, termice, procese în gaze și unele fenomene optice (schimbarea indecelui de refracție a gazului cu presiunea). În mod obișnuit, tematica enunțurilor anticipează problemele analizate la gimnaziu, liceu și elemente la nivel de Olimpiade Naționale și Internaționale.

Pentru a deprinde elevii cu un mod ordonat de notare a rezultatelor atât analitice cât și a celor numerice, la fiecare subiect s-a anexat un model al Foii de răspuns pentru înscrierea acestora.

SUBIECT „PISTONUL-CĂMAȘĂ”**(10 puncte)**

Într-un cilindru vertical cu pereții transparenti optic și izolatori termic se poate mișca fără frecare un piston cu cămașă (în continuare - piston) care conduce bine căldură doar prin baza de jos. Sistemul se află în mediu ambiant care are temperatura și presiunea respectiv $t_o = 25^\circ\text{C}$ și $P_o = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$, considerate drept condiții normale.

Partea A

În condiții normale pistonul cu masa $m_p = 4,500 \text{ kg}$ și aria bazei $A = 25,0 \text{ cm}^2$, comprimă patru moli de gaz monoatomic ideal (Azot). Inițial sistemul este în echilibru.

Partea B

Apoi prin partea de sus a pistonului se toarnă apă luată la temperatura normală t_o până când volumul gazului a variat cu 10% (vezi Figura 1.1).

Partea C

După stabilirea unui nou echilibru se introduce în apă o bucată de gheață cu masa de $m_{gh} = 500$ grame și temperatura 0°C (vezi Figura 1.2).

Se neglijează orice curgere a gazului prin suprafața de contact dintre piston și cilindru-rigid, și se neglijează capacitățile specifice termice a cilindrului și pistonului. Se neglijează grosimea peretelui camașei pistonului.

Rezolvă problema în modelul când singurul schimb de căldură are loc prin baza pistonului, așa încât sistemul apă-gaz este permanent în echilibru termodinamic.

Notă

a) Pentru soluționarea problemei se recomandă de folosit următoarele notații:

m_p , este masa „pistonului-cămașă” (în continuare – „piston”), iar

(m_a, V_a, T_a) , (m_{gh}, V_{gh}, T_{gh}) , (m_g, V_g, T_g) este respectiv masa, volumul, temperatura corespunzător pentru (apă), (gheață), (gaz).

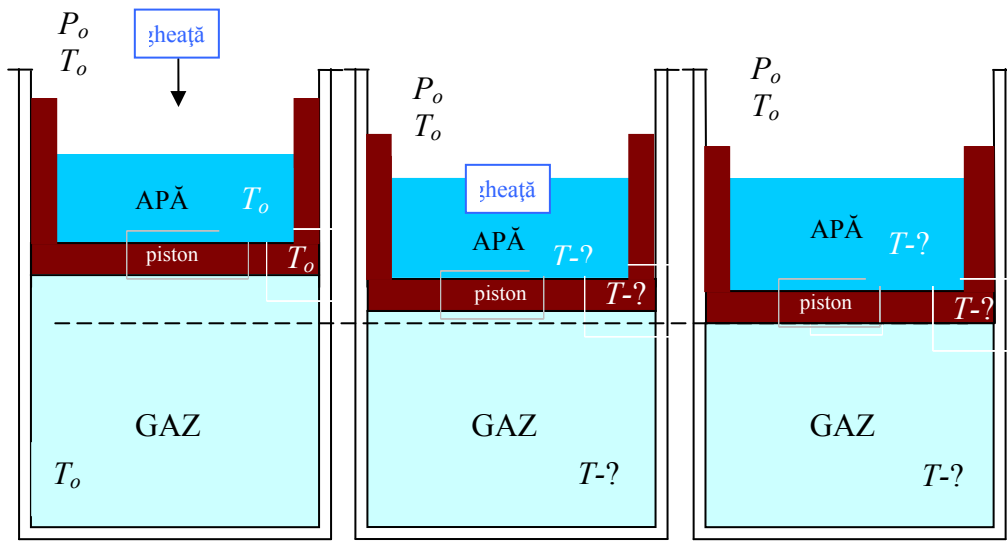


Figura 1.1

Figura 1.2

Figura 1.3

Sarcini

Partea A
(puncte)

(1,4

1. Care este temperatura inițială a gazului dacă sistemul aflat în condiții normale este în echilibru?
2. Inițial, cu ce forță proprie acționează pistonul asupra gazului?
3. Care este presiunea inițială a gazului?
4. Care este volumul inițial ocupat de gaz?

Partea B „Pistonul-cămașă”. Apa în cămașa pistonului (Vezi Figura 1.1). (2,5 puncte)

5. Care este variația volumului ocupat de gaz?
6. Care este presiunea gazului după ce în cămașa pistonului se toarnă apă?
7. Ce volum de apă sa turnat în cămașa pistonului? Ce masă are apa turnată în cămașa pistonului?
8. Ce lucru efectuează gazul?

Partea C Apa cu gheață în cămașa pistonului. (Vezi Figura 1.2 și Figura 1.3). (5,9 puncte)

P. C₁ Plutirea inițială a gheții în apa din cămașa pistonului (Vezi Figura 1.2). (2,2 puncte)

9. Care este temperatura absolută a gheții aflate în apă la momentul inițial și final?
10. Înscrie condițiile de plutire a gheții la introducerea acesteia în apă. Cât se va ridica nivelul apei (Δh_{apa}) din piston?
11. Care este presiunea gazului la momentul introducerii gheții în apă?

12. La introducerea gheții în apă, cu cât se va schimba nivelul inițial Δh al apei în raport cu baza cilindrului?

P. C₂ Apa cu gheața topită în cămașa pistonului (Vezi Figura 1.3). (3,7 puncte)

13. Care este masa de apă după ce sa topit toată gheața? Dar masa gheței?

14. Cu cât se va ridica nivelul apei (ΔH_{apa}) în piston de pînă la introducerea gheții în apă și după ce gheața sa topit complet? (vezi Figura 1.1 și Figura 1.3)

15. Care este temperatura apei din piston la momentul cînd gheața s-a topit complet?

16. În raport cu baza cilindrului, cu cât se va schimba nivelul ΔH al apei din piston de pînă la introducerea gheții în apă și după ce gheața sa topit complet, dacă se consideră că între apa din cămașa pistonului și gaz sa stabilit echilibru termodinamic? (vezi Figura 1.1 și Figura 1.3).

17. Reprezentați schematic dinamica în timp pentru masa de apă și de gheață precum și temperatura acestora corespunzător, dacă presupunem că gheața se topește în circa 8 minute.

18. Determină de cîte ori variază volumul ocupat de gaz atunci cînd pistonul era deșert (V_i) și cînd gheața sa topit în apă (V_3).

Partea D (Vezi Figurile 1.1-1.3). (0,2 puncte)

De caracterizat fenomenele optice și de construit schematic graficul $n(P_{gaz})$ la trecerea razei de lumină prin gazul din interiorul cilindrului (corespunzător Figurilor 1.1-1.3), dacă pereții acestuia sunt confecționați din material izolator-termic și transparent optic, iar n și P_{gaz} sunt respectiv indicii de refracție și presiunea gazului.

Folosește notațiile:

V_i – volumul inițial de gaz cînd asupra gazului acționează presiunea atmosferică și greutatea pistonului gol; respectiv presiunea și temperatura gazului la acest moment [$P_i, T_i = T_0$].

V_1 - volumul de gaz cînd asupra gazului acționează presiunea atmosferică și greutatea pistonului cu apă; respectiv presiunea și temperatura gazului la acest moment [$P_1, T_1 = T_0$], (vezi Figura 1.1).

V_2 - volumul de gaz cînd asupra gazului acționează presiunea atmosferică, greutatea pistonului cu apă și gheața la momentul inițierii topirii; respectiv presiunea și temperatura gazului la acest moment [$P_2, T_2 = T_0$], (vezi Figura 1.2).

V_3 - volumul de gaz cînd asupra gazului acționează presiunea atmosferică, greutatea pistonului cu apă și gheața topită complet; respectiv presiunea și temperatura gazului la acest moment [$P_3 = P_2, T_3 = T$], (vezi Figura 1.3).

b) Tabele:

Tabelul 1

Constante fizice universale

Nr.	Denumirea	Simbol	Valoare numerică
1	Accelerația gravitațională la nivelul mării, latitudine 45° la Ecuator la Poli	g	$9,80665 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ $9,78030 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ $9,83216 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
2	Atmosfera fizică, corespunzătoare presiunii atmosferice normale P_o (pentru densitatea mercurului $13,595$ g/cm^3 și $g_{0,45^\circ}$)	P_o	1 atm (sau 760 mm Hg)= $=1,01325\cdot 10^5 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$
3	Viteza luminii în vid	c	$(2,99793 \pm 0,00001) 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
4	Numărul lui Avogadro	N_A	$(6,02296 \pm 0,00016) 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$
5	Constanta lui Planck	h	$(6,6252 \pm 0,0003) 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
6	Constanta lui Boltzman	k	$(1,380658 \cdot 10^{-23} \text{ J/K})$
7	Căldura specifică de topire a gheții	λ	$3,320\cdot 10^5 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$
8	Densitatea gheții	ρ_{gh}	$900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
9	Densitatea apei	ρ_a	$1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
10	Constanta universală a gazelor	R	$8,31451 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

Tabelul 2

Căldura specifică pentru apă la diferite temperaturi t la presiunea de 101325 Pa

$t, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70
$c_a, \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$	4212	4191	4183	4174	4174	4174	4178	4187

Tabelul 3

Indicele de refracție al unor gaze la temperatura de 0°C și presiunea de 760 mm Hg
corespunzător liniei spectrale galbene a sodiului: $n_{Na}(589,3 \text{ nm})$.

Gaz	Azot	Aer	Oxigen	Hidrogen	Neon	Heliu	Vapori de apă
n_{Na}	1,000297	1,000292	1,000272	1,000138	1,000067	1,000035	1,000252

Autor: conf. univ. dr. Igor Evtodiev
Facultatea de fizică a USM
e-mail: ievtodiev@yahoo.com

Primit la redacție: 4 aprilie 2008

REZOLVARE

SUBIECT „PISTONUL-CĂMAȘĂ”

(10 puncte)

Deoarece se cere de-a rezolvă problema în modelul când se neglijează schimbul de căldură dintre sistemul: *piston-apă / piston-apă-gheață* cu cilindrul și mediul ambiant rămân a fi doar două mecanisme prin care poate fi schimbată starea gazului, fie modificăm starea gazului schimbând temperatura pistonului și respectiv a gazului, sau fie schimbând forța de acțiune din partea pistonului asupra gazului. Ambele mecanisme sunt fiabile schimbând atât temperatura cât și cantitatea de substanță plasată în cămașa pistonului.

Reeșind din enunțul problemei: „*piston cu cămașă (în continuare - piston) care este bun conductor de căldură prin baza de jos*” înțelegem că geometria pistonului ne permite să schimbăm starea gazului prin mecanisme și efecte fizice de natură *mechanică* și *termică*. Tot odată conform enunțului „*cilindru vertical cu perete transparent optic și izolator termic*” pe de o parte, putem extinde problema pentru diverse procese în gaz (izotermice, adiabatic și politropice), iar pe de altă parte de-a caracteriza unele fenomene optice - schimbarea indecelui de refracție a gazului cu presiunea.

Partea A

(1,4 puncte)

1. În modelul propus, singurul mecanism prin care poate avea loc schimb de căldură dintre gaz și alt corp termic este realizat prin baza cilindului. Întrucât sistemul este în echilibru cu mediul înconjurător aflat în condiții normale (temperatura T_o), avem că temperatura pistonului și respectiv **temperatura inițială a gazului este** $T_o = 273 + t_o = 273 + 25 = 298^\circ K$

(Răspuns: $T_o = 273 + t_o = 298^\circ K$)

2. Forța proprie cu care pistonul acționează asupra gazului este determinată de greutatea acestuia. Întrucât, inițial pistonul este gol și are masa m_p , iar întregul sistem se află în câmp gravitațional ($g=9,806 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), greutatea pistonului este $G_p = m_p \cdot g$. Respectiv **forța proprie** cu care pistonul acționează asupra gazului este: $F_p = G_p = m_p \cdot g$.
 $F_p = G_p = m_p \cdot g = 4,500 \cdot 9,80665 = 44,1299 = 44,13(\text{N})$,

(Răspuns: $F_p = m_p \cdot g = 44,13 \text{ N}$)

3. Sunt două mecanisme prin care poate fi schimbată starea gazului în general sau a presiunii în particular. Primul mecanism se referă la schimbul de căldură (prin baza cilindului) dintre atmosferă și gaz pînă se stabilește echilibru termodinamic, iar al doilea mecanism - cu schimbarea greutății pistonului. În acest model, atmosfera standard prin cele două mecanisme crează gazului de sub piston temperatura T_o și presiunea P_i . Această presiune se determină din condiția de echilibru a forțelor $\vec{F}_o + \vec{F}_p = \vec{F}_{gi}$, și definiția presiunii $P = \frac{F}{A}$, ținînd cont de soluția din punctul 2. Aici \vec{F}_{gi} este forța exercitată de gaz în starea inițială.

$$P_o \cdot A + m_p \cdot g = P_i \cdot A \Rightarrow P_i = P_o + \frac{m_p \cdot g}{A}$$

$$P_i = P_o + \frac{m_p \cdot g}{A} = 1,01325 \cdot 10^5 + \frac{4,500 \cdot 9,80665}{25,00 \cdot 10^{-4}} = 1,18976 \cdot 10^5 = 1,190 \cdot 10^5 (\text{N} \cdot \text{m}^{-2})$$

(Răspuns: $P_i = P_o + \frac{m_p \cdot g}{A} = 1,190 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$)

4. Folosind ecuația de stare a gazului ideal. Inițial gazul exercită presiunea P_i (v.p.3) la temperatura T_o (v.p.1) și ocupă volumul V_i . Volumul inițial ocupat de gaz este:

$$V_i = \frac{\nu \cdot R \cdot T_o}{P_i} = \frac{\nu \cdot R \cdot T_o}{P_o + \frac{m_p \cdot g}{A}} = \frac{\nu \cdot R \cdot T_o \cdot A}{A \cdot P_o + m_p \cdot g}.$$

$$V_i = \frac{\nu \cdot R \cdot T_o \cdot A}{A \cdot P_o + m_p \cdot g} = \frac{4 \cdot 8,314 \cdot 298 \cdot 25,0 \cdot 10^{-4}}{25,0 \cdot 10^{-4} \cdot 1,01325 \cdot 10^5 + 4,50 \cdot 9,80665} = 0,08329(m^3) = 83,3(\text{litri})$$

$$(\text{Răspuns: } V_i = \frac{\nu \cdot R \cdot T_o \cdot A}{A \cdot P_o + m_p \cdot g} = 83,3(\text{litri}))$$

Partea B „Pistonul-cămașă”. Apa în cămașa pistonului (Vezi Figura 1.1). **(2,5 puncte)**

5. După ce în „pistonul-cămașă” s-a turnat apă, atunci asupra coloanei de gaz mai acționează suplimentar și greutatea apei, așa încît presiunea gazului crește pînă la P_1 , iar volumul gazului se micșorează de la V_i pînă la V_1 . Respectiv variația volumului este de $0,10 \cdot V_i$, adică $V_1 = \eta \cdot V_i$, unde $\eta = 0,90$.

Întrucît temperatura apei turnate în piston este egală cu cea normală (T_o) urmează că temperatura pistonului nu se schimbă și respectiv temperatura gazului rămîne a fi egală cu T_o . În acest model presiunea și volumul gazului se modifică doar datorită greutății apei turnate în piston. Astfel presiunea gazului crește de la P_i (vezi p.3) pînă la P_1 (vezi p.6) și respectiv volumul ocupat de gaz se micșorează de la V_i (vezi p.4) pînă la $V_1 = \eta \cdot V_i = \frac{\eta \cdot \nu \cdot R \cdot T_o \cdot A}{A \cdot P_o + m_p \cdot g}$.

Având în vedere rezultatul din p. 4, pentru variația volumului ocupat de gaz obținem:

$$\Delta V_1 = V_i - V_1 = V_i - \eta \cdot V_i = (1 - \eta) \cdot V_i = (1 - \eta) \cdot \frac{\nu \cdot R \cdot T_o \cdot A}{A \cdot P_o + m_p \cdot g}.$$

$$\Delta V_1 = (1 - \eta) \cdot \frac{\nu \cdot R \cdot T_o \cdot A}{A \cdot P_o + m_p \cdot g} = (1 - 0,90) \cdot \frac{4 \cdot 8,314 \cdot 298 \cdot 25,0 \cdot 10^{-4}}{25,0 \cdot 10^{-4} \cdot 1,01325 \cdot 10^5 + 4,50 \cdot 9,80665} = 0,008329(m^3) = 8,33(\text{litri}).$$

$$(\text{Răspuns: } \Delta V_1 = (1 - \eta) \cdot \frac{\nu \cdot R \cdot T_o \cdot A}{A \cdot P_o + m_p \cdot g} = 8,33(\text{litri}))$$

6. După ce în „pistonul-cămașă” s-a turnat apă, atunci asupra coloanei de gaz mai acționează suplimentar și greutatea apei, așa încît volumul gazului se micșorează pînă la V_1 , iar presiunea exercitată de gaz crește pînă la P_1 .

Deoarece procesul în gaz este izotermic folosim ecuația de stare pentru G.I.

$$P_i \cdot V_i = P_1 \cdot V_1 \Rightarrow P_1 = P_i \cdot \frac{V_i}{V_1} = \frac{A \cdot P_o + m_p \cdot g}{\eta \cdot A}.$$

Acest rezultat poate fi obținut direct folosind ecuația de stare a gazului ideal și expresia pentru volumul inițial: $P_1 = \frac{\nu \cdot R \cdot T_o}{V_1} = \frac{\nu \cdot R \cdot T_o}{\eta \cdot V_i} = \frac{A \cdot P_o + m_p \cdot g}{\eta \cdot A}$.

$$P_1 = \frac{A \cdot P_o + m_p \cdot g}{\eta \cdot A} = \frac{25,0 \cdot 10^{-4} \cdot 1,01325 \cdot 10^5 + 4,50 \cdot 9,80665}{0,90 \cdot 25,0 \cdot 10^{-4}} = 1,321 \cdot 10^5 (\text{N} \cdot \text{m}^{-2})$$

$$(\text{Răspuns: } P_1 = \frac{A \cdot P_o + m_p \cdot g}{\eta \cdot A} = 1,321 \cdot 10^5 (\text{N} \cdot \text{m}^{-2}))$$

7. Volumul de apă care sa turnat în cămașa pistonului îl determinăm conform definiției

$$V_a = \frac{m_a}{\rho_a}$$

Masa apei se află din ecuația

$$A \cdot P_1 = (m_p + m_a) \cdot g + A \cdot P_o \Rightarrow$$

$$m_a = (P_1 - P_o) \cdot \frac{A}{g} - m_p = \left[\frac{1}{\eta} \cdot \left(P_o - \frac{m_p \cdot g}{A} \right) - P_o \right] \cdot \frac{A}{g} - m_p = \frac{1-\eta}{\eta} \cdot \left(m_p + \frac{A \cdot P_o}{g} \right)$$

$$m_a = \frac{1-\eta}{\eta} \cdot \left(m_p + \frac{A \cdot P_o}{g} \right) = \frac{1-0,90}{0,90} \cdot \left(4,500 + \frac{25,00 \cdot 10^{-4} \cdot 1,01325 \cdot 10^5}{9,80665} \right) = 3,370(\text{kg})$$

Respectiv pentru volumul de apă turnată în cămașa pistonului avem:

$$V_a = \frac{m_a}{\rho_a} = \frac{1-\eta}{\eta \cdot \rho_a} \cdot \left(m_p + \frac{A \cdot P_o}{g} \right) = \frac{1-0,90}{0,90 \cdot 1000} \cdot \left(4,500 + \frac{25,00 \cdot 10^{-4} \cdot 1,01325 \cdot 10^5}{9,80665} \right) = 3,370(\text{litri})$$

$$(\text{Răspuns: } m_a = \frac{1-\eta}{\eta} \cdot \left(m_p + \frac{A \cdot P_o}{g} \right) = 3,370(\text{kg}))$$

$$V_a = \frac{m_a}{\rho_a} = \frac{1-\eta}{\eta \cdot \rho_a} \cdot \left(m_p + \frac{A \cdot P_o}{g} \right) = 3,37 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 3,37(\text{dm})^3 = 3,37(\text{litri})$$

8. Procesul în gaz este izotermic. Calculăm lucru efectuat de gaz în cazul procesului izotermic ($P \cdot V = \text{const}$; starea inițială-[V_i, P_i, T_o] /finală-[$V_1 = \eta \cdot V_i, P_1, T_o$]).

$$L_{1\text{gaz}} = \int_{V_i}^{V_1} P \cdot dV = \nu \cdot R \cdot T_o \int_{V_i}^{\eta \cdot V_i} \frac{dV}{V} = \nu \cdot R \cdot T_o \cdot \ln \frac{V_1}{V_i} = \nu R T_o \cdot \ln \frac{P_i}{P_1} = \nu \cdot R \cdot T_o \cdot \ln \eta$$

$$L_{1\text{gaz}} = \nu \cdot R \cdot T_o \cdot \ln \eta = 4 \cdot 8,314 \cdot 298 \cdot \ln 0,90 = -1044(\text{J}) = -1,04\text{kJ}$$

$$(\text{Răspuns: } L_{1\text{gaz}} = \nu \cdot R \cdot T_o \cdot \ln \frac{V_1}{V_i} = \nu R T_o \cdot \ln \frac{P_i}{P_1} = \nu \cdot R \cdot T_o \cdot \ln \eta = -1,04\text{kJ})$$

Partea C Apa cu gheață în cămașa pistonului. (Vezi Figura 1.2). **(5,9 puncte)**

P. C₁ Plutirea inițială a gheții în apa din cămașa pistonului. (2,2 puncte)

9. Corelația dintre scara Kelvin și Celsius de măsurare a temperaturii pentru temperatura absolută, măsurată în $^{\circ}K$ și temperatura măsurată în $^{\circ}C$ este $T = t + 273$.

Deoarece, indirect din enunțul problemei, temperatura gheții este $t_{gh} = 0^{\circ}C$, atunci pe întregul proces de topire (de la momentul inițial pînă la cel final) temperatura absolută rămîne constantă egală cu: $T_{gh} = t_{gh} + 273 = 0^{\circ}C + 273 = 273^{\circ}K$.

$$(\text{Răspuns: } T_{gh} = 273^{\circ}K)$$

10. Întrucît densitatea gheții este mai mică decît densitatea apei, o parte a corpului din gheață se ridică deasupra apei, iar volumul părții scufundate e astfel încît greutatea apei dizlocuite este egală cu greutatea „gheții plutitoare”: $m_{ad} \cdot g = m_{gh} \cdot g$, unde $m_{ad} = \rho_a \cdot V_{ad}$ este

masa de apă din volumul dezlocuit de gheață. $V_{ad} = \frac{m_{gh}}{\rho_a}, \Rightarrow h_{ad} = \frac{V_{ad}}{A} = \frac{m_{gh}}{A \cdot \rho_a} = \Delta h_{apa}$.

$$\Delta h_{apa} = \frac{m_{gh}}{A \cdot \rho_a} = \frac{0.500}{25,0 \cdot 10^{-4} \cdot 10^3} = 0,20(m) = 20(cm)$$

$$(R\ddot{a}spuns: \Delta h_{apa} = \frac{m_{gh}}{A \cdot \rho_a} = 20(cm))$$

11. După ce în „pistonul-cămașă” s-a turnat apă, iar în apă sa pus gheața atunci asupra coloanei de gaz acționează: presiunea atmosferică pe suprafața cu aria A , greutatea pistonului, apei și gheței; așa încît presiunea gazului crește pînă la P_2 . Ca și în punctul 3 scriem condiția de echilibru a forțelor $\vec{F}_o + \vec{F}_p + \vec{F}_a + \vec{F}_{gh} = \vec{F}_{g_2}$ unde

$$\vec{F}_a = \vec{G}_a = m_a \cdot \vec{g} = \frac{1-\eta}{\eta} \cdot \left(m_p + \frac{A \cdot P_o}{g} \right) \cdot \vec{g} \text{ [vezi p.4], iar } \vec{F}_{g_2} \text{ este forța exercitată de gaz în}$$

starea corespunzătoare.

Proiectăm vectorii pe axa verticală a sistemului de coordonate și scriem ecuația pentru proiecțiile forțelor luînd în considerație definiția presiunii:

$$A \cdot P_2 = A \cdot P_o + m_p \cdot g + m_a \cdot g + m_{gh} \cdot g = A \cdot P_o + \left[\frac{1-\eta}{\eta} \cdot \left(m_p + \frac{A \cdot P_o}{g} \right) + m_{gh} + m_p \right] \cdot g =$$

$$= \frac{A \cdot P_o}{\eta} + \left(\frac{m_p}{\eta} + m_{gh} \right) \cdot g \Rightarrow P_2 = \frac{1}{\eta} \cdot \left[P_o + \left(m_p + \eta \cdot m_{gh} \right) \cdot \frac{g}{A} \right].$$

$$P_2 = \frac{1}{0,90} \cdot \left[1,01325 \cdot 10^5 + (4,50 + 0,90 \cdot 0,500) \cdot \frac{9,80665}{25,0 \cdot 10^{-4}} \right] = 1,3415 \cdot 10^5 = 1,34 \cdot 10^5 (\text{N} \cdot \text{m}^{-2}).$$

$$(R\ddot{a}spuns: P_2 = \frac{1}{\eta} \cdot \left[P_o + \left(m_p + \eta \cdot m_{gh} \right) \cdot \frac{g}{A} \right] = 1,34 \cdot 10^5 (\text{N} \cdot \text{m}^{-2}))$$

12. Schimbarea nivelului de apă în raport cu baza cilindrului va fi condiționat pe de o parte de schimbarea nivelului de apă în piston datorită introducerii gheței în apă (vezi Figura 1.2 și $\Delta h_{apa} > 0$, din punctul 10), iar pe de altă parte datorită micșorării volumului de gaz cauzată de acțiunea forței de greutate a gheții (vezi punctul 11. $\Delta h_{gaz} < 0$).

Nivelului de apă se va schimba în raport cu baza cilindrului cu $\Delta h = \Delta h_{apa} + \Delta h_{gaz}$, unde Δh_{apa} a fost determinat în p. 10.

Determinăm Δh_{gaz} :

- starea inițială a gazului: P_1, V_1, T_o . Figura 1.1

- starea finală a gazului: P_2, V_2, T_o . Figura 1.2

$$\Delta h_{gaz} = h_{2gaz} - h_{1gaz} = \frac{V_2}{A} - \frac{V_1}{A}.$$

$$V_1 = \eta \cdot V_i = \frac{\eta \cdot v \cdot R \cdot T_o \cdot A}{A \cdot P_o + m_p \cdot g}.$$

$$V_2 = \frac{v \cdot R \cdot T_o}{P_2} = \frac{\eta \cdot v \cdot R \cdot T_o \cdot A}{A \cdot P_o + (m_p + \eta \cdot m_{gh}) \cdot g}$$

$$\Delta h_{gaz} = \frac{V_2}{A} - \frac{V_1}{A} = \frac{\eta \cdot v \cdot R \cdot T_o}{A \cdot P_o + (m_p + \eta \cdot m_{gh}) \cdot g} - \frac{\eta \cdot v \cdot R \cdot T_o}{A \cdot P_o + m_p \cdot g} =$$

$$= \frac{-\eta^2 \cdot v \cdot R \cdot T_o \cdot m_{gh} \cdot g}{(A \cdot P_o + m_p \cdot g) \cdot (A \cdot P_o + m_p \cdot g + \eta \cdot m_{gh} \cdot g)}$$

$$\Delta h = \Delta h_{apa} + \Delta h_{gaz} = \frac{m_{gh}}{A \cdot \rho_a} - \frac{\eta^2 \cdot v \cdot R \cdot T_o \cdot m_{gh} \cdot g}{(A \cdot P_o + m_p \cdot g) \cdot (A \cdot P_o + m_p \cdot g + \eta \cdot m_{gh} \cdot g)}$$

Calculare preliminare $\eta^2 \cdot v \cdot R \cdot T_o \cdot m_{gh} \cdot g = 0,90^2 \cdot 4 \cdot 8,314 \cdot 298 \cdot 0,500 \cdot 9,80665 = 3,93 \cdot 10^4$

$$(A \cdot P_o + m_p \cdot g) = (25,0 \cdot 10^{-4} \cdot 1,01325 \cdot 10^5 + 4,50 \cdot 9,80665) = 297$$

$$(A \cdot P_o + m_p \cdot g + \eta \cdot m_{gh} \cdot g) = 25,0 \cdot 10^{-4} \cdot 1,0132 \cdot 10^5 + 4,50 \cdot 9,8066 + 0,90 \cdot 0,500 \cdot 9,8066 = 302$$

$$\Delta h = 0,20 - \frac{3,93 \cdot 10^4}{(297) \cdot (302)} = 0,20 - 0,44 = -0,24(m) = -24(cm), \text{ unde } (-) \text{ indică } \Delta h_{apa} < \Delta h_{gaz}.$$

La introducerea gheții în apă, nivelul apei va coborî cu 24 centimetri în raport cu baza cilindrului, întrucît datorită greutății gheții pe de o parte nivelul apei se ridică în camașă cu 20 cm, iar pe de altă parte pistonul coboară în cilindru cu 44 cm.

$$\text{(Răspuns: } \Delta h = \frac{m_{gh}}{A \cdot \rho_a} - \frac{\eta^2 \cdot v \cdot R \cdot T_o \cdot m_{gh} \cdot g}{(A \cdot P_o + m_p \cdot g) \cdot (A \cdot P_o + m_p \cdot g + \eta \cdot m_{gh} \cdot g)} = -24(cm))$$

P. C₂ Apa cu gheața topită în apa din camașa pistonului (Vezi Figura 1.3).

(3,7 puncte)

13. Deoarece masa este o mărime adiativă avem că masa de apă după topirea gheții (M_a) este egală cu suma masei apei ($m_a = \rho_a \cdot V_a$) pînă la inițierea topirii gheții și masa gheții (m_{gh}). Matematic se scrie:

$$M_a = m_a + m_{gh} = \rho_a \cdot V_a + m_{gh}$$

$$M_a = \rho_a \cdot V_a + m_{gh} = 3,370 + 0,500 = 3,870(kg)$$

$$\text{Răspuns: } M_a = \rho_a \cdot V_a + m_{gh} = 3,870kg, m_{gh} = 0,000kg.$$

14. Schimbarea nivelului de apă în piston va fi condiționată doar de creșterea nivelului de apă în rezultatul topirii gheții. (vezi Figura 1.2-1.3).

$$\Delta V_{apa} = \frac{\Delta m_{apa}}{\rho_a} = \frac{m_{gh}}{\rho_a}, \Delta H_{apa} = \frac{\Delta V_{apa}}{A} = \frac{m_{gh}}{A \cdot \rho_a} = 20(cm), \text{ (vezi p. 10).}$$

$$\text{Răspuns: } \Delta H_{apa} = \frac{\Delta V_{apa}}{A} = \frac{m_{gh}}{A \cdot \rho_a} = 20(cm).$$

15. Temperatura apei din piston la momentul cînd gheața s-a topit o notăm prin T .

Pentru a determina temperatura apei după topirea gheții utilizăm ecuația bilanțului termic. În acest scop folosim datele tabelare: căldura specifică pentru apă $c=4190 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$, căldura specifică de topire $\lambda= 3,34\cdot 10^5 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$, densitatea gheții $\rho=900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Conform ecuației bilanțului termic scriem:

$$(t_o - t) \cdot c_a \cdot m_a = m_{gh} (\lambda + c_a \cdot (t - 0)) \Rightarrow t \cdot c_a \cdot (m_a + m_{gh}) = m_a \cdot c_a \cdot t_o - m_{gh} \cdot \lambda \Rightarrow t = \frac{m_a \cdot c_a \cdot t_o - m_{gh} \cdot \lambda}{c_a \cdot (m_a + m_{gh})}$$

$$T = 273,15 + \frac{m_a \cdot c_a \cdot t_o - m_{gh} \cdot \lambda}{c_a \cdot (m_a + m_{gh})} = 273,15 + \frac{3,370 \cdot 4186 \cdot 25 - 0,500 \cdot 3,320 \cdot 10^5}{4186 \cdot (3,370 + 0,500)} =$$

$$= 273,15 + 15,5 = 288,6^\circ K .$$

$$\text{Răspuns: } T = 273,15 + \frac{m_a \cdot c_a \cdot t_o - m_{gh} \cdot \lambda}{c_a \cdot (m_a + m_{gh})} = 273,15 + 15,5 = 288,6^\circ K .$$

16. Schimbarea nivelului de apă în raport cu baza cilindrului este condiționată de:

1) *schimbarea nivelului de apă în piston* datorită topirii gheței în apă din cămașa pistonului (vezi Figura 1.2-1.3 și $\Delta H_{apa} > 0$, din punctul 14);

2) *micșorarea volumului de gaz*, datorită atât creșterii forței de greutate a pistonului în cămașa căruia este apa cu gheața topită, cât și a micșorării temperaturii gazului care continuu se află în echilibru termodinamic cu apa din cămașa pistonului ($\Delta H_{gaz} < 0$).

Nivelului de apă se va schimba în raport în raport cu baza **cilindrului** cu $\Delta H = \Delta H_{apa} + \Delta H_{gaz}$, unde ΔH_{apa} a fost determinat în p. 14.

$$\text{Determinăm: } \Delta H_{gaz} = \frac{V_3 - V_1}{A} .$$

a) - starea inițială a gazului: P_1, V_1, T_1 . Figura 1.1

$$T_1 = T_o, \text{ (v.p.1); } V_1 = \eta \cdot V_i = \frac{\eta \cdot v \cdot R \cdot T_o \cdot A}{A \cdot P_o + m_p \cdot g}, \text{ (v.p.5); } P_1 = \frac{A \cdot P_o + m_p \cdot g}{\eta \cdot A}, \text{ (v.p.6).}$$

b) - starea finală a gazului: $P_3, V_3, T_3 = T$. Figura 1.3,

După topirea gheții în apa din cămașa pistonului (Figura 1.3) și stabilirea echilibrului termodinamic dintre gaz și apă, acesta are temperatura $T_3 = T = 288,5^\circ K$ (v.p.15) și exercită o presiune egală cu presiunea exterioară $P_3 = P_2$, care a fost determinată în punctul

$$11 \quad P_2 = \frac{1}{\eta} \cdot \left[P_o + (m_p + \eta \cdot m_{gh}) \cdot \frac{g}{A} \right].$$

Volumul gazului variază datorită schimbării temperaturii, deoarece presiunea exterioară exercitată asupra gazului nu variază, adică $P_3 = P_2 = \frac{1}{\eta \cdot A} \cdot [A \cdot P_o + (m_p + \eta \cdot m_{gh}) \cdot g]$.

Deoarece masa și felul de gaz de sub piston nu se schimbă, folosind ecuația de stare a gazului

$$\text{ideal și obținem: } \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_3 \cdot V_3}{T_3} \Rightarrow V_3 = \frac{P_1 \cdot T}{P_3 \cdot T_o} V_1$$

$$\Delta H_{gaz} = \frac{V_3 - V_1}{A} = \left(\frac{P_1}{P_3} \cdot \frac{T}{T_o} - 1 \right) \cdot \frac{V_1}{A}, \text{ unde temperatura } T \text{ este temperatura gazului care}$$

este conform datelor din problemă este egală cu temperatura apei din cămașa pistonului;

$$\frac{V_1}{A} = \frac{\eta \cdot V_i}{A} = \frac{\eta \cdot v \cdot R \cdot T_o}{A \cdot P_o + m_p \cdot g}; \quad \frac{P_1}{P_3} = \frac{A \cdot P_o + m_p \cdot g}{A \cdot P_o + (m_p + \eta \cdot m_{gh}) \cdot g} .$$

Prin urmare pentru nivelului de apă scriem:

$$\Delta H_{gaz} = \left(\frac{P_1}{P_3} \cdot \frac{T}{T_o} - 1 \right) \cdot \frac{V_1}{A} =$$

$$= \left[\frac{A \cdot P_o + m_p \cdot g}{A \cdot P_o + (m_p + \eta \cdot m_{gh}) \cdot g} \cdot \left(273,15 + \frac{m_a \cdot c_a \cdot t_o - m_{gh} \cdot \lambda}{c_a \cdot (m_a + m_{gh})} \right) - T_o \right] \cdot \frac{\eta \cdot v \cdot R}{A \cdot P_o + m_p \cdot g} =$$

$$= \left[\frac{A \cdot P_o + m_p \cdot g}{A \cdot P_o + (m_p + \eta \cdot m_{gh}) \cdot g} \cdot T - T_o \right] \cdot \frac{\eta \cdot v \cdot R}{A \cdot P_o + m_p \cdot g}$$

Folosim calcule preliminare din p.12 și 15

$$(A \cdot P_o + m_p \cdot g) = (25,0 \cdot 10^{-4} \cdot 1,01325 \cdot 10^5 + 4,50 \cdot 9,80665) = 297;$$

$$\eta \cdot v \cdot R = 0,90 \cdot 4 \cdot 8,314 = 29,9;$$

$$(A \cdot P_o + m_p \cdot g + \eta \cdot m_{gh} \cdot g) = 25,0 \cdot 10^{-4} \cdot 1,0132 \cdot 10^5 + 4,50 \cdot 9,8066 + 0,90 \cdot 0,500 \cdot 9,8066 = 302;$$

$$T = 273,15 + \frac{m_a \cdot c_a \cdot t_o - m_{gh} \cdot \lambda}{c_a \cdot (m_a + m_{gh})} = 273,15 + 15,5 = 288,6^\circ K. \text{ În consecință obținem:}$$

$$\Delta H_{gaz} = \left[\frac{297}{302} \cdot 288,6 - 298 \right] \cdot \frac{29,9}{297} = -1,43(m) = -143(cm)$$

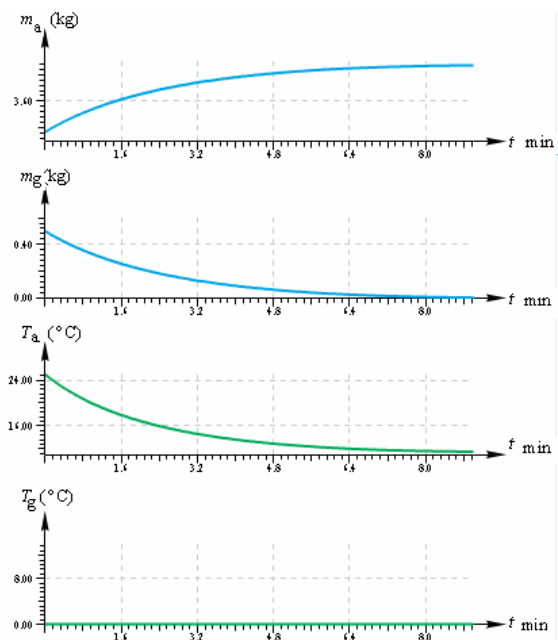
În acord cu soluția din p.12- nivelul apei coboară cu 24 centimetri în raport cu baza cilindrului datorită topirii gheții. Totodată urmează și scăderea temperaturii apei și respectiv micșorarea temperaturii gazului de sub piston de la 25 °C pînă la 15,5 °C. În rezultat pistonul continuă să coboare pînă cînd nivelul apei capătă o variație de 143 centimetri în raport cu baza cilindrului.

Concluzie: Reeșind din soluțiile 12 și 16 conchidem că la introducerea gheții, pentru nivelul de apă se produce următoarea dinamică:

- datorită greutății gheții nivelul apei se ridică în camașă pistonului cu 20 cm, iar pistonul coboară în cilindru cu 44 cm;
- odată cu topirea gheții urmează o tendință de ascensiune a nivelului de apă datorită creșterii volumului de apă în camașă pistonului, însă nivelul apei coboară datorită micșorării volumului de gaz, care la rândul lui este cauzat de răcirea gazului de la 25 °C pînă la 15,5 °C. Astfel denivelarea sumară pentru apă constituie 143 cm.

Răspuns:

$$\Delta H_{gaz} = \left[\frac{A \cdot P_o + m_p \cdot g}{A \cdot P_o + (m_p + \eta \cdot m_{gh}) \cdot g} \cdot \left(273 + \frac{m_a \cdot c_a \cdot t_o}{c_a \cdot (m_a + m_{gh})} - \right. \right.$$



17. Graficile care reprezintă dinamica în timp atât pentru masa de apă și de gheață, cât și pentru temperatura acestora corespunzător sunt prezentate în Figura alăturată.

18. Pentru a determina de câte ori variază volumul ocupat de gaz: când pistonul era deșert (V_i) și când gheața sa topit în apă (V_3) vom calcula raportul volumelor: $N = \frac{V_i}{V_3}$, unde

volumul ocupat de gaz: când pistonul este deșert: $V_i = \frac{\nu \cdot R \cdot T_o \cdot A}{A \cdot P_o + m_p \cdot g}$ (vezi p.4); iar volumul ocupat de gaz: când în piston este apa cu gheața topită, (vezi p.16):

$$V_3 = \frac{P_1 \cdot T}{P_3 \cdot T_o} V_1 = \frac{P_1 \cdot T}{P_3 \cdot T_o} \cdot \eta \cdot V_i = \frac{A \cdot P_o + m_p \cdot g}{A \cdot P_o + (m_p + \eta \cdot m_{gh}) \cdot g} \cdot \left(273,15 + \frac{m_a \cdot c_a \cdot t_o - m_{gh} \cdot \lambda}{c_a \cdot (m_a + m_{gh})} \right) \cdot \eta \cdot V_i.$$

Respectiv raportul volumelor este:

$$N = \frac{V_i}{V_3} = \frac{P_3 \cdot T_o}{P_1 \cdot T} \cdot \frac{V_i}{\eta \cdot V_i} = \frac{A \cdot P_o + (m_p + \eta \cdot m_{gh}) \cdot g}{A \cdot P_o + m_p \cdot g} \cdot \left(273,15 + \frac{m_a \cdot c_a \cdot t_o - m_{gh} \cdot \lambda}{c_a \cdot (m_a + m_{gh})} \right)^{-1} \cdot T_o =$$

$$= T_o \cdot \left(1 + \frac{\eta \cdot m_{gh} \cdot g}{A \cdot P_o + m_p \cdot g} \right) \cdot \left(273,15 + \frac{m_a \cdot c_a \cdot t_o - m_{gh} \cdot \lambda}{c_a \cdot (m_a + m_{gh})} \right)^{-1}$$

Calculare preliminară:

$$\text{În p.15 sa calculat } T = 273,15 + \frac{m_a \cdot c_a \cdot t_o - m_{gh} \cdot \lambda}{c_a \cdot (m_a + m_{gh})} = 273,15 + 15,5 = 288,6^\circ K;$$

$$\left(1 + \frac{\eta \cdot m_{gh} \cdot g}{A \cdot P_o + m_p \cdot g} \right) = 1 + \frac{0,90 \cdot 0,500 \cdot 9,80665}{297} = 1,01$$

$$N = T_o \cdot \left(1 + \frac{\eta \cdot m_{gh} \cdot g}{A \cdot P_o + m_p \cdot g} \right) \cdot \left(273,15 + \frac{m_a \cdot c_a \cdot t_o - m_{gh} \cdot \lambda}{c_a \cdot (m_a + m_{gh})} \right)^{-1} = \frac{T_o}{T} \cdot \left(1 + \frac{\eta \cdot m_{gh} \cdot g}{A \cdot P_o + m_p \cdot g} \right) =$$

$$= \frac{298}{288,6} \cdot 1,01 = 1,04$$

$$\text{Răspuns: } N = T_o \cdot \left(1 + \frac{\eta \cdot m_{gh} \cdot g}{A \cdot P_o + m_p \cdot g} \right) \cdot \left(273,15 + \frac{m_a \cdot c_a \cdot t_o - m_{gh} \cdot \lambda}{c_a \cdot (m_a + m_{gh})} \right)^{-1} = 1,04.$$

Partea D

$$n(P_{gaz}) = n_o + a \cdot P_{gaz} \quad \text{(0,2 puncte)}$$

Autor: Conf. univ. Dr.Igor Evtodiev
 Facultatea de Fizică a USM
 e-mail: ievtodiev@yahoo.com

Primit la redacție: 9 iulie 2008

OLIMPIADA DE FIZICĂ-2007 A STUDENȚILOR UNIVERSITĂȚII TEHNICE A MOLDOVEI

Conf. univ. Dr. Vitalie CHISTOL

Catedra de fizică a Universității Tehnice a Moldovei organizează de mai mulți ani olimpiade de fizică pentru studenții UTM. Olimpiadele sunt destinate pentru două categorii de studenți. Din prima categorie fac parte studenții înmatriculați după absolvirea liceului sau a colegiului care sunt înscriși la anul I, numit universitar (U). Pe parcursul primului an ei studiază cursul general de fizică. Subiectele ce li se propun acestora la concurs (varianta U) cuprind materia studiată până la începutul lunii aprilie, când are loc olimpiada.

Din categoria a doua fac parte absolvenții școlilor medii de cultură generală, care pe parcursul primului an de studiu, numit an liceal (L), studiază materia din cursul liceal de fizică ce nu a fost parcursă în școala generală, pregătindu-se astfel pentru susținerea examenului de bacalaureat. Acestora la olimpiadă li se propun subiecte în limitele cursului liceal de fizică (varianta L).

La olimpiadă participă, de regulă, studenții de la anul I de studii, însă sunt bineveniți și studenții de la anii superiori.

Propunem subiectele de la olimpiada din anul 2007 și soluțiile acestora.

ENUNȚURILE PROBELOR DE CONCURS

Varianta "U"

1. O bară de lungime l și masă m ce are în secțiune un pătrat cu latura a poate să se rotească în jurul unei axe ce trece la distanța $1,5l$ de la capătul apropiat al ei, perpendicular pe axa de simetrie a barei și paralel cu una din laturile pătratului. Determinați momentul de inerție al barei în raport cu această axă, considerând bara subțire. Care trebuie să fie raportul dintre lungimea barei și latura pătratului pentru ca eroarea relativă comisă la calcularea momentului de inerție în cazul neglijării dimensiunilor transversale ale barei să nu depășească valoarea de 1%?

2. Un fir conductor infinit lung este încărcat cu sarcină de densitate liniară τ . O particulă mică de masă m încărcată electric se află în repaus deasupra firului la distanța r de la el. Aflați sarcina particulei și perioada oscilațiilor mici ale ei, dacă particula poate să se deplaseze doar de-a lungul verticalei.

3. Într-un vas, sub un piston, la temperatura $T_1 = 350\text{ K}$ se află 3 moli de gaz ideal monoatomic. Volumul gazului se micșorează adiabatic de 2 ori. Aria totală a suprafețelor pereților vasului (inclusiv a pistonului), care după comprimare se află în contact cu gazul este $S = 0,2\text{ m}^2$. Grosimea pereților vasului este $\Delta x = 1\text{ cm}$.

a) Aflați temperatura gazului la sfârșitul comprimării adiabatice.

b) În cât timp după comprimare temperatura gazului va reveni la cea inițială? Coeficientul conductivității termice a pereților vasului $\lambda = 0,5\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, temperatura mediului exterior se menține constantă $T_0 = 300\text{ K}$.

4. Într-un vas se află lichid de densitate ρ_0 , în care sunt suspendate particule coloidale de densitate ρ . Vasul se rotește într-o centrifugă în jurul unei axe verticale cu viteza unghiulară ω .

a) Obțineți expresia pentru distribuția concentrației particulelor coloidale în direcția perpendiculară pe axa de rotație.

b) Dacă se știe că la distanța r_1 de la axa de rotație concentrația particulelor este n_1 , iar la distanța r_2 concentrația este n_2 , determinați masa unei particule coloidale. Temperatura lichidului este T .

5. O spiră pătrată cu latura $a = 10$ cm se află în același plan cu un conductor rectiliniu infinit lung, prin care circulă un curent cu intensitatea $I = 1$ A. Latura cea mai apropiată a spirei se află la distanța $r = 5$ cm de la conductor (fig.1).

a) Calculați inducția câmpului magnetic creat de conductor în centrul spirei.

b) Intensitatea curentului electric prin conductor începe să crească liniar. Aflați viteza de creștere a curentului electric, pentru ca în spiră să se inducă o t.e.m. $\varepsilon = 1$ V.

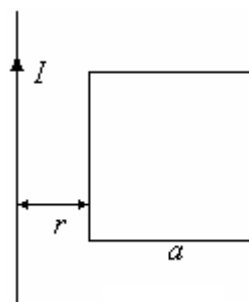


Fig.1

Varianta "L"

1. Un corp de masă $m = 1$ kg este prins între două resorturi identice cu constanta de elasticitate $k = 100$ N/m. Resorturile pot aluneca fără frecări de-a lungul a două bare aflate în același plan vertical și înclinate sub un unghi α față de verticală (fig.2). Resorturile sunt fixate în poziția, în care ele sunt comprimate cu $x = 5$ cm. Aflați forța care acționează asupra corpului din partea fiecărui resort. Pentru ce valori ale unghiului α sistemul se va deplasa în sus după eliberarea resorturilor?

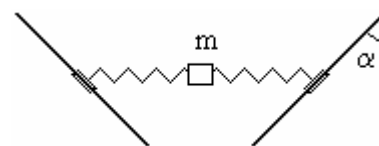


Fig.2

2. Un cilindru este împărțit în două părți egale printr-un perete subțire AB. De o parte a peretelui se află un mol de gaz ideal la presiunea $p_0 = 3 \cdot 10^5$ Pa și volumul $V_0 = 8,31$ L. De cealaltă parte este vid (fig.3). Peretele se înlătură brusc. După dilatare gazul este încălzit din exterior până când presiunea lui devine egală cu presiunea inițială. Aflați temperatura gazului în stările inițială și cea finală.

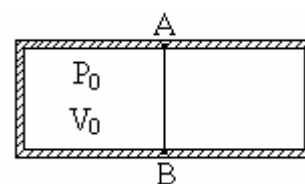


Fig.3

3. Un circuit electric este alcătuit din două surse cu t.e.m. $\varepsilon_1 = 6$ V, $\varepsilon_2 = 4$ V și două rezistoare cu rezistențele $R_1 = 12 \Omega$ și $R_2 = 4 \Omega$ (fig.4). Determinați intensitatea curentului electric din circuit. Modificând valoarea rezistenței R_2 determinați pentru ce valori ale acestei rezistențe tensiunea între punctele A și B ale circuitului va fi egală cu 2 V; -2 V. În ce sens va circula curentul electric prin porțiunea AB în fiecare caz? Rezistențele interioare ale surselor se neglijează.

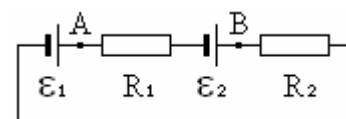


Fig.4

4. Accelerația gravitațională la polii unei planete de formă sferică este g_0 . Accelerația centripetă la ecuatorul ei este $\frac{7}{16}g_0$. Determinați perioada oscilațiilor unui pendul gravitațional de lungime l la polii și ecuatorul planetei. La ce înălțime de la suprafața polilor planetei perioada oscilațiilor pendulului va fi egală cu perioada oscilațiilor la suprafața ei la ecuator? Raza planetei este R .

5. Fenomenul de dispersie se observă la trecerea luminii printr-o prismă optică. Putem oare observa fenomenul de dispersie la trecerea luminii printr-o placă transparentă cu fețele plan-paralele? Calculați lățimea spectrului obținut la trecerea unui flux îngust de raze de lumină printr-o astfel de placă, dacă grosimea ei este $d = 10$ mm, iar unghiul de incidență al razelor de lumină $\alpha = 45^\circ$. Pentru ce grosime a plăcii de sticlă lățimea spectrului va fi egală cu 1 cm? Indicele de refracție al sticlei pentru lumina roșie $n_1 = 1,51$, iar pentru cea violetă – $n_2 = 1,53$.

SOLUȚII

Varianta "U"

1U

Conform teoremei lui Steiner, momentul de inerție al barei considerată subțire, în raport cu axa care trece prin punctul O (fig.5) este

$$I = \frac{1}{12}ml^2 + m\left(\frac{l}{2} + \frac{l}{3}\right)^2 = \frac{7}{9}ml^2.$$

Dacă dimensiunile transversale ale barei nu pot fi neglijate, atunci, pentru a afla momentul de inerție al barei I' , împărțim bara în plăci foarte subțiri de masă dm și grosime dx . Momentul de inerție al unei plăci este

$$dI' = \frac{1}{12}dma^2 + dmx^2 = \frac{1}{12}\rho S dx a^2 + \rho S dx x^2, \text{ unde } S - \text{aria secțiunii}$$

transversale a barei. Integrând ultima expresie:

$$I' = \frac{1}{12}\rho S a^2 \int_d^{d+l} dx + \rho S \int_d^{d+l} x^2 dx, \text{ obținem}$$

$$I' = \frac{1}{12}ma^2 + \frac{\rho S l}{3}(l^2 + 3d^2 + 3dl).$$

Deoarece $d = 1,5l$, iar $\rho S l = m$, avem

$$I' = \frac{1}{12}ma^2 + \frac{1}{3}m\left(l^2 + 3\frac{l^2}{9} + 3\frac{l^2}{3}\right) = \frac{1}{12}ma^2 + \frac{7}{9}ml^2.$$

Eroarea pe care o comitem considerând bara subțire este

$$\varepsilon = \frac{I' - I}{I'} \cdot 100\% = \frac{\frac{1}{12}ma^2 + \frac{7}{9}ml^2 - \frac{7}{9}ml^2}{\frac{1}{12}ma^2 + \frac{7}{9}ml^2} \cdot 100\% = \frac{1}{1 + \frac{28l^2}{3a^2}} \cdot 100\% = 1\%.$$

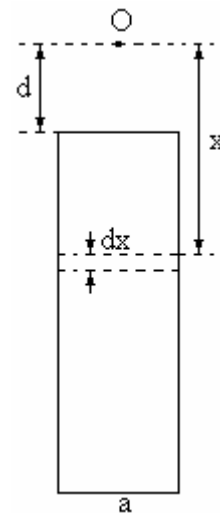


Fig.5

$$\text{Din ultima expresie obținem } 100 = 1 + \frac{28l^2}{3a^2}, \quad \frac{l}{a} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{33}{7}} = 3,26.$$

2U

În starea de echilibru $mg = F$, unde F reprezintă forța ce acționează din partea firului încărcat asupra sarcinii: $F = qE = q \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0 r}$.

$$\text{Atunci } mg = q \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0 r} \quad \text{și} \quad q = \frac{4\pi\epsilon_0 mgr}{\tau}.$$

Deplasând particula cu Δr spre fir, asupra ei din partea firului va acționa forța

$$F' = q \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0 (r + \Delta r)}.$$

Rezultanta forțelor care acționează asupra particulei la distanța $r - \Delta r$ de la fir este

$$F' - mg = F + \Delta F - mg = \Delta F.$$

$$\Delta F = F' - F = q \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0 (r + \Delta r)} - q \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{q\tau}{4\pi\epsilon_0} \frac{\Delta r}{(r - \Delta r)r}.$$

$$\text{Pentru } \Delta r \text{ foarte mic obținem } \Delta F = \frac{q\tau}{4\pi\epsilon_0} \frac{\Delta r}{r^2}.$$

În ultima expresie înlocuim valoarea lui q :

$$\Delta F = \frac{4\pi\epsilon_0 mgr}{\tau} \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0} \frac{\Delta r}{r^2} = \frac{mg}{r} \Delta r.$$

$$\text{Notăm } k = \frac{mg}{r} \text{ și obținem } \Delta F = k\Delta r$$

Din ultima expresie se observă că forța ΔF este o forță cvasielastică. Sub acțiunea unei astfel de forțe particula va efectua oscilații, a căror perioadă este

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{mr}{mg}} = 2\pi \sqrt{\frac{r}{g}}.$$

3U

a). Pentru procesul adiabetic $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$.

Pentru gazul monoatomic $i = 3$ și $\gamma = \frac{i+2}{i} = \frac{5}{2}$. Atunci

$$T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} T_1 = 2^{\frac{5}{2}-1} \cdot 350 = 560 \text{ K}.$$

b). Cantitatea de căldură ce trece prin pereții vasului în intervalul de timp dt este

$$dQ = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} S dt.$$

$$\text{Căldura schimbată de gaz } dQ = \frac{i}{2} \nu R dT.$$

Egalând părțile drepte ale ultimelor două expresii, obținem

$$dt = -\frac{i\nu R \Delta x}{2\lambda S} \cdot \frac{dT}{T - T_0} = -\frac{i\nu R \Delta x}{2\lambda S} \cdot \frac{d(T - T_0)}{T - T_0}. \text{ Integrăm expresia obținută:}$$

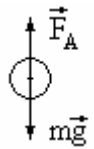
$$t = -\frac{i\nu R\Delta x}{2\lambda S} \cdot \int_{T_2}^{T_1} \frac{d(T-T_0)}{T-T_0} = \frac{i\nu R\Delta x}{2\lambda S} \cdot \ln \frac{T_2-T_0}{T_1-T_0}.$$

$$t = \frac{3 \cdot 3 \cdot 8,31 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 0,1 \cdot 0,2} \cdot \ln \frac{560-300}{350-300} = 31 \text{ s}.$$

4U

a). Forța rezultantă ce acționează asupra unei particule coloidale din lichid în câmpul forțelor de greutate este (fig.6)

$$F = F_A - mg = \rho_0 gV - \rho gV = (\rho_0 - \rho) gV = (\rho_0 - \rho) \frac{m}{\rho} g.$$



La rotația în centrifugă particula posedă accelerația centripetă $a = \omega^2 r$.

Analogic obținem $F = (\rho_0 - \rho) \frac{m}{\rho} \omega^2 r$.

Fig.6

Energia potențială,

$$E_p = -\int dL = -\int Fdr = -\int (\rho_0 - \rho) \frac{m}{\rho} \omega^2 r dr = -\frac{1}{2} (\rho_0 - \rho) \frac{m}{\rho} \omega^2 r^2.$$

Particulele se supun distribuției Boltzmann $n = n_0 e^{\frac{E_p}{kT}} = n_0 e^{-\frac{(\rho_0 - \rho)m\omega^2 r^2}{2\rho kT}}$.

b). Pentru concentrațiile moleculelor n_1 și n_2 avem:

$$n_1 = n_0 e^{-\frac{(\rho_0 - \rho)m\omega^2 r_1^2}{2\rho kT}}, \quad n_2 = n_0 e^{-\frac{(\rho_0 - \rho)m\omega^2 r_2^2}{2\rho kT}}.$$

Împărțind ultimele două ecuații una la alta și logaritmand rezultatul, obținem formula pentru determinarea masei particulei coloidale:

$$m = \frac{2\rho kT \ln \frac{n_1}{n_2}}{(\rho_0 - \rho)\omega^2 (r_1^2 - r_2^2)}.$$

5U

a). Inducția câmpului magnetic creat de un conductor de lungime infinită $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0}$,

unde $-r_0 = r + a/2$. Înlocuind valoarea lui r_0 , obținem

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi(r + a/2)}, \quad B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi(5 \cdot 10^{-2} + 5 \cdot 10^{-2})} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ T}.$$

b). Evidențiem un element de suprafață a spirei de lățime dx (fig.7). Fluxul magnetic prin această suprafață

$$d\Phi = BdS = Badx = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} adx.$$

Pentru a obține fluxul magnetic prin întreaga spirală, integrăm ecuația obținută:

$$\Phi = \frac{\mu_0 Ia}{2\pi} \int_{r_0}^{r_0+a} \frac{dx}{x}, \quad \Phi = \frac{\mu_0 Ia}{2\pi} \ln \frac{r_0 + a}{r_0}.$$

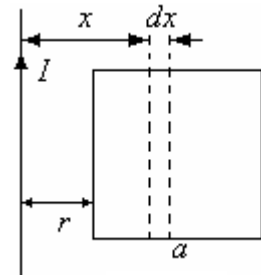


Fig.7

Tensiunea electromotoare care apare în spirală la variația fluxului

magnetic prin ea $\varepsilon = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = \frac{\mu_0 a}{2\pi} \ln \frac{r_0 + a}{r_0} \left| \frac{dI}{dt} \right|$. Din această ecuație obținem

$$\frac{dI}{dt} = \frac{2\pi\varepsilon}{\mu_0 a \ln \frac{r_0 + a}{r_0}}, \quad \frac{dI}{dt} = \frac{2\pi}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \ln \frac{5 \cdot 10^{-2} + 10 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-2}}} = 9,1 \cdot 10^7 \text{ A/s}$$

Varianta "L"

1L

Fiecare resort acționează asupra corpului cu forța $F = kx$, $F = 100 \cdot 0,05 = 5 \text{ N}$

Energia resorturilor comprimate este $E_1 = 2 \frac{kx^2}{2} = kx^2$.

Deplasăm sistemul în sus cu Δx infinit de mic. Atunci

$$E_2 = kx_1^2 = k(x - \Delta x)^2.$$

Energia potențială a arcurilor se va micșora cu $\Delta E_1 = k \left[x^2 - (x - \Delta x)^2 \right] = k(2x\Delta x - \Delta x^2)$. Însă $\Delta x^2 \approx 0$, deci $\Delta E_1 = 2kx\Delta x$.

Din fig.2 se observă că $\Delta x = \Delta h \operatorname{tg} \alpha$. Atunci $\Delta E_1 = 2kx\Delta h \operatorname{tg} \alpha$. Energia potențială a corpului va crește cu $\Delta E_2 = mg\Delta h$.

Arcurile se vor deplasa în sus în cazul când $\Delta E_1 > \Delta E_2$. Atunci

$$2kx\Delta h \operatorname{tg} \alpha > mg\Delta h, \text{ sau } 2kx \operatorname{tg} \alpha > mg,$$

de unde

$$\operatorname{tg} \alpha > \frac{mg}{2kx}, \quad \operatorname{tg} \alpha > \frac{10}{2 \cdot 100 \cdot 0,05} = 1. \quad \alpha > 45^\circ.$$

2L

Din ecuația de stare a gazului ideal obținem temperatura gazului în starea inițială:

$$T_0 = \frac{P_0 V_0}{\nu R}, \quad T_0 = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 8,31 \cdot 10^{-3}}{8,31} = 300 \text{ K}$$

În starea finală presiunea gazului este aceeași, iar volumul este de două ori mai mare. De aceea $T = \frac{P_0 \cdot 2V_0}{\nu R} = 2T_0 = 600 \text{ K}$.

3L

Intensitatea curentului electric din circuit poate fi determinată din legea lui Ohm pentru circuitul întreg:

$$I = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{R_1 + R_2}, \quad I = \frac{6 + 4}{12 + 4} = 0,425 \text{ A}$$

Tensiunea electrică între punctele A și B este

$$U = IR_1 - \varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{R_1 + R_2} R_1 - \varepsilon_2. \text{ De aici obținem } R_2 = \frac{\varepsilon_1 - U}{\varepsilon_2 + U} R_1$$

$$1). R_2 = \frac{6 - 2}{4 + 2} 12 = 8 \Omega, \quad 2). R_2 = \frac{6 + 2}{4 - 2} 12 = 48 \Omega$$

În ambele cazuri curentul electric prin porțiunea AB va circula în același sens (de la A spre B).

4L

Perioada oscilațiilor pendulului la polii planetei T_p și, respectiv, la ecuatorul ei T_e , este

$$T_p = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_0}}, \text{ și } T_e = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_0 - 7/16g_0}} = 2\pi \sqrt{\frac{16l}{9g_0}} = \frac{8\pi}{3} \sqrt{\frac{l}{g_0}}.$$

Accelerația gravitațională la suprafața planetei $g_0 = \frac{GM}{R^2}$, iar la înălțimea h este

$$g = \frac{GM}{(R+h)^2} = \frac{g_0 R^2}{(R+h)^2}.$$

Perioada oscilațiilor pendulului la înălțimea h la polii planetei este

$$T_{p1} = 2\pi \sqrt{\frac{l(R+h)^2}{g_0 R^2}}.$$

Conform enunțului problemei $T_{p1} = T_e$. Rezultă:

$$2\pi \sqrt{\frac{l(R+h)^2}{g_0 R^2}} = \frac{8\pi}{3} \sqrt{\frac{l}{g_0}}, \text{ sau } \frac{(R+h)}{R} = \frac{4}{3}, \text{ } h = \frac{4}{3}R - R = \frac{1}{3}R$$

5L

În urma dispersiei, lumina roșie se refractă sub unghiul β_1 , iar cea violetă – sub unghiul β_2 . Lățimea spectrului obținut este $l = \Delta x \cos \alpha$.

Din figura 8 se observă că $\Delta x = x_1 - x_2 = d \operatorname{tg} \beta_1 - d \operatorname{tg} \beta_2$.

$$\text{iar } \operatorname{tg} \beta = \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \frac{\sin \beta}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}} = \frac{\sin \alpha}{n \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}}} = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}.$$

Din aceste expresii obținem formula pentru calcularea lățimii spectrului

$$l = d \cos \alpha \left(\frac{\sin \alpha}{\sqrt{n_1^2 - \sin^2 \alpha}} - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n_2^2 - \sin^2 \alpha}} \right).$$

$$l = d \frac{\sqrt{2}}{2} \left(\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\sqrt{(1,51)^2 - \frac{1}{2}}} - \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\sqrt{(1,53)^2 - \frac{1}{2}}} \right) =$$

$$= d \frac{1}{2} \left(\frac{1}{1,3342} - \frac{1}{1,3568} \right) = d \frac{1}{2} (0,7495 - 0,737).$$

Așadar $l = d \cdot 0,0063 = 0,063 \text{ mm}$.

Se observă că lățimea spectrului este foarte mică. Deci, practic, fenomenul de dispersie nu poate fi observat. Din ultima expresie obținem grosimea plăcii de sticlă pentru care lățimea spectrului va fi egală cu 1 cm:

$$d = \frac{l}{0,0063} = \frac{1}{0,0063} = 159 \text{ cm} = 1,59 \text{ m}.$$

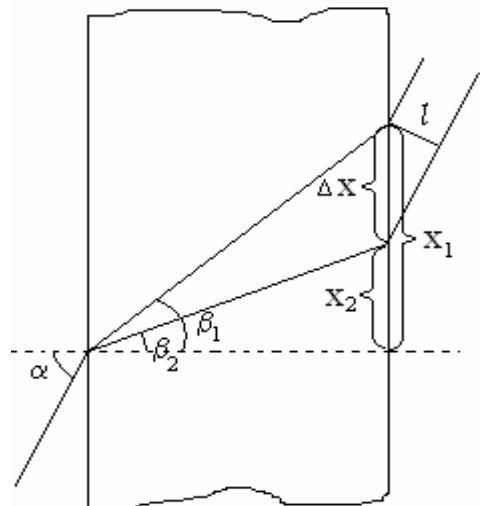


Fig.8

Primit la redacție: 15 aprilie 2008

PROBLEME DE MECANICĂ TEORETICĂ REZOLVATE

Conf. univ. dr. Leonid CAIREAC
 Grad didactic superior
 Laboratorul „Sinergică”
 Universitatea de Stat din Moldova

În dinamica corpului solid există probleme mixte, a căror rezolvare presupune aplicarea a mai multor legi fizice, de regulă, a legilor de conservare. Complexitatea acestui tip de probleme rezidă în alegerea argumentată a legilor corespunzătoare și exprimarea în formă analitică a legăturilor mecanice, la care sânt supuse corpurile sistemului considerat. În cele ce urmează se propune rezolvarea a două probleme de acest fel, din culegerea [1].

Problema 9.75. Un punct material, B, de masă m se află într-un tub circular de rază R , atașat de un cărucior de masă $M = 2m$, care se poate deplasa pe o suprafață orizontală (fig. 1). La momentul inițial punctul material se află în poziția superioară C, întregul sistem fiind în repaus.

Să se determine viteza căruciorului și viteza absolută a punctului în două momente de timp, când punctul material este în poziția D și în poziția E. Se neglijează forțele de rezistență la mișcarea punctului material în tub și a căruciorului pe planul orizontal.

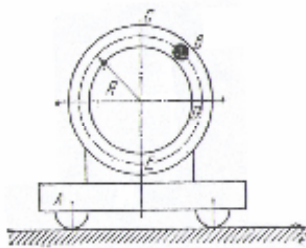


Fig. 1

Rezolvare.

a) Poziția D. Considerăm că referențialul solidar cu Pământul este inerțial.

Aplicăm legea conservării impulsului sistemului, în proiecție pe axa Ox. Deoarece impulsul inițial al sistemului $P_i = 0$, iar impulsul final $P_f = Mv + mv$, unde v este viteza căruciorului față de Pământ, avem:

$$P_i = P_f \text{ sau } 0 = Mv + mv, \text{ adică } v = 0 \tag{1}$$

Aplicăm legea conservării energiei mecanice. Energia inițială (potențială) este $E_i = mg \cdot 2R$, iar energia finală

$$E_f = mgR + m(V + v)^2/2 + Mv^2/2, \tag{2}$$

unde V este viteza punctului material în raport cu tubul.

Din sistemul de ecuații (1) și (2) rezultă:

$$V = \sqrt{2gR}$$

Căruciorul fiind nemișcat ($v = 0$), viteza relativă V a punctului este egală cu viteza ei absolută:

b) Poziția E. Scriem legea conservării impulsului, proiectată pe axa Ox:

$$Mv + m(v - V) = 0 \tag{3}$$

și legea conservării energiei mecanice:

$$mg2R = Mv^2/2 + m(v - V)^2/2 \tag{4}$$

Din ecuațiile (3) și (4) găsim:

$$V = 2m \cdot gR/M(M + m)$$

2 Probleme

$$V = 2M \quad gR/M(M + m)$$

Viteza absolută a punctului material în această poziție va fi $V-v$.

Problema 9.77. Axul C al unui cilindru omogen A de masă $2m$, care se poate rostogoli fără alunecare pe o suprafață orizontală rugoasă, este legat prin intermediul unui resort cu coeficientul de rigiditate k de un corp B cu masa m , situat pe un plan orizontal neted. În momentul inițial resortul este alungit cu mărimea λ , după care cilindrul și corpul sunt lăsați liber fără viteză inițială.

Să se determine viteza axului cilindrului C în momentul când deformația resortului se anulează. Frecarea la rostogolire se neglijează.

Rezolvare.

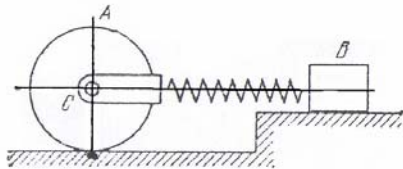


Fig. 2

Considerăm referențialul inerțial legat cu Pământul. Aplicăm sistemului legea conservării energiei mecanice. Energia inițială (potențială) este $E_i = k\lambda^2/2$, iar energia finală (cinetică)

$$E_f = mV^2/2 + MV_c^2/2 + I_c\omega^2/2,$$

unde V este viteza corpului, V_c – viteza axului față de Pământ; I_c – momentul de inerție al cilindrului față de axa C; ω – viteza unghiulară a cilindrului.

Conform legii conservării energiei mecanice, $E_i = E_f$, avem

$$k\lambda^2/2 + MV_c^2/2 + I_c\omega^2/2$$

Ținând cont de condiția de rostogolire fără alunecare a cilindrului, $\omega = V_c/R$, și de expresia $I_c = mR^2/2$, obținem:

$$k\lambda^2/2 = mV^2/2 + 3MV_c^2/4 = mV^2/2 + 3mV_c^2/2 \quad (1)$$

unde R este raza cilindrului.

Aplicăm legea conservării momentului impulsului sistemului față de punctul de contact O al cilindrului cu suprafața rugoasă.

Momentul impulsului inițial $I_o\omega = 0$, iar momentul impulsului final

$$I_o\omega - mVR.$$

Deci,

$$0 = I_o\omega - mVR$$

de unde

$$V = I_o\omega/mR.$$

Substituind $I_o = I_c + MR^2$ (conform teoremei lui Steiner) și $\omega = V_c/R$, reiese:

$$V = 3V_c \quad (2)$$

Din (1) și (2) obținem:

$$V_c = \lambda/2 \quad k/3m.$$

BIBLIOGRAFIE.

1. Сборник задач по теоретической механике. Под ред. С. Колесникова. М., Наука, 1983.
2. Стрелков С. П. Механика. М., Наука, 1975.

Primit la redacție: 20 decembrie 2008

PROBLEME CU DEPENDENȚA LINIARĂ ÎNTRU PRESIUNEA GAZULUI IDEAL ȘI VOLUM

Prof. Ion SCUTELNIC, Grad didactic superior
Liceul „Mihai Eminescu” Făleşti

Pe lângă problemele tradiționale în care:

1) presiunea unei mase de gaz ideal este direct proporțională cu temperatura absolută la volum constant (transformarea izocoră);

2) volumul unei mase de gaz este direct proporțională cu temperatura absolută la presiunea constantă (transformarea izobară);

3) presiunea unei mase de gaz ideal este invers proporțională cu volumul la temperatura constantă (transformarea izotermă), -

un interes aparte prezintă problemele în care presiunea unei mase de gaz ideal este funcție liniară de volumul lui. Aceste probleme au un grad de dificultate ridicat și pot fi rezolvate în cadrul orelor facultative, al cercului de fizică, al pregătirii elevilor pentru participarea la concursuri și olimpiade.

I. Probleme în care presiunea unei mase de gaz ideal este direct proporțională cu volumul gazului.

Problema 1. O masă de heliu este supusă transformării 1-2 în care volumul este direct proporțional cu presiunea gazului.

(Fig.1). Se cunosc: temperatura T_1 ; Se știe că $p_2 = 3 p_1$.

Determinați T_2 . Reprezentați transformarea în coordonatele p , T .

Propuneți un dispozitiv în care s-ar putea realiza transformarea 1-2.

Rezolvare.

Deoarece $p \sim V$, rezultă că $V_2 = 3 V_1$. Din ecuația termică de stare

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, \text{ obținem } T_2 = 9T_1;$$

Pentru a reprezenta transformarea în coordonatele p ; T , trebuie stabilită dependența $p(T)$ pe 1-2. Deoarece $p \sim V$, scriem $p = \alpha V$; (1), unde α este un coeficient de proporționalitate

și ecuația de stare $pV = \nu RT$;

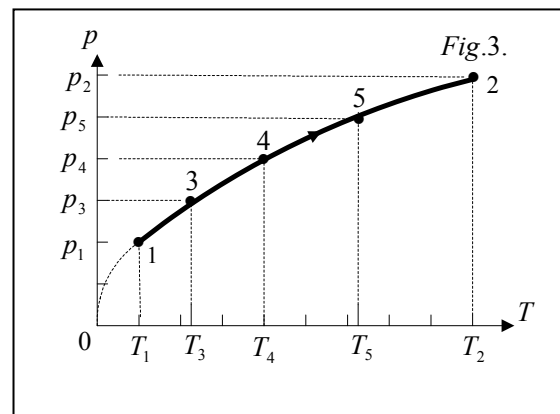
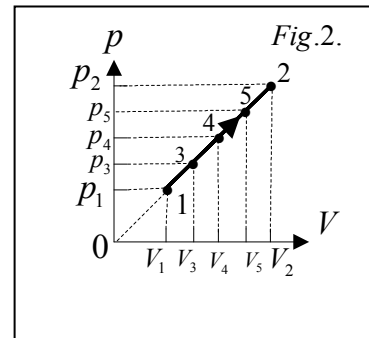
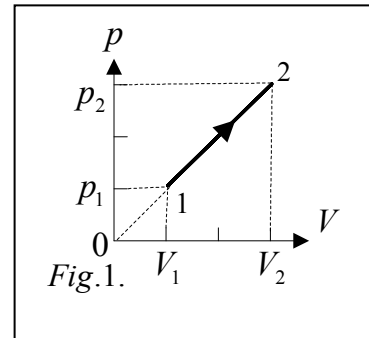
(2)

Rezolvând sistemul de ecuații (1) - (2), obținem $p^2 = \alpha \nu RT$;

sau $p^2 = \beta T$; unde $\beta = \alpha \nu R$ este un coeficient de proporționalitate.

Conchidem că graficul $p(T)$ reprezintă o parabolă.

Din ecuațiile termice de stare, scrise pentru



4 Probleme

punctele 3, 4, 5

(Fig. 2.) și p.1, determinăm temperaturile în aceste puncte:

p.3. $V_3 = 1,5 V_1$; $p_3 = 1,5 p_1$ și $T_3 = 2,25 T_1$;

p.4. $V_4 = 2V_2$; $p_4 = 2 p_2$ și $T_4 = 4T_1$;

p.5. $V_5 = 2,5 V_2$; $p_5 = 2,5 p_2$

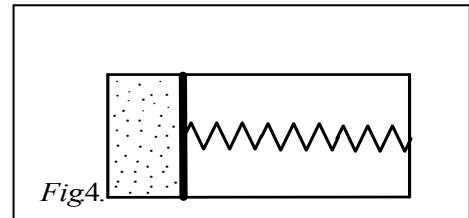
și $T_5 = 6,25 T_1$;

Trasăm graficul presiunii gazului în funcție de temperatura lui (Fig.3).

Transformarea în care presiunea gazului este direct proporțională cu volumul lui se poate realiza în următoarea instalație: în interiorul unui vas cilindric orizontal închis la ambele capete se află un piston care se mișcă fără frecare. Pistonul este legat de un capăt al cilindrului printr-un resort, lungimea căruia în stare nedeformată este egală cu lungimea cilindrului.

În partea vasului unde se află resortul este vid, iar volumul dintre piston și celălalt capăt este ocupat de un gaz (Fig.4).

Se cunosc: k – constanta elastică a resortului, S – aria secțiunii transversale a pistonului (și a vasului cilindric).

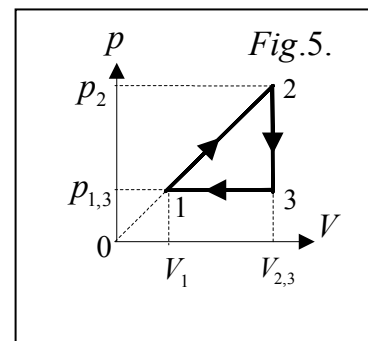


Propunem cititorului să demonstreze că la încălzirea gazului cresc concomitent și volumul și presiunea lui, adică $p = \alpha \cdot V$, unde $\alpha = \frac{k}{S^2}$ este un coeficient de proporționalitate.

Problema 2. În transformarea ciclică

1 - 2 - 3 - 1 (Fig. 5) sunt cunoscute temperaturile T_1 și T_3 ale unei mase de gaz ideal. Determinați temperatura T_2 .

Reprezentați transformarea în coordonatele p, T și V, T .



Rezolvare.

Scriem relația pentru transformarea izocoră 2-3:

$$\frac{p_2}{p_{1,3}} = \frac{T_2}{T_3} \quad (1)$$

pentru transformarea izobară 3-1:

$$\frac{V_1}{V_{2,3}} = \frac{T_1}{T_3}; \quad (2)$$

și pentru transformarea 1-2 în care presiunea gazului este direct proporțională cu volumul lui:

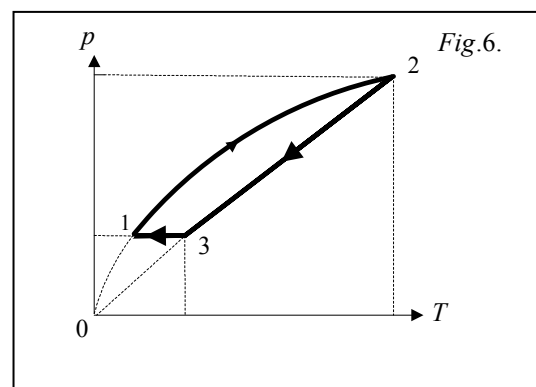
$$\frac{p_2}{p_{1,3}} = \frac{V_{2,3}}{V_1}; \quad (3)$$

Rezolvând sistemul de ecuații (1) – (3), obținem

$$T_2 = \frac{T_3^2}{T_1}.$$

Reprezentăm transformarea 1-2-3-1 în coordonatele p, T .

1-2. Transformare în care presiunea gazului crește direct proporțională cu volumul lui ($p \sim V$), iar dependența presiunii gazului de temperatură pe 1-2 este $p^2 = \beta T$, sau $T = \beta^{-1} \cdot p^2$.



(vezi rezolvarea problemei precedente.) Graficul dependenței $p(T)$ în coordonatele p, T este o parabolă simetrică față de axa temperaturii.

Reprezentăm 2-3, răcire izocoră, și 3-1, răcire izobară (Fig. 6), în coordonatele V, T . Așa cum în transformarea 1-2, $p \sim V$, scriem $p = \alpha V$; (1)

α – un coeficient de proporționalitate și ecuația termică de stare $pV = \nu RT$; (2)

Rezolvând sistemul de ecuații (1) - (2), obținem

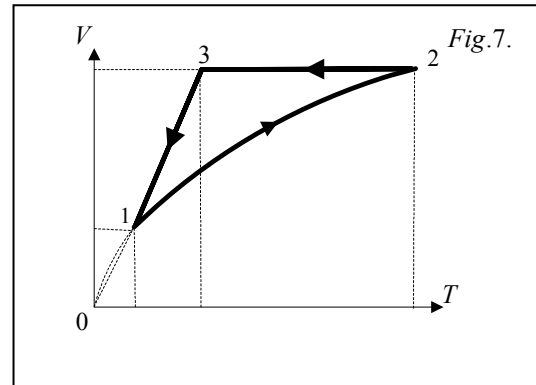
$$V^2 = \nu RT / \alpha$$

sau $V^2 = \gamma T$ ori $T = \gamma^{-1} \cdot V^2$.

unde $\gamma = \nu R / \alpha$ este un coeficient de proporționalitate

Conchidem că graficul $V(T)$ (1-2) reprezintă o parabolă simetrică față de axa temperaturii.

Reprezentăm 2-3, răcire izocoră, și 3-1, răcire izobară (Fig. 7).



II. Probleme în care presiunea unei mase de gaz ideal este o funcție liniară de volumul gazului.

Problemele se pot propune elevilor când se studiază transformarea izotermă a gazului ideal.

Problema 1. Cum a variat temperatura unui mol de gaz monoatomic ideal supus transformării 1-2 (Fig. 8) ?

Rezolvare

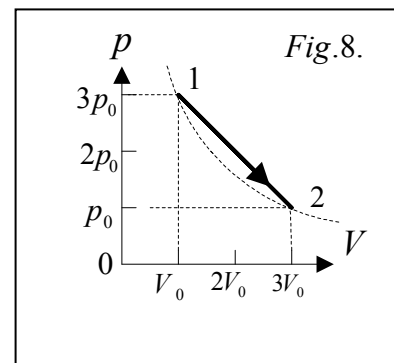
Observăm că punctele 1 și 2 se află pe o izotermă, deoarece

$$p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

Orice altă izotermă care intersectează segmentul 1-2, ori este tangentă la el (în punctul unde temperatura este maximă), ori se află

mai sus. Rezultă că în transformarea 1-2 temperatura mai întâi crește

de la T_1 pînă la T_{max} , apoi scade pînă la $T_2 = T_1$.



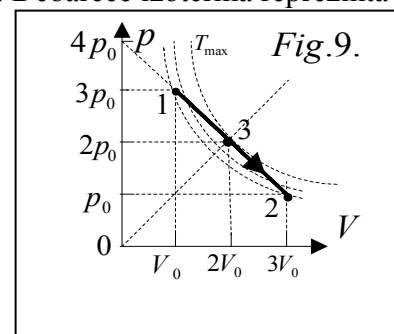
Problema 2. Cum poate fi determinată temperatura maximă T_3 a gazului în transformarea 1-2 (Fig. 8) ?

Rezolvare: Trasăm câteva izoterme (Fig. 9): mai întâi pe cea care trece prin 1 și 2, ultima - cea care atinge segmentul 1-2 într-un singur punct (3). Deoarece izoterma reprezintă o hiperbolă simetrică, rezultă că p. 3 se află la mijlocul segmentului 1-2. Scriem pentru p.3:

$$p_3 V_3 = \nu RT_3$$

$$\text{sau } 4p_0 V_0 = \nu RT_3,$$

de unde
$$T_{max} = T_3 = \frac{4p_0 V_0}{\nu R}.$$



Problema 3. Care este dependența presiunii gazului de volumul lui în transformarea 1-2 (Fig. 9) ?

6 Probleme

Rezolvare: Scriem ecuația dreptei ce trece prin punctele

1 ($V_0; 3p_0$) și 2 ($3V_0; p_0$).

$$pV = a \cdot V + b;$$

unde a și b sunt coeficienți: $a = \operatorname{tg} \alpha$; α – unghiul dintre segmentul 1-2 și axa volumelor; b – coordonata punctului de intersecție a dreptei cu axa presiunilor.

Scriem pentru punctele 1 și 2:

$$\begin{cases} p_1 = a \cdot V_1 + b; \\ p_2 = a \cdot V_2 + b; \end{cases}$$

Rezolvăm sistemul de ecuații și determinăm coeficienții a și b :

$$a = \frac{p_1 - p_2}{V_1 - V_2} = \frac{3p_0 - p_0}{V_0 - 3V_0} = -\frac{p_0}{V_0}; \quad b = \frac{p_2 V_1 - p_1 V_2}{V_1 - V_2} = \frac{p_0 V_0 - 3p_0 \cdot 3V_0}{V_0 - 3V_0} = 4p_0;$$

Ecuația dreptei (transformarea 1-2, din fig. 9) este $p = -\frac{p_0}{V_0} V + 4p_0$;

Problema 4. Un mol de gaz ideal monoatomic este supus transformării 1-2 (Fig. 10). Determinați temperatura maximă a gazului. Ce cantitate de căldură a absorbit gazul la încălzire și ce cantitate a cedat la răcire? Ce cantitate de căldură a schimbat gazul cu mediul în transformarea 1-2?

Rezolvare.

Punctele 1 și 2 se află pe izotermă, deoarece

$$p_1 V_1 = p_2 V_2;$$

În transformarea 1-2 temperatura crește de la T_1 la T_3 , apoi scade până la $T_2 = T_1$;

$T_{\max} = T_3$ se poate obține mai simplu astfel:

punctul în care temperatura în transformarea 1-2 este maximă se află la mijlocul segmentului 1-2, deoarece izoterma este o hiperbolă simetrică în raport cu bisectoarea și are coordonatele $p_3 = 3p_0$, $V_3 = 3V_0$.

Din ecuația de stare pentru acest punct obținem

$$T_{\max} = 9p_0 V_0 / \nu R$$

Pentru a răspunde la celelalte întrebări, vom avea nevoie de ecuația presiunii gazului în funcție de volum, $p(V)$, și de ecuația dependenței temperaturii gazului de volumul lui $T(V)$. Scriem ecuația transformării 1-2 (vezi rezolvarea problemei precedente):

$$p(V) = aV + b;$$

unde a și b sunt coeficienți: $a = \operatorname{tg} \alpha$; α – unghiul dintre segmentul 1-2 și axa volumelor; b – coordonata punctului de intersecție a dreptei cu axa presiunilor.

Scriem pentru punctele 1 și 2:

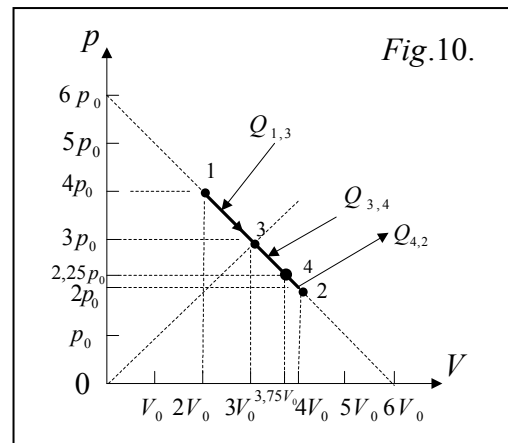
$$\begin{cases} p_1 = aV_1 + b; \\ p_2 = aV_2 + b; \end{cases}$$

Rezolvăm sistemul de ecuații și determinăm coeficienții a și b .

$$a = -\frac{p_0}{V_0}; \quad b = 6p_0.$$

Ecuația dreptei (transformarea 1-2) este

$$p = -\frac{p_0}{V_0} V + 6p_0; \quad (1)$$



Dacă se cunosc coordonatele punctelor de intersecție a dreptei cu axele p și V , atunci ecuația dreptei 1-2, poate fi stabilită din formula ecuației unei drepte în segmente $\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1$

$$\frac{V}{6V_0} + \frac{p}{6p_0} = 1,$$

de unde se obține formula (1).

Substituind expresia presiunii din ecuația termică de stare, obținem:

$$\frac{\nu RT}{V} = -\frac{p_0}{V_0}V + 6p_0;$$

Stabilim dependența temperaturii gazului de volum:

$$T = -\frac{p_0}{\nu V_0 R}V^2 + \frac{6p_0}{\nu R}V; \quad (2)$$

care reprezintă ecuația unei parabole;

Determinăm coordonata V a vârfului parabolei:

$$V = -\frac{\frac{6p_0}{\nu R}}{-2\frac{p_0}{\nu V_0 R}} = 3V_0;$$

Substituind expresia obținută, $V = 3V_0$, în formula (1), avem: $p = 3p_0$;

Coordonatele punctului 3 în care temperatura are valoare maximă sunt:

$$\begin{cases} V_3 = 3V_0; \\ p_3 = 3p_0; \end{cases}$$

Substituim $V = 3V_0$ în formula (2) și obținem coordonata T a vârfului parabolei:

$$T_{\max} = \frac{9p_0V_0}{\nu R};$$

($V_3 = 3V_0$ se poate obține și altfel: egalând derivata de ordinul întâi a expresiei (2) cu zero:

$$T'(V) = -\frac{2p_0V}{\nu V_0 R} + \frac{6p_0}{\nu R} = 0, \text{ de unde } V = 3V_0);$$

Calculăm căldura primită de gaz la încălzirea pe sectorul 1-3 de la T_1 până la $T_3 = T_{\max}$, aplicând prima lege a termodinamicii:

$$Q_{1,3} = L_{1,3} + \Delta U_{1,3}; \quad (3)$$

$L_{1,3} = 0,5(4p_0 + 3p_0)(3V_0 - 2V_0)$ – aria trapezului.

$$L_{1,3} = 3,5p_0V_0;$$

$\Delta U_{1,3} = 1,5(p_3V_3 - p_1V_1) = 1,5p_0V_0$;

$$Q_{1,3} = 5p_0V_0;$$

Pe sectorul 3-2, gazul continuă să se dilate, răcindu-se de la T_{\max} până la $T_2 = T_1$;

Stabilim dependența căldurii transmise gazului de la începutul procesului în funcție de volum.

Scriem legea întâi a termodinamicii, luând punctul inițial V_1 și un punct arbitrar (p, V, T) pe segmentul 1-2:

$$Q = L + \Delta U; \quad L = 0,5(V - V_1)(p + p_1), \quad \text{unde } p = -\frac{p_0}{V_0}V + 6p_0;$$

$$\Delta U = 1,5\nu R(T - T_1), \quad \text{unde } T = -\frac{p_0}{\nu V_0 R}V^2 + \frac{6p_0}{\nu R}V \quad \text{și } \nu RT_1 = p_1V_1;$$

$$\text{iar} \quad Q = -2\frac{p_0}{V_0}V^2 + 15p_0V - 22p_0V_0. \quad (4)$$

Graficul acestei funcții (4) este o parabolă.

8 Probleme

Vârful parabolei are coordonata V egală cu $V_4 = 3,75 V_0$. Din (1) obținem $p_4 = 2,25 p_0$. Punctul 4 ($V_4; p_4$) de pe dreapta 1-2 este acel punct până la care gazul încă mai primește căldură. Observăm că $V_4 > V_3$ la care temperatura gazului este maximă $T_3 = T_{\max}$. Calculăm T_4 , substituind $V_4 = 3,75 V_0$ în ecuația (2):

$$T_4 = \frac{8,4375 p_0 V_0}{\nu R} < T_3 = \frac{9 p_0 V_0}{\nu R};$$

Substituim $V_4 = 3,75 V_0$ în formula (4) și obținem căldura transmisă gazului pe porțiunea 1-4:

$$Q_{1,4} = 6,125 p_0 V_0.$$

Această cantitate de căldură poate fi determinată și din prima lege a termodinamicii:

$$Q_{1,4} = \Delta U_{1,4} + L_{1,4};$$

$$Q_{1,4} = 1,5 \nu R (T_4 - T_1) + 0,5 (4 p_0 + 2,25 p_0) (3,75 V_0 - 2 V_0) = 1,5 (p_4 V_4 - p_1 V_1) + 0,5 \cdot 6,25 p_0 \cdot 1,75 V_0 = 1,5 (2,25 p_0 \cdot 3,75 V_0 - 4 p_0 \cdot 2 V_0) + 5,46875 p_0 V_0 = 6,125 p_0 V_0.$$

Pe porțiunea 3-4, gazul se răcește, absorbind căldură!

$$Q_{3,4} = Q_{1,4} - Q_{1,3} = 6,125 p_0 V_0 - 5 p_0 V_0 = 1,125 p_0 V_0;$$

(pe 3-4, capacitatea termică a gazului este negativă - lucrul gazului fiind mai mare decât căldura primită, iar variația energiei interne - negativă. Într-adevăr:

$$L_{3,4} = 0,5 (p_3 + p_4) (V_4 - V_3) = 1,96875 p_0 V_0;$$

$$\Delta U_{3,4} = 1,5 (p_4 V_4 - p_3 V_3) = -0,84375 p_0 V_0;$$

sau

$$\Delta U_{3,4} = Q_{3,4} - L_{3,4} = -0,84375 p_0 V_0;$$

Cantitatea de căldură schimbată de gaz cu mediul este

$$Q_{1,2} = Q_{1,3} + Q_{3,4} + Q_{4,2};$$

unde

$$Q_{4,2} = L_{4,2} + \Delta U_{4,2};$$

$$Q_{4,2} = 0,5 (p_2 + p_4) (V_2 - V_4) + 1,5 (p_2 V_2 - p_4 V_4) = -0,125 p_0 V_0;$$

$$Q_{1,2} = 5 p_0 V_0 + 1,125 p_0 V_0 - 0,125 p_0 V_0 = 6 p_0 V_0;$$

sau

$$Q_{1,2} = L_{1,2} + \Delta U_{1,2};$$

Deoarece $T_1 = T_2$, rezultă că $\Delta U_{1,2} = 0$ și atunci:

$$Q_{1,2} = L_{1,2} = 0,5 (p_1 + p_2) (V_2 - V_1);$$

$$Q_{1,2} = 6 p_0 V_0;$$

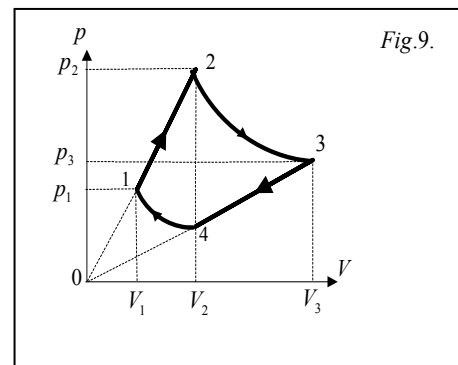
Răspunsuri: $T_{\max} = \frac{9 p_0 V_0}{\nu R}$;

$Q_{1,3} = 5 p_0 V_0$ (căldura primită de gaz la încălzire);

$Q_{3,4} = 1,125 p_0 V_0$ (căldura primită de gaz la răcire);

$Q_{1,2} = 6 p_0 V_0$ (căldura schimbată de gaz cu mediul exterior).

Notă: În unele culegeri de probleme [5, 2.53] se cere cantitatea de căldură primită de gaz în transformarea 1-2 ($Q_{1,3} + Q_{3,4}$ în cazul nostru), dar la răspuns se dă căldura schimbată de gaz cu exteriorul (suma căldurilor primite și cedate, $Q_{1,2}$).



PROBLEME PROPUSE PENTRU REZOLVARE

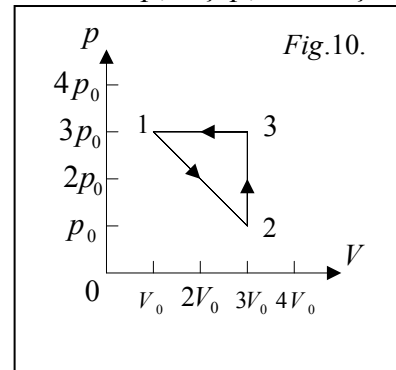
1. [5] Un mol de gaz este supus transformării 1-2-3-4-1 (Fig.9). Pe 1-2 și 3-4 presiunea gazului variază direct proporțional cu volumul lui, iar curbele 1-4 și 2-3 sunt izoterme. Reprezentați acest ciclu în coordonatele V, T . Aflați volumul V_3 , dacă se cunosc V_1 și $V_2 = V_4$.

(R.: $V_3 = \frac{V_2^2}{V_1}$)

2. Un mol de gaz este supus transformării 1-2-3-4-1. În transformările 1-2 și 3 - 4 presiunea gazului variază direct proporțional cu volumul lui; porțiunea 4-1 este încălzire izocoră, iar 2-3 este răcire izocoră. Reprezentați acest ciclu în coordonatele p, V și p, T . Aflați presiunea $p_3 = p_1$, dacă se cunosc p_2 și p_4 .

(R.: $p_1 = \sqrt{p_2 p_4}$)

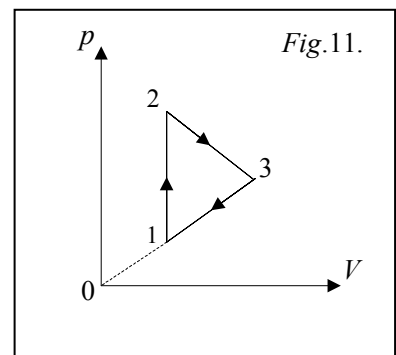
3. Un mol de gaz monoatomic ideal este supus unei transformări din starea 1 (p_0, V_0) în starea 2 ($3p_0, 3V_0$). Reprezentați transformarea în coordonatele p, V . Calculați cantitatea de căldură primită de gaz în acest proces și capacitatea calorică a gazului. ($16 p_0 V_0$; $2\nu R$ – constantă în procesele în care presiunea gazului monoatomic este direct proporțională cu volumul).



4. [4, 10.108] În ciclul 1-2-3-1 (Fig.10) aflați cantitatea de căldură primită de un gaz monoatomic ideal pe sectoarele unde temperatura crește. Se cunosc parametrii p_0, V_0 .

(R.: $13 p_0 V_0$).

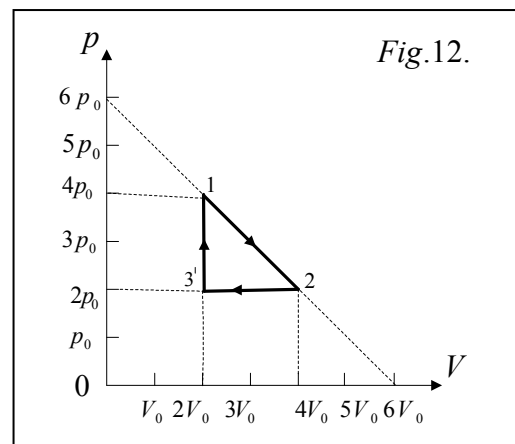
5. [1] Un gaz monoatomic, ν moli, este supus transformării 1-2-3-1 (Fig. 11). La încălzirea izocoră gazul a primit cantitatea de căldură Q și temperatura lui s-a mărit de 4 ori. Determinați temperatura T_1 și lucrul mecanic efectuat de gaz în ciclu. Se știe că punctele 2 și 3 se află pe aceeași izotermă.



($2Q / 9\nu R$; $Q/3$)

6. Calculați randamentul ciclului (Fig.12) 1-2-3'-1 (raportul dintre lucrul efectuat de gazul monoatomic în ciclu și cantitatea de căldură primită de gaz în ciclu). Folosiți unele rezultate obținute în problema rezolvată nr. 4.

(R.: $16/97$)



BIBLIOGRAFIE

1. Квант (Kvant), nr. 2, 2003.
2. Н. Коржов. Нагреть или сообщить количество теплоты ? Квант, nr. 2, 2001.
3. Problema Φ 211, Квант, nr.1, 1974.
4. M. Marinciuc, S. Rusu, I. Scutelnic, V. Ghețu, A. Homenco, M. Miglei. Culegere de probleme de fizică pentru cl. 10 - 12. Chișinău, «Universul pedagogic», 2007.
5. Г. В. Меледин. Физика в задачах. Москва, «Наука», 1990.
6. M. Marinciuc. Olimpiade de fizică. Chișinău, «Lumina», 1994.

Primit la redacție: 3 decembrie 2008
 Recomandat pentru editare de către
 Conf. univ. Dr. Mihai Marinciuc

PARADOXURI ELECTROSTATICE

Dmitrii BUROVENKO

Elev clasa a 11-a

Liceul „Dimitrie Cantemir” Chișinău

Articol recomandat spre publicare de Prof. univ. Dr. habil. E. P. Pocotilov, membru corespondent al ASM

Să considerăm un sistem alcătuit din 2 bile metalice, B și C, și sfera metalică A de rază R_2 (fig. 1), în interiorul căreia se află bila B. Această bilă este legată cu bila identică C de rază R_1 printr-un fir lung conductor, izolat de sfera A.

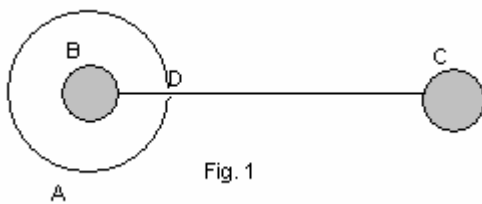


Fig. 1

Inițial sistemul este neutru. Dacă sfera A se încarcă cu sarcina pozitivă Q , atunci potențialul electric în interiorul ei va avea una și aceeași valoare, egală cu

$$\varphi_A = k \frac{Q}{R_2} > 0. \quad (1)$$

Deci și potențialul bilei B va fi egal cu această valoare. Pe de altă parte, bilele B, C și firul conductor alcătuiesc un singur conductor și toate punctele lor trebuie să aibă același potențial. Inșă bila neutră C, considerată la o distanță mare de la sfera A, și bila B au potențialul

$$\varphi_c = k \frac{q_c}{R_1} = 0.$$

Pentru ca potențialele bilelor B și C să devină egale între ele, e necesar ca o parte din electroni cu sarcina totală $-q$ să treacă de pe bila C pe bila B. Atunci potențialul bilei B se va micșora și va deveni egal cu

$$k \frac{Q}{R_2} - k \frac{q}{R_1}.$$

Potențialul bilei C se va mări și va deveni egal cu $k \frac{q}{R_1}$. Egalând aceste valori ale potențialelor, calculăm modulul sarcinii q :

$$q = \frac{QR_1}{2R_2}. \quad (2)$$

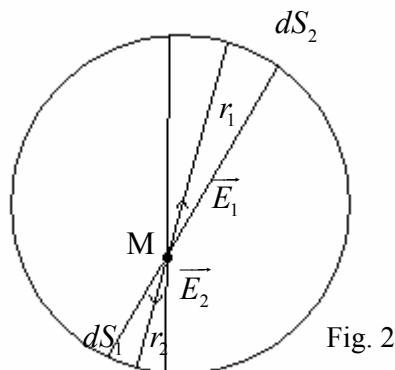


Fig. 2

Apare întrebarea: ce forțe au acționat asupra electronilor, deplasându-i în interiorul bilei A, luând în considerare faptul că în interiorul ei lipsește câmp electrostatic ($E=0$)?

Acest paradox se poate explica, pornind de la demonstrarea faptului că în interiorul sferei $E=0$.

Fie σ densitatea superficială a sarcinii sferei A. Să calculăm intensitatea câmpului electric într-un punct arbitrar M din interiorul sferei.

Sarcinile dq_1 și dq_2 sunt egale cu σdS_1 și, respectiv, σdS_2 . Considerând aceste sarcini ca fiind punctiforme, avem $E_1 = k \frac{\sigma dS_1}{r_1^2}$ și $E_2 = k \frac{\sigma dS_2}{r_2^2}$. Din geometrie e cunoscută relația

$$\frac{dS_1}{dS_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}.$$

Atunci $E_1 = E_2$ și rezultanta mărimilor vectoriale \vec{E}_1 și \vec{E}_2 este egală cu zero.

Dacă alegem aria elementară dS_1 în punctul D prin care trece firul conductor, atunci sarcina dq_1 va fi mai mică decât dq_2 din cauză că o porțiune din dS_1 este ocupată de stratul izolator. Ca rezultat, $E_1 < E_2$ și rezultanta \vec{E} va fi orientată spre punctul D.

Forța cu care câmpul electric acționează asupra sarcinilor negative este orientată în sens opus vectorului \vec{E} și electronii se vor mișca prin fir de la bila C spre bila B.

Dacă tăiem firul conductor, atunci obținem bila C izolată de sistem și având sarcina pozitivă q . Acest fapt poate fi demonstrat experimental.

Aproximativ aceeași situație are loc în cazul când un condensator plan încărcat cu sarcina Q este introdus într-o cutie metalică neutră (fig.3, [4]).

Punctele A și B ale cutiei metalice au același potențial, deoarece aparțin aceluiași conductor. Inșă calculând diferența de potențial $\varphi_A - \varphi_B$, obținem o valoare diferită de zero:

$$\varphi_A - \varphi_B = \int_0^{2b+d} E_0 dx = E_0 d,$$

unde d este distanța dintre plăcile condensatorului.

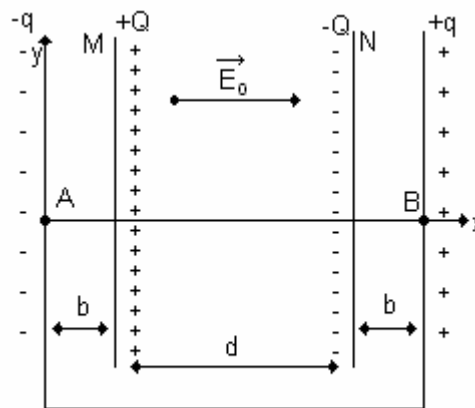
Aici s-a ținut cont de faptul că în exteriorul condensatorului încărcat intensitatea câmpului electric este egală cu zero.

Ca și în cazul precedent, pentru explicarea acestui paradox e necesar să presupunem că o parte din electroni cu sarcina $-q$ trec de pe peretele B pe A al cutiei metalice. Aceste sarcini (q și $-q$) creează un câmp electric omogen în tot spațiul dintre pereții A și B, ceea ce este echivalent cu un condensator plan cu distanța dintre plăci egală cu $d+2b$. Notăm cu E intensitatea câmpului electric, creat de aceste sarcini.

Acum vom calcula diferența de potențial dintre punctele A și B, care trebuie să fie egală cu zero:

$$0 = \int_b^{d+b} E_0 dx - \int_0^{2b+d} E dx. \text{ sau } 0 = E_0 d - E(2b+d).$$

$$\text{Rezultă } E = \frac{E_0 d}{2b+d}. \quad (3)$$

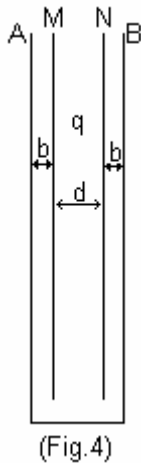


(Fig. 3)

Folosind formulele $E_0 = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$ și $E = \frac{q}{\epsilon_0 S}$ pentru intensitatea câmpului în ambele cazuri și relația (3), calculăm modulul sarcinii q :

$$q = Q \frac{d}{d + 2b} \tag{4}$$

Propunem aici un experiment pentru verificarea apariției sarcinilor $-q$ și $+q$ pe pereții cutiei (fig.4)



Două folii de aluminiu, M și N, între care se află o folie de celofan cu grosimea d reprezintă echivalentul condensatorului din fig. 3.

Alte două folii de aluminiu, A și B, legate print-un fir conductor în partea de jos și izolate de foliile M și N prin două folii de celofan, reprezintă echivalentul cutiei de metal.

Încărcând condensatorul MN cu sarcina Q , pe foliile A și B apar sarcini electrice cu modulul $q = Q \frac{d}{d + 2d} = \frac{Q}{3}$.

Tăind firul conductor ce leagă A și B, separăm sarcinile q și $-q$. Verificarea experimentală este dificilă din cauza valorilor mici ale sarcinilor.

În calitate de *al treilea paradox* să considerăm “dispariția” energiei la legarea în paralel a două condensatoare.

Fie condensatorul cu capacitatea C_1 încărcat cu sarcina q_0 , iar condensatorul al doilea cu capacitatea C_2 nu este încărcat.

Energia inițială a acestor condensatoare $W_0 = \frac{q_0^2}{2C_1}$ (5). După gruparea în paralel capacitatea bateriei este $C = C_1 + C_2$, iar sarcina rămâne neschimbată, adică egala cu q_0 .

$$\text{Energia sistemului } W = \frac{q_0^2}{2(C_1 + C_2)} < W_0 \tag{6}$$

Apare întrebarea: unde a dispărut energia

$$\Delta W = W_0 - W = \frac{q_0^2 C_2}{2C_1(C_1 + C_2)} \text{ ?} \tag{7}$$

Dacă presupunem că ea se cheltuie la încălzirea conductoarelor de legătură, atunci apare altă întrebare. Cantitatea de căldură degajată în conductoare nu poate fi calculată cu formula $Q = I^2 R t$, deoarece intensitatea curentului nu este constantă, adică depinde de timp. În acest caz, căldura degajată poate fi calculată cu formula

$$Q = \int_0^\infty i^2(t) R dt \tag{8}$$

La prima vedere, această căldură depinde de rezistența R a conductoarelor de legătură, ceea ce contrazice formula (7). Conform formulei (8), dacă $R \rightarrow 0$, atunci și $Q \rightarrow 0$.

Pentru a rezolva acest paradox, calculăm integrala (8). Pentru a determina intensitatea curentului $i(t)$ ca funcție de timp, aplicăm regula lui Kirchhoff pentru ochiul de rețea din fig. 5:

$$iR = U_1 - U_2$$

$$\text{Rezultă: } iR = \frac{q_1}{C_1} - \frac{q_2}{C_2}$$

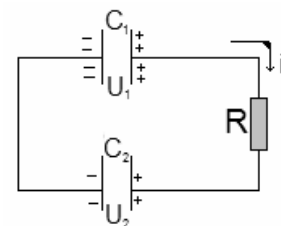


Fig. 5

Fie $q(t)$ sarcina care la momentul t a trecut de la condensatorul C_1 la condensatorul C_2 .

$$\text{Atunci } iR = \frac{q_0 - q}{C_1} - \frac{q}{C_2} \quad (9)$$

Intrucât $i = \frac{dq}{dt}$, ecuația (9) capătă forma unei ecuații diferențiale în raport cu necunoscuta q . Separând variabilele q și t și integrând, obținem:

$$\int_0^t dt = \int_0^q \frac{Rdq}{\frac{q_0}{C_1} - \frac{q(C_1 + C_2)}{C_1 C_2}}$$

Calculând integralele, rezultă

$$q = \frac{q_0 C_2}{C_1 + C_2} \left(1 - e^{-\frac{t(C_1 + C_2)}{RC_1 C_2}} \right),$$

de unde

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{q_0}{C_1 R} e^{-\frac{t(C_1 + C_2)}{RC_1 C_2}}.$$

Substituind această expresie în (8) și calculând integrala, obținem $Q = \Delta W$, adică rezultatul (7). Într-adevăr, Q , deci ΔW nu depinde de R . Aceasta înseamnă că putem considera $R=0$ (starea de supraconductibilitate). În acest caz căldura nu se degajă. Putem presupune că se vor încălzi armăturile condensatorului. Dar dacă și ele sunt în stare de supraconductibilitate?

În acest caz, electronii se mișcă fără a întâmpina rezistență și au accelerația mare, deci ei vor emite unde electromagnetice care posedă energie.

Autorul exprimă mulțumiri prof. Evghenii P. Pocotilov pentru consultațiile utile, oferite la pregătirea prezentului articol.

BIBLIOGRAFIE.

1. Д. В. Сивухин. Общий курс физики. Том III, Физмат, Москва, 2006.
2. А. А. Детлаф, Б.М.Яворский. Курс физики. Высшая школа, Москва, 1989.
3. И. Е. Иродов. Задачи по общей физике. Наука, Москва, 1979.
4. Е. И. Бутиков, А. А. Быков, А.С.Кондратьев. Физика для поступающих в ВУЗы. Наука, Москва, 1978.

Primit la redacție: 30 septembrie 2008

STUDIUL FORȚEI ARHIMEDE LUCRARE DE LABORATOR (CLASA 7-A)

Sergiu CÂRLIG, Cornelia CÎRLIG, CIOBANU Oleg
Liceul „Prometeu-Prim”, Chișinău

Scopul lucrării: Aplicarea legii Arhimede, determinarea densității unui lichid necunoscut.

Aparate și accesorii: dinamometru, pahar cu un lichid necunoscut, corpuri cu densitate cunoscută

Note teoretice:

Cântărirea unui corp în aer cu ajutorul dinamometrului permite aflarea greutății corpului – G . La cântărirea aceluiși corp scufundat complet în lichid se înregistrează greutatea aparentă G' . Diferența acestora $G - G'$ este egală cu modulul forței Arhimede F_A ce acționează din partea lichidului asupra corpului.

$$\text{Astfel } G - G' = F_A = \rho_l V_C g \quad (1)$$

unde ρ_l este densitatea lichidului, V_C este volumul corpului iar g este accelerația căderii libere. Cunoscând densitatea corpului putem determina volumul acestuia din relația:

$$G = mg = \rho_C V_C g \quad (2)$$

$$\text{adică } V_C = \frac{G}{\rho_C g} \quad (3)$$

Înlocuind relația (3) în relația (1) obținem:

$$\boxed{\rho_l = \rho_C \frac{G - G'}{G}} \quad (4)$$

Erori

$$\Delta G = \Delta G' = \text{_____ N} \quad \Delta \rho_C = \text{_____ kg/m}^3$$

$$\boxed{\Delta \rho_l = \rho_l \cdot \varepsilon} \quad \boxed{\varepsilon = \frac{\Delta \rho_C}{\rho_C} + \frac{2\Delta G}{G - G'} + \frac{\Delta G}{G}} \quad (5)$$

Modul de lucru

1. Se suspendează corpul de dinamometru și se determină greutatea G .
2. Se scufundă încet corpul suspendat și la scufundarea completă se înregistrează G' .
3. Se calculează densitatea lichidului conform relației (4).
4. Se determină erorile și se scriu rezultatele în tabel.

Tabelul măsurărilor și determinărilor

Nr	G, N	G', N	$\rho_c, \text{kg/m}^3$	$\rho_l, \text{kg/m}^3$	$\Delta\rho_l, \text{kg/m}^3$	$\varepsilon, \%$
1.						
2.						
3.						

Exemple de calcul

Densitatea lichidului $\rho_l =$

Eroarea absolută $\varepsilon =$

Eroarea relativă $\Delta\rho_l =$

Rezultatul final

$\rho_l = (\quad \pm \quad) \text{kg/m}^3, \quad \varepsilon = \quad \%$
--

Concluzii

Întrebări și exerciții

1. Deduceți relația (4).
2. Propuneți o altă metodă de determinare a volumului corpului. Cum se va modifica eroarea în acest caz?
3. Cum variază indicațiile dinamometrului la scufundarea corpului? De ce?
4. Care este precizia de calcul a densității lichidului? Cum poate fi mărită?
5. Comparați rezultatele obținute cu valori tabelare. Ce observați?

PROBLEMA REDUSĂ A CELOR TREI CORPURI (CAZUL HIPERBOLIC) ¹. SOLUȚII DIVERSE

Conf. univ.dr. Aurel SOROCOVI
Academia de Transporturi, Informatică și Comunicații, Chișinău

REZUMAT

The flat single -averaged hyperbolic restricted three-body problem in the case of small eccentricities of the perturbed body is considered in the paper. We obtained the general solution for the linearised system of differential equations in the form of small-parameter power series for the case when the first of a perturbing function is taken into account.

1. FUNCȚIA PERTURBATOARE A PROBLEMEI

Problema redusă a celor trei corpuri (cazul hiperbolic) constă în următoarele. Se consideră mișcarea corpului P' de masa m în raport cu corpul P de masă m pe o traiectorie (orbită) hiperbolică. Se consideră, de asemenea, mișcarea altui corp de masă neglijabilă S, care este atras de corpurile P și P', dar nu influențează mișcarea acestora. Se studiază mișcarea corpului S în aceste condiții. Această problemă a fost studiată în lucrările [1],[2],[3].

Vom examina cazul când toate cele trei corpuri se mișcă într-un plan. Alegem în acest plan un sistem rectangular de coordonate Pxy cu originea în punctul P, astfel încât axa Px să fie orientată spre pericentrul orbitei corpului P (fig. 1). Atunci funcția perturbatoare a problemei va avea forma:

$$R = f\bar{m}' + \left(\frac{1}{\Delta} + \frac{r\cos\alpha}{r'^2} \right)$$

unde

$$\Delta = r^2 + r'^2 - 2rr'\cos\alpha$$

aici f este constanta gravitațională, r și r' - razele vectoriale ale corpurilor S și P, α - unghiul dintre aceste raze vectoriale. Evident că $\alpha = v + w - v'$, unde v și v' sunt anomaliile corpurilor S și P', iar w este argumentul pericentrului corpului S.

Considerând că $r < r'$, descompunem funcția R în serie după puterile raportului r/r' și calculăm media acestei funcții după anomalia medie M a corpului care provoacă perturbații. Notăm cu \bar{R} valoarea medie a funcției R . Atunci avem: $\bar{R} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} R dM$; $dM = \frac{r^2 du}{a^2 \sqrt{1-e^2}}$, unde a și e sunt semi-axa mare și excentricitatea orbitei corpului S.

În cele ce urmează este comod să se utilizeze în calitate de variabilă independentă nu timpul t , ci anomalia corpului perturbator, v . De aceea considerăm funcția :

$$R' = \frac{r'^2}{f\sqrt{m'mp'}} \bar{R}$$

unde p este parametrul orbitei corpului P'. În urma transformărilor obținem:

$$R' = \frac{1}{4} \beta \sqrt{\alpha} (1 + e' \cos v) \left[1 + \frac{3}{2} e^2 + \frac{15}{2} e^2 \cos 2(\omega - v) \right]$$

(2)

unde $\beta = \left(\frac{m'}{m}\right)^{1/2} \left(\frac{a}{p}\right)^{3/2}$.

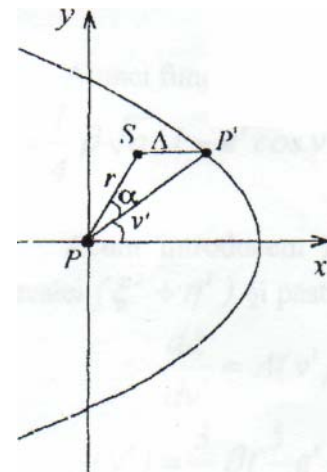


fig. 1

2. ECUAȚIILE DIFERENȚIALE ALE MIȘCĂRII.

Acum vom considera în calitate de variabilă intermediară anomalia corpului perturbator, v' , care în modul depinde de timpul t : $dv' = \frac{\sqrt{Jm_p}}{r'^2} dt$. În acest caz ecuațiile diferențiale ale mișcării corpului S pot fi scrise sub forma:

$$\frac{de}{dv'} = -\frac{\sqrt{1-e^2}}{e\sqrt{a}} - \frac{\partial R'}{\partial \omega'} \frac{\partial \omega}{\partial v'} = \frac{\sqrt{1-e^2} \partial R'}{e\sqrt{a} \partial e} \quad (3)$$

Aici ne vom referi la studiul mișcării perturbate a corpului S, excentricitatea inițială a orbitei căruia are o valoare numerică mică. Introducem alte variabile, ξ și η , definite de relațiile:

$$\xi = e \sin \omega, \quad \eta = e \cos \omega.$$

Atunci funcția perturbatoare a problemei, (1), se va prezenta sub forma:

$$R' = \frac{1}{4} \beta \sqrt{a} (1 - e' \cos v') \left[1 + \frac{3}{2} (\xi^2 + \eta^2) + \frac{15}{2} (\eta^2 - \xi^2) \cos 2v' + 15 \xi \eta \sin 2v' \right]. \quad (4)$$

Acum introducem R' din (4) în (3). În urma descompunerii în serie după puterile expresiei $(\xi^2 + \eta^2)$ și păstrând termenii liniari, obținem :

$$\frac{d\xi}{dv'} = A(v) + B(v) \eta \frac{d\eta}{dv'} = D(v) - A(v), \quad (5)$$

$$A(v) = \frac{3}{4} \beta \left(\frac{5}{2} e' \sin v' + 5 \sin 2v' + \frac{5}{2} e' \sin 3v' \right)$$

$$B(v) = \frac{3}{4} \beta \left(1 + \frac{7}{2} e' \cos v' + 5 \cos 2v' + \frac{5}{2} e' \cos 3v' \right)$$

$$D(v) = -\frac{3}{4} \beta \left(1 - \frac{3}{2} e' \cos v' - 5 \cos 2v' - \frac{5}{2} e' \cos 3v' \right)$$

(6)

Astfel, sistemul linearizat de ecuații diferențiale ale mișcării perturbate a corpului S în problema redusă (mediată) a 3 corpuri este prezentat sub forma (5) în care coeficienții $A(v), B(v), D(v)$ sunt funcții periodice 2π și sunt determinați de formulele (6). La variația variabilei t de la $-\infty$ la $+\infty$, variabila v' variază în limitele $-\arccos\left(-\frac{1}{e'}\right) \leq v' \leq \arccos\left(-\frac{1}{e'}\right)$, iar excentricitatea e variază în limitele $0 \leq e \leq e_0(1 + \omega_0^2 + 5\varepsilon\mu)$, unde

$$\mu = \left(2 + \frac{2}{3} e' - \frac{1}{3e'^2} \right) - 2\omega_0 v' (1 + e') + \frac{\omega_0}{3e'^2} \sqrt{e'^2 - 1}$$

(7)

3. SERII TRIGONOMETRICE PENTRU E ȘI Ω .

Soluțiile ecuațiilor diferențiale ale mișcării corpului studiat (sub influența perturbațiilor produse de corpul convențional fix și cel care se mișcă în jurul acestuia (pe orbita hiperbolică) au fost prezentate în lucrarea [1] în forma: $Y(V', \varepsilon) = \begin{pmatrix} \zeta_1 & \zeta_2 \\ \eta_1 & \eta_2 \end{pmatrix}$

(8)

în care soluțiile de bază $\zeta_1(V', \varepsilon)$, $\eta_1(V', \varepsilon)$, $\zeta_2(V', \varepsilon)$, $\eta_2(V', \varepsilon)$ ce satisfac condițiile inițiale $\zeta_1(0, \varepsilon) = 1$, $\eta_1(0, \varepsilon) = 0$, $\zeta_2(0, \varepsilon) = 0$, $\eta_2(0, \varepsilon) = 1$, sunt reprezentate în serii după puterile parametrului ε și sunt funcții de variabile $chXV'$ și $shXV'$. În scopul efectuării unor calcule numerice, aplicăm transformările: $chXV' = \cos \bar{X}V'$, $shXV' = i \sin \bar{X}V'$,

$$\bar{X} = |X| = \varepsilon \left[1 + \left(\varepsilon \frac{25}{2} + \frac{25}{3} e'^2 \right) + \frac{25}{8} \varepsilon^2 \left(29 + \frac{767}{18} e'^2 + \frac{91}{9} e'^4 \right) \right] + O(\varepsilon^4)$$

(9)

unde e' și V' sunt excentricitatea și anomalia corpului perturbant; parametrul ε este exprimat prin masele corpului convențional fix și celui perturbant, m și m' , semiaxa mare a orbitei

corpului fix, a , și parametrul orbitei corpului perturbant, p' astfel: $\varepsilon = \frac{3}{4} \left(\frac{m'}{m}\right)^{1/2} \left(\frac{a}{p'}\right)^{3/2}$ (10)

Atunci soluția generală a ecuațiilor diferențiale ale mișcării corpului studiat se reprezintă sub forma :

$$\begin{aligned} \zeta &= C_1 \zeta_1(V', \varepsilon) + C_2 \eta_1(V', \varepsilon) \\ \eta &= C_1 \zeta_2(V', \varepsilon) + C_2 \eta_2(V', \varepsilon) \end{aligned} \tag{11}$$

unde: $\zeta_1(V', \varepsilon) = f_1(V', \varepsilon) \cos \bar{x} V' + f_2(V', \varepsilon) \sin \bar{x} V'$

$$\eta_1(V', \varepsilon) = \psi_1(V', \varepsilon) \cos \bar{x} V' + \psi_2(V', \varepsilon) \sin \bar{x} V'$$

$$\zeta_2(V', \varepsilon) = \theta_1(V', \varepsilon) \cos \bar{x} V' + \theta_2(V', \varepsilon) \sin \bar{x} V'$$

$$\eta_2(V', \varepsilon) = \vartheta_1(V', \varepsilon) \cos \bar{x} V' + \vartheta_2(V', \varepsilon) \sin \bar{x} V'$$

(12)

$$f_1(V', \varepsilon) = 1 -$$

$$\varepsilon \left(\frac{5}{2} e' \cos V' + \frac{5}{2} \cos 2V' + \frac{5}{6} e' \cos 3V' \right) - \varepsilon^2 \left[\frac{15}{2} e' \cos V' + \left(\frac{5}{2} - \frac{11}{4} e'^2 \right) \cos 2V' + \frac{5}{36} e' \cos 3V' - \frac{5}{24} e'^2 \cos 4V' \right] - O(\varepsilon^3),$$

$$f_2(V', \varepsilon) = -$$

$$\varepsilon \left(\frac{7}{2} e' \sin V' + \frac{5}{2} \sin 2V' + \frac{5}{6} e' \sin 3V' \right) - \varepsilon^2 \left[\left(\frac{455}{12} e' - \frac{35}{4} e'^3 \right) \sin V' + \left(\frac{5}{2} - \frac{5}{4} e'^2 \sin 2V' + \left(\frac{5}{36} e' - \frac{25}{12} e'^3 \right) \sin 3V' - \frac{5}{24} e'^2 \sin 4V' \right) \right] + O(\varepsilon^3),$$

$$\psi_1(V', \varepsilon) = \varepsilon \left(\frac{3}{2} e' \sin V' + \frac{5}{2} \sin 2V' + \frac{5}{6} e' \sin 3V' \right) - \varepsilon^2 \left[\frac{245}{12} e' \sin V' - \left(\frac{5}{2} - \frac{10}{3} e'^2 \right) \sin 2V' - \frac{5}{36} e' \sin 3V' + \frac{5}{24} e'^2 \sin 4V' \right] + O(\varepsilon^3),$$

$$\psi_2(V', \varepsilon) = -$$

$$1 + \varepsilon \left(\frac{5}{2} e'^2 - \frac{5}{2} e' \cos V' - \frac{5}{2} \cos 2V' - \frac{5}{6} e' \cos 3V' \right) + \varepsilon^2 \left[\frac{5}{8} \left(375 + \frac{1121}{2} e'^2 + \frac{385}{3} e'^4 \right) - \left(\frac{205}{12} e' - \frac{25}{4} e'^3 \right) \cos V' - \left(\frac{5}{2} - \frac{37}{12} e'^2 \right) \cos 2V' - \left(\frac{5}{36} e' - \frac{25}{12} e'^3 \right) \cos 3V' + \frac{5}{24} e'^2 \cos 4V' \right] + O(\varepsilon^3),$$

$$\gamma_1(V', \varepsilon) = \varepsilon \left(\frac{7}{2} e' \sin V' + \frac{5}{2} \sin 2V' + \frac{5}{6} e' \sin 3V' \right) + \varepsilon^2 \left[\frac{455}{12} e' \sin V' + \left(\frac{5}{2} + 5e'^2 \right) \sin 2V' + \frac{5}{36} e' \sin 3V' - \frac{5}{24} e'^2 \sin 4V' \right] + O(\varepsilon^3),$$

$$\gamma_2(V', \varepsilon) = 1 + \varepsilon \left(\frac{5}{2} e'^2 - \frac{5}{2} e' \cos V' - \frac{5}{2} \cos 2V' - \frac{5}{6} e' \cos 3V' \right) - \varepsilon^2 \left[\frac{5}{8} \left(375 + \frac{879}{2} e'^2 + 195 e'^4 \right) + \left(\frac{5}{12} e' + \frac{25}{4} e'^3 \right) \cos V' + \left(\frac{5}{2} + \frac{7}{2} e'^2 \right) \cos 2V' + \left(\frac{5}{36} e' + \frac{25}{12} e'^3 \right) \cos 3V' - \frac{5}{24} e'^2 \cos 4V' \right] + O(\varepsilon^3),$$

$$\theta_1(V', \varepsilon) = 1 + \varepsilon \left(\frac{5}{2} e' \cos V' + \frac{5}{2} \cos 2V' + \frac{5}{6} e' \cos 3V' \right) + \varepsilon^2 \left[\frac{205}{12} e' \cos V' + \left(\frac{5}{2} + \frac{19}{6} e'^2 \right) \cos 2V' + \frac{5}{36} e' \cos 3V' - \frac{5}{24} e'^2 \cos 4V' \right] - O(\varepsilon^3),$$

$$\theta_2(V', \varepsilon) = \varepsilon \left(\frac{3}{2} e' \sin V' + \frac{5}{2} \sin 2V' + \frac{5}{6} e' \sin 3V' \right) - \varepsilon^2 \left[\left(\frac{245}{12} e' - \frac{15}{4} e'^3 \right) \sin V' - \left(\frac{5}{2} + \frac{35}{12} e'^2 \right) \sin 2V' - \left(\frac{5}{36} e' + \frac{25}{12} e'^3 \right) \sin 3V' + \frac{5}{24} e'^2 \sin 4V' \right] + O(\varepsilon^3),$$

Astfel, prin introducerea în (12) a condițiilor inițiale:

$$\zeta_0 = e_0 \cos \omega_0, \eta_0 = e_0 \cos \omega_0, V' = -\bar{V}',$$

determinăm valorile maxime ale constantelor C_1 și C_2 , apoi și limitele superioare ale variabilelor ζ și η . Deoarece $e^2 = \zeta^2 + \eta^2$, aflăm limitele variației excentricității orbitei corpului studiat, determinate de inegalitatea: $0 \leq e \leq e_0(1 + \omega_0^2 + 5\varepsilon\mu)$, unde:

$$\mu = (1 - \omega_0^2) \left(2 + \frac{2}{3} e' - \frac{1}{3e'^2} \right) + 2\omega_0 \bar{V}' (1 + e') + \frac{\omega_0}{3e'^2} \sqrt{e'^2 - 1}.$$

Limitele superioare ale variabilelor ζ și η , determinate conform procedurii descrise mai sus se află din inegalitățile:

$$|\zeta| \leq e_0 \leq \omega_0 \left[1 - \varepsilon \left(5 + \frac{10}{3} e' - \frac{5}{3e'^2} - \frac{4\bar{V}'}{\omega_0} - \frac{4e'\bar{V}'}{\omega_0} - \frac{5}{3} \right) \frac{\sqrt{e'^2 - 1}}{\omega_0 e'^2} \right],$$

$$|\eta| \leq e_0 \left[1 + \varepsilon \left(5 + \frac{10}{3} e' - \frac{5}{3e'^2} + 6\omega_0 \bar{V}' + \frac{5}{3} \omega_0 \right) \frac{\sqrt{e'^2 - 1}}{e'^2} \right].$$

BIBLIOGRAFIE

1. Сорокович А. Б. Осредненная задача трех тел. *Астрономический журнал*, том 59, вып. 6, 1982.
2. A. Sorocovici. Conferința științifică a USM. Chișinău, 2002.
3. A. Sorocovici. The International Scientific Conference. UCCM, Chișinău, 2005.
4. Сорокович А. Б. Степенные ряды в осредненной гиперболической ограниченной задаче трех тел. *Труды ГАИИШ, МГУ, М.*, 1984.
5. L. Bivol, M. Bulat. *Lecții de analiză matematică. Vol. II*, Evrica, Chișinău, 2004.
6. Дубошин Г. Н. *Небесная механика. «Наука»*, М., 1975.

Primit la redacție: 23 octombrie 2008

Recenzenți: conf. univ. dr. Gh. Coman, Universitatea Tehnică a Modovei, și conf. univ. dr. I. Ciobanu, Academia de Transporturi, Informatică și Comunicații.

NUME DE ROMÂNI PE CER

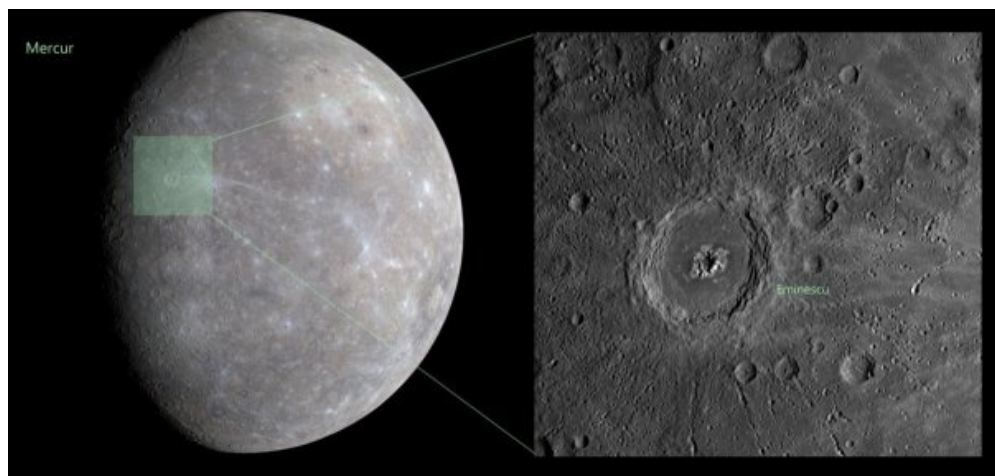
Denumirea corpurilor cerești și a formațiunilor de pe suprafața acestora constituie una din atribuțiile și competențele Uniunii Astronomice Internaționale (UAI) care este o autoritate recunoscută la scară mondială în domeniul astronomiei. Corpurile cerești pot purta numele unor oameni care au avut o contribuție importantă în știință, literatură, artă sau alt domeniu. Numai cometele poartă numele descoperitorilor lor.

Pe harta actuală a cerului se regăsesc 14 nume de personalități născute în spațiul românesc, inclusiv numele lui Mihai Eminescu atribuit de două ori, precum și o denumire geografică.

CRATERUL EMINESCU

În aprilie 2008 un crater de pe planeta **Mercur** a primit numele marelui poet român Mihai Eminescu. Craterul Eminescu are 125 km în diametru și s-a format mai recent decât restul craterelor de pe Mercur în urma impactului cu un asteroid. În jurul craterului Eminescu

se pot observa lanțuri de cratere mai mici, formate de fragmentele ce s-au desprins de asteroidul care a dat naștere craterului Eminescu. În centrul craterului se observă un lanț muntos circular.



Poziția craterului Eminescu pe Mercur.
(Imagine preluată de pe www.astro-urseau.ro)

CRATERUL VĂCĂRESCU

Un crater situat în emisfera sudică a planetei **Venus**, având un diametru de 31,5 km, poartă numele celebrei poete române de expresie franceză Elena Văcărescu (1866-1947) care a trăit în Franța dar s-a născut în România. Craterul a primit acest nume în 1994. El se află în regiunea venusiană Nsomeka Planitia, la marginea unui lanț muntos numit Saule Dorsa.

CRATERUL HARET

Un crater de pe **Lună** poartă numele matematicianului-astronom român Spiru Haret. Craterul are 29 km în diametru și se află în emisfera invizibilă de pe Pământ a Lunii, aproape de polul sud al ei. În vecinătatea craterului Haret se află zeci de cratere mari care încă nu au nume. Spiru Haret a obținut doctoratul în astronomie la Paris cu teza "Asupra invariabilității axelor mari ale planetelor". Ca ministru al educației, a emis decretul pentru înființarea Observatorului Astronomic din București.

ASTEROIDUL 2331 PARVULESCO

Primul asteroid care a primit un nume românesc a fost asteroidul cu numărul **2331 Parvulesco**, după numele lui Constantin Pârvulescu, fost profesor de astronomie la Cernăuți, Timișoara și Cluj. Asteroidul a fost descoperit în 1936 de către astronomul Delporte, în Belgia. El are între 11 și 24 km în diametru și face o rotație în jurul Soarelui în 3,78 ani. Constantin Pârvulescu a fost directorul Observatorului astronomic din Cluj. A studiat glaxiile, roiurile globulare și stelele binare.

ASTEROIDUL 4268 GREBENIKOV

Un alt asteroid cu nume românesc este **4268 Grebenikov**, descoperit în 1972 în Rusia. Eugeniu Grebenikov este un ilustru matematician și astronom, născut la 20 ianuarie 1932 în comuna Slobozia Mare, județul Ismail (astăzi Republica Moldova). Cercetările sale științifice se referă la mecanica cerească. E. Grebenikov este membru de onoare al Academiei de Științe a Moldovei și Doctor Honoris Causa al Universității „Babes-Bolzai” din Cluj. Asteroidul **4268 Grebenikov** are un diametru între 5 și 12 km și face o rotație în jurul Soarelui în 4,28 ani.

ASTEROIDUL 6429 BRÂNCUȘI

Primul asteroid care poartă numele unui om de artă român este **6429 Brâncuși**, după numele marelui sculptor român Constantin Brâncuși. Asteroidul a fost descoperit în 1971 la Observatorul de la Palomar (SUA) și are între 4-9 km în diametru. Asteroidul **6429 Brâncuși** face o rotație în jurul Soarelui în 3,16 ani.

ASTEROIDUL 9253 OBERTH

Hermann Julius Oberth a fost un om de știință născut la Sibiu. Este considerat, împreună cu Constantin Tsiolkovsky și Robert Goddard, unul dintre părinții astronauticii. Numele lui îl poartă asteroidul **9253 Oberth**, descoperit în 1971 la Observatorul Palomar. El are un diametru de circa 6 km și se află la o distanță de 150 milioane km de Terra.

ASTEROIDUL 9403 SANDULEAK

Astronomul american de origine română Nicolae Sanduleak s-a ocupat cu studiul stelelor strălucitoare din emisfera sudică. Supernova apărută în 1987 în Norul Mare al lui Magelan a avut ca sursă steaua Sanduleak -69 202. Numele lui îl poartă asteroidul **9403 Sanduleak** care se află la o distanță de 300 milioane km de Terra, adică de 2 ori mai departe decât Soarele. Un an pe acest asteroid care are un diametru de circa 15 km, durează 4 ani tereștri.

ASTEROIDUL 9493 ENESCU

Asteroidul **9493 Enescu**, descoperit în 1971 la Observatorul de la Palomar, poartă numele celui mai cunoscut compozitor român, George Enescu. Asteroidul este situat la peste 250 milioane km depărtare și are până la 9 km în diametru.

ASTEROIDUL 9494 DONICI

Asteroidul **9494 Donici** poartă numele ilustrului astronom român basarabean Nicolae Donici (1884-1956 ?), fondatorul primului Observator astronomic din Basarabia (1908, Dubăsarii Vechi). El a fost unul dintre membrii fondatori ai Uniunii Astronomice Internaționale și primul reprezentant al României în acest for. S-a ocupat cu studiul Soarelui, observând șase eclipse totale.

ASTEROIDUL 9495 EMINESCU

Poetul Mihai Eminescu este immortalizat pe cer și prin asteroidul **9495 Eminescu**, descoperit în 1971 la Observatorul de la Palomar. Este situat la o distanță medie de 250 milioane km de Terra și face o rotație completă în jurul Soarelui în 3,23 ani. Diametrul asteroidului **9495 Eminescu** nu depășește 6 km.

ASTEROIDUL 10034 BIRLAN

Asteroidul **10034 Birlan**, descoperit în 1981 în SUA, poartă numele astronomului **Mirel Birlan**, care lucrează la Institutul de Mecanică Cerească și Calculul Efemeridelor din Paris. El se ocupă cu studiul dinamicii corpurilor mici din Sistemul solar.

ASTEROIDUL 12498 DRAGESCO

Biologul și astronomul amator Jean Dragesco, care locuiește în prezent în Franța, a "primit" un asteroid cu ocazia împlinirii a 80 de ani, în anul 2000. Asteroidul **12498 Dragesco** a fost descoperit în 1998 și are un diametru ce nu depășește 10 km.

COMETA DAIMACA 1943C

Victor Daimaca, era un profesor de matematică din Târgu-Jiu. Pasiunea sa era astronomia și, în special, căutarea cometelor. Cu un binoclu, Daimaca, la 3 septembrie 1943, a observat o cometă nouă la limita dintre constelațiile Lynx și Ursa Major. A fost prima cometă descoperită de un român, fiind înregistrată la Centrul Internațional de la Copenhaga sub denumirea de **cometa Daimaca 1943c**. La mai puțin de 4 luni de la prima descoperire, la 16 decembrie 1943, Daimaca a găsit o a doua cometă, însă aceasta era descoperită concomitent și de astronomii Van Gent și Peltier, fapt pentru care s-a numit **cometa van Gent-Peltier-Daimaca 1943 W1**. **Cometa Daimaca 1943c** este acum situată foarte departe de Terra, la 21 miliarde km.

Material pregătit de Stefan D. Tiron
Primit la redacție: 22 septembrie 2008

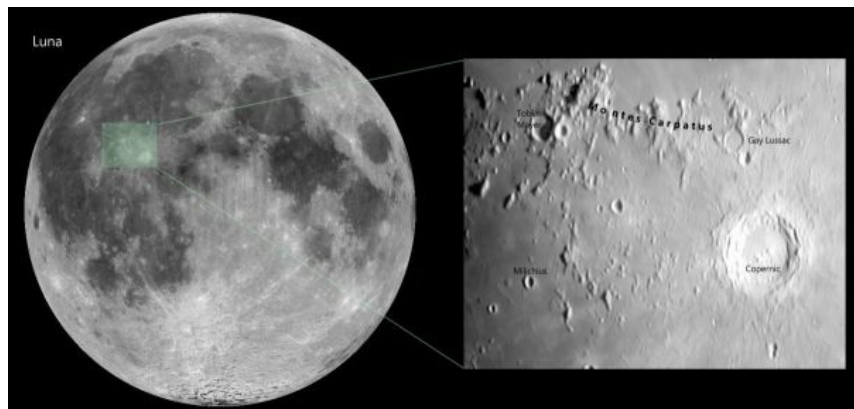
¹Toți asteroizii cu nume de români fac parte din centura principală de asteroizi, situată între planetele Marte și Jupiter.

Notă: la pregătirea prezentului material au fost folosite date de pe www.astro-urseau.ro

MUNȚII CARPAȚI DE PE LUNĂ

Pe discul Lunii se pot observa și cu ochiul liber pete întunecate de diferite forme, dar și regiuni luminoase. Încă în secolul XVII aceste pete au început să fie numite mări. Pe atunci se considera că pe Lună este apă, deci trebuie să existe mări și oceane ca și pe Pământ. Astronomul italian Giovanni Riccioli (1598-1671) le-a dat denumiri care se folosesc și astăzi: Oceanul Furtunilor, Marea Ploilor, Marea Frigului, Marea Seninătății, Marea Liniștii, Marea Fertilității, Marea Crizelor, Marea Norilor etc. Aceste toponime ne sugerează ideea că la acea vreme astronomii considerau că Luna ar influența clima pe Pământ. Însă în 1753 matematicianul și astronomul croat R. Boșcovic (1711-1787) a demonstrat că Luna nu are atmosferă, de unde rezultă că pe suprafața Lunii nu poate să existe apă în stare lichidă, deoarece în lipsa atmosferei ea s-ar evapora instantaneu.

Galileo Galilei a descoperit cu ajutorul lunetei construite de el în 1609 că formațiunile luminoase de pe Lună reprezintă munți, și chiar lanțuri de munți. Acestea li s-au dat denumiri ale munților de pe Pământ: Alpi, Apenini, Pirenei, Caucaz. Unii munți au forma circulară și au fost numiți cratere sau circuri. Riccioli a propus să se dea craterelor numele marilor învățați ai antichității, dar și contemporani: Platon, Aristotel, Arhimede, Aristarh, Eratostene, Hipparh, Ptolemeu, Copernic ș.a. Mai târziu, au fost atribuite și alte denumiri de cratere.



Poziția munților Carpați de pe Lună (www.astro-urseau.ro)

Unul dintre lanțurile muntoase de pe Lună a primit numele de Montes Carpatum (Munții Carpați). Montes Carpatum formează marginea de sud a unei mări lunare numite Mare Imbrium. Cel mai înalt vârf muntos are 2400 m înălțime. Foarte aproape de Montes Carpatum se află craterul Copernic. Montes Carpatum s-au format acum 3,5 miliarde de ani. Munții Carpați de pe Lună pot fi observați cel mai bine prin telescop sau binoclu la două zile după faza de prim pătrar până la lună plină.

Stefan D. Tiron
Lector univ. superior

**ȘCOALA ASTRONOMICĂ DE VARĂ „GAMOW”, EDIȚIA A 8-A
„ASTRONOMIA LA FRONTIERA DINTRE ȘTIINȚE – ASTROFIZICA,
COSMOLOGIA, RADIOASTRONOMIA, ASTROBIOLOGIA”
18-23 AUGUST 2008, ODESSA, UCRAINA**

În perioada 18-23 august 2008, la Universitatea Națională „I. I. Mecinikov” din Odessa s-a desfășurat Școala astronomică de vară „Gamow”, cu genericul „Astronomia la frontiera dintre științe – astrofizica, cosmologia, radioastronomia, astrobiologia”. Prelegerile și conferințele prezentate în cadrul manifestării s-au referit la domeniile de actualitate ale astronomiei: cosmologie, astrofizică, fizica Soarelui și a Sistemului solar, astrobiologie, radioastronomie. Astronomi cu renume din Ucraina și Rusia au trecut în revistă cele mai recente realizări din astronomie: prof. A. I. Juk (Universitatea Națională din Odessa) „Cu privire la problema inflației în modelele cosmologice multidimensionale”, prof. A. D. Cernin (Institutul Astronomic „Șternberg”, Moscova) „Compoziția energetică a Universului: noua simetrie”, prof. S. M. Andrievski (Observatorul Astronomic al Universității Naționale din Odessa) „Evoluția chimică a Universului”, prof. N- S. Sidorenkov (Rosgidromet, Moscova) „Efectele mareelor luni-solare în evoluția vremii și a climei”, prof. A. A. Minakov (Institutul de Radioastronomie al AȘ a Ucrainei) „Cercetarea materiei întunecate după imaginile cvasarilor în lentilele gravitaționale” ș.a.

Școala astronomică de vară „Gamow” este organizată în fiecare an de Catedra de Astronomie și Observatorul Astronomic al Universității Naționale din Odessa, Asociația Astronomică din Ucraina, Institutul de Radioastronomie al Academiei Naționale de Științe a Ucrainei, Societatea Astronomică din Odessa și Societatea Astronomică Internațională din Moscova.

Stefan D. Tiron
Participant la Școala de vară „Gamow”

2009 – ANUL INTERNAȚIONAL AL ASTRONOMIEI

Uniunea Astronomică Internațională (UAI) a anunțat Anul Internațional al Astronomiei 2009. UAI va coordona acțiunile Anului Internațional al Astronomiei. Această inițiativă este o oportunitate pentru cetățenii Pământului de a pătrunde mai adânc rolul astronomiei în îmbogățirea tuturor culturilor umane. În plus, ea va servi drept o platformă pentru informarea publicului larg despre cele mai recente descoperiri din astronomie, subliniind rolul esențial al astronomiei în educația științifică.

Uniunea Astronomică Internațională este o organizație care întrunește aproape 10 000 de astronomi cu renume din toate țările lumii. Misiunea ei este să promoveze și să păstreze știința astronomiei sub toate aspectele ei prin cooperare internațională. UAI servește, de asemenea, drept autoritatea internațională recunoscută pentru atribuirea de denumiri corpurilor cerești și oricărui particularități de pe suprafața acestora. Înființată în 1919, UAI este cel mai mare organism profesional din lume al astronomilor. Adunarea Generală a UAI se convoacă o dată la trei ani și este una dintre cele mai ample și mai diversificate reuniuni în calendarul comunității astronomice.

EVANGELISTA TORRICELLI (400 ANI DE LA NAȘTERE)

Conf. univ. dr. **Mihai Marinciuc**
Conf. univ. dr. **Spiridon Rusu**
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău

Evangelista Torricelli s-a născut la 15 octombrie 1608 într-un mic orașel italian, Faenza, în familia unui meșteșugar. Rămas orfan la vârstă fragedă, a fost educat de un unchi al său, călugăr iezuit. Studiile primare le-a făcut la școala iezuiților din localitate, unde a urmat cursuri de matematică și de filozofie. Profesorii au observat capacitățile deosebite ale tânărului Evangelista și au propus familiei sale să-l trimită la Roma pentru a urma studii avansate. Aici el a devenit elev al matematicianului, vestit în acele timpuri, Benedetto Castelli, prieten și discipol al lui Galileo Galilei.

Primele investigații ale lui Torricelli se referă la teoria liniilor curbe din domeniul geometriei. Lucrările respective au fost publicate în cartea sa postumă „Opera matematica”.

Fiind familiarizat, prin intermediul lui Castelli, cu lucrările lui Galileo, Torricelli, impresionat de noile idei științifice și metode de cercetare, și-a consacrat activitatea domeniilor de cercetare ale acestuia.

Rezultatele obținute de către Torricelli în mecanică au fost publicate în 1641, la Florența, în lucrarea „Trattato del moto del gravi” („Tratat despre mișcare și greutate”). Tradusă în latină, lucrarea apare în 1644 sub denumirea „De motu gravium descendendum et projectorum libri duo” („Despre mișcarea liberă a corpurilor în cădere și a celor aruncate”). Aceasta a fost unica lucrare publicată de către Torricelli pe timpul vieții sale.

În prima parte a lucrării au fost confirmate și dezvoltate unele dintre rezultatele obținute de către Galileo. A confirmat rezultatul lui Galileo privind viteza corpului lăsat să cadă liber: *viteza corpului este proporțională cu timpul căderii și nu cu distanța parcursă*, cum se credea până la Galileo. Independent de Galileo, a demonstrat de asemenea că viteza atinsă de corpurile lăstate să se miște pe plane înclinate de înălțimi egale atinge una și aceeași valoare la baza planului, oricare ar fi unghiul format de plan cu orizontala.

Torricelli a dezvoltat teoria lui Galileo privind mișcarea liberă a corpurilor aruncate. În timp ce Galileo a cercetat doar mișcarea corpurilor aruncate orizontal, Torricelli a studiat cazul general de mișcare a corpului aruncat oblic față de orizontală, demonstrând că și în acest caz traiectoria lui este o parabolă. A demonstrat reversibilitatea mișcării corpului aruncat: dacă corpului aflat în punctul de cădere i se imprimă o viteză egală în modul cu cea avută de el la momentul căderii, dar orientată în sens contrar, traiectoria lui este identică cu cea parcursă până la cădere, dar de această dată corpul se mișcă în sens invers până la poziția ocupată de el la momentul inițial.

Torricelli a studiat echilibrul unui sistem de două corpuri legate și a stabilit că ele se află în această stare în cazul în care la deplasările corespunzătoare cu legătura centrul comun de greutate al lor nu poate coborî. Această afirmație este cunoscută sub numele de *principiul lui Torricelli*. Ulterior acest principiu a fost generalizat de către Huygens pentru un sistem de mai multe corpuri și pus la baza teoriei ceasornicelor cu pendul, elaborată

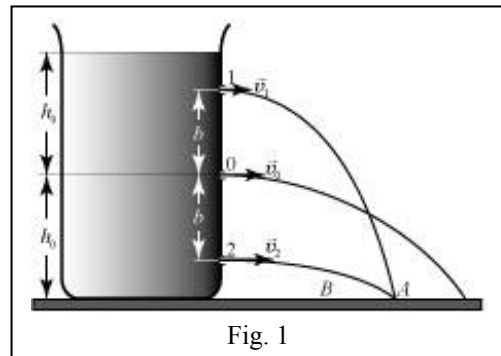


Fig. 1

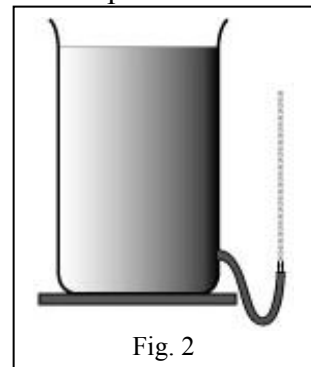


Fig. 2

de el.

O bună parte a lucrării este consacrată problemei curgerii lichidului prin orificii, problemă studiată din punctul de vedere al ideilor lui Galileo despre mișcare, precum și al rezultatelor obținute de către Castelli în acest domeniu. Torricelli a stabilit că jetul de apă, ieșit prin orificiul din peretele lateral al vasului, are formă parabolică. Jetul ajunge la o distanță mai mare (pe orizontală) de la peretele vasului, dacă orificiul se află la mijlocul înălțimii coloanei de apă. Dacă însă jeturile ies prin orificii situate mai jos sau mai sus de orificiul de mijloc, la distanțe egale de acesta, ele parcurg distanțe orizontale egale (fig. 1). Orientând jetul de apă vertical în sus, Torricelli a constatat că înălțimea la care el urcă este puțin sub nivelul lichidului din vas (fig. 2). Torricelli a admis că în lipsa rezistenței opuse curgerii lichidului jetul ar fi urcat la nivelul din vas, ceea ce este o ilustrare a legii conservării și transformării energiei, stabilite mai târziu.

Forma parabolică a jetului de apă i-a sugerat o analogie cu mișcarea liberă a corpului aruncat oblic. Pentru a confirma analogia Torricelli a realizat un experiment original: a determinat cantitățile de lichid scurse prin orificiu în intervale succesive și egale de timp. El a constatat că în fiecare interval de timp ulterior prin orificiu curge o cantitate de lichid mai mică decât cea care a curs în intervalul precedent. Dacă cantitatea de lichid ce s-a scurs prin orificiu în ultimul interval de timp se ia drept unitate, atunci cea care s-a scurs în intervalul precedent este egală cu 3 unități, iar cea din intervalul anterior – cu 5 unități ș.a.m.d. Așadar, raportul acestor cantități de lichid este egal cu raportul numerelor impare, 1:3:5:7 Același raport se obține pentru distanțele parcurse în intervale egale de timp de corpul aruncat vertical în sus, dacă se ia drept unitate distanța parcursă de el în ultimul interval de timp. Analogia intuitivă a fost demonstrată experimental. În baza acestei analogii Torricelli a formulat principiul, conform căruia viteza jetului de apă care curge din orificiu este egală cu viteza pe care ar poseda-o un corp greu, deci și o picătură de apă din acest vas, căzând liber de la nivelul lichidului din vas până la nivelul orificiului. Pentru valoarea acestei viteze a fost stabilită expresia

$$v = a\sqrt{h}, \quad (1)$$

unde h este diferența dintre nivelul lichidului din vas și nivelul orificiului, iar a este o mărime constantă.

Prin formula (1) Torricelli a corectat rezultatul lui Castelli care considera că viteza de curgere $v \sim h$. Tot în baza acestei formule a stabilit că raportul intervalelor de timp t_1 și t_2 în care coloanele de lichid de înălțimi h_1 și h_2 se scurg în întregime din vas satisfac condiția $t_1 : t_2 = \sqrt{h_1} : \sqrt{h_2}$.

Formula (1) pentru viteză a fost precizată în secolul XVIII de către Daniel Bernoulli (1700–1782) care a scris-o sub forma

$$v = \sqrt{2gh}, \quad (2)$$

unde g este accelerația gravitațională. Relația (2) poartă numele de *formula lui Torricelli* și este inclusă în manualele de fizică.

În baza formulei (2) putem explica situația reprezentată în fig. 1. Coloana de apă de deasupra orificiului 1 are înălțimea $h_1 = h_0 - b$, deci viteza de curgere a lichidului prin acest orificiu $v_1 = \sqrt{2gh_1} = \sqrt{2g(h_0 - b)}$. Corespunzător, în cazul orificiului 2 avem $h_2 = h_0 + b$ și $v_2 = \sqrt{2gh_2} = \sqrt{2g(h_0 + b)}$. Înălțimea orificiului 1 deasupra mesei pe care se află vasul cu lichid este $H_1 = h_0 + b$, deci intervalul de timp t_1 în care picătura ce iese prin orificiu ajunge la masă și care este egal cu timpul căderii libere de la această înălțime, se determină din condiția $H_1 = gt_1^2/2$, de unde $t_1 = \sqrt{2H_1/g} = \sqrt{2(h_0 + b)/g}$. Orificiul 2 se află la înălțimea $H_2 = h_0 - b$ deasupra mesei și timpul $t_2 = \sqrt{2(h_0 - b)/g}$.



Fig. 3

Distanța parcursă pe orizontală de jetul ieșit prin orificiul 1 are valoarea $L_1 = v_1 t_1 = 2\sqrt{h_0^2 - b^2}$, iar distanța parcursă de al doilea jet $L_2 = v_2 t_2 = 2\sqrt{h_0^2 - b^2}$.

Astfel se demonstrează că $L_1 = L_2$, adică jeturile ieșite prin orificiile 1 și 2 (fig. 1) cad în același loc al mesei. Din expresiile obținute se observă că distanța L este maximă dacă $b = 0$ și $L_{\max} = 2h_0$. Jetul de apă ieșit prin orificiul situat la mijlocul înălțimii coloanei de apă parcurge pe orizontală distanța maximă, aceasta fiind egală cu înălțimea coloanei de apă din vas.

Rezultatele lui Torricelli în domeniul hidrodinamicii au fost înalt apreciate de posteritate. Cunoscutul fizician austriac Ernst Mach (1839 – 1916) l-a numit *fondatorul hidrodinamicii*.

Castelli l-a recomandat pe Torricelli pentru ocuparea postului de asistent personal al lui Galileo la efectuarea cercetărilor științifice. Colaborarea lor însă a fost de scurtă durată, pentru că în ianuarie 1642 Galilei s-a stins din viață. După moartea lui Galileo, Marele Duce de Toscana l-a angajat pe Torricelli în postul rămas vacant de filozof și prim matematician al Majestății sale.

Torricelli s-a dovedit a fi un destoinic discipol și continuator al lui Galilei. El a contribuit la perfecționarea metodei de măsurare a temperaturii, propunând un termoscop special cu alcool – predecesorul termometrului cu lichid, în locul termoscopului lui Galilei.

Începând cu anul 1642, Torricelli a efectuat cercetări în domeniul opticii având ca scop perfecționarea lunetelor și a microscopelor. În prezent la Florenza se mai păstrează o lentilă confecționată de Torricelli, care fiind verificată în 1923 prin metodele de interferometrie s-a dovedit a fi o lentilă aproape perfectă.

O descoperire efectuată de asemenea în continuarea cercetărilor lui Galilei i-a adus lui Torricelli o faimă mondială. Este vorba că la Florenza apa folosită la udarea legumărilor și livezilor era scoasă din fântâni cu ajutorul pompelor de absorbție. Acestea reprezentau un tub cu piston prevăzut cu supape. La ridicarea pistonului apa urca după el, fenomen explicat atunci prin „oroarea de vid”. S-a constatat însă că în cazul fântânilor mai adânci apa nu poate urca în urma pistonului pompei la înălțimi ceva mai mari de 10 m.

Continuând cercetările lui Galilei care a încercat să explice acest fenomen, Torricelli a decis să efectueze un experiment în care coloana de apă este înlocuită cu una de mercur (a cărui densitate este de circa 14 ori mai mare decât a apei). Sub îndrumarea și la rugămintea lui Torricelli experimentul a fost realizat în 1643 de către Viviani. Un tub subțire de sticlă cu lungimea de circa 1 m, sudat la un capăt, a fost umplut cu mercur, răsturnat cu capătul deschis în jos (fig. 3, a) și introdus într-un vas cu mercur. S-a observat că doar o parte din mercurul din tub s-a scurs în vas (fig. 3, b).

Torricelli a constatat că înălțimea coloanei de mercur rămasă în tub este de circa 76 cm, adică aproximativ de 14 ori mai mică decât înălțimea maximă a coloanei de apă ce urcă în urma pistonului pompei de absorbție. Înălțimea coloanei de mercur este de atâtea ori mai mică decât a celei de apă, de câte ori densitatea mercurului este mai mare decât a apei.

Acest experiment a fost repetat în mai multe variante. În unul din ele (fig. 4), două tuburi diferite au fost introduse în unul și același vas cu mercur. S-a constatat că înălțimile coloanelor rămase în ele sunt egale, în timp ce spațiile vidate din tuburi au volume diferite. În urma acestor și a altor experimente cu tuburi de forme diferite s-a ajuns la concluzia că nu vidul este cauza urcării mercurului în tuburi. Cauza se află în exteriorul tubului.

Torricelli și-a expus rezultatele observațiilor sale în două scrisori expediate unui prieten al său, matematicianul și cardinalul Michelangelo Ricci. În prima din ele (11 iunie 1644) el scrie clar că mercurul „urcă până la nivelul, la care el echilibrează greutatea aerului exterior ce produce presiune

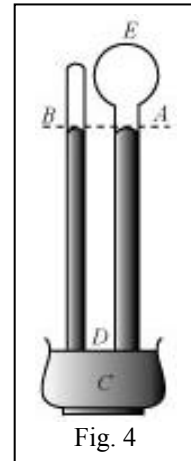


Fig. 4

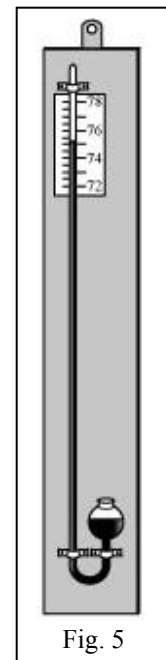


Fig. 5

asupra lui”. Un argument în favoarea acestei concluzii sunt valorile raporturilor dintre densitățile mercurului și apei, pe de o parte, și cele ale înălțimilor coloanelor rămase în tuburi, pe de altă parte, menționate mai sus. În cea de-a doua (28 iunie 1644) Torricelli încearcă să prezinte o schiță a teoriei presiunii atmosferice.

Prin aceste experiențe Torricelli a realizat *două descoperiri importante: a demonstrat posibilitatea obținerii vidului și existența presiunii atmosferice*. Destul de convingător în acest sens a fost un alt experiment: deasupra mercurului în care era introdus tubul cu coloana de mercur în el a fost adăugat un strat de apă, apoi tubul a fost ridicat; la momentul de timp la care capătul deschis, inferior, al tubului a trecut în apă, mercurul din tub a curs în vas și în tub a fost absorbită apă până la capătul sudat. Astfel s-a demonstrat că spațiul de deasupra coloanei de lichid din tub într-adevăr era vidat.

În urma observațiilor Torricelli a constatat că înălțimea coloanei de lichid rămasă în tub variază în funcție de starea atmosferei și de temperatura ei, ceea ce este încă un argument în favoarea existenței presiunii atmosferice. Acest instrument poate fi folosit pentru a cerceta starea atmosferei, a face prognoze meteo. Ulterior el a fost numit *baroscop*, apoi *barometru*, iar Torricelli este considerat inventatorul lui. În *fig. 5* este reprezentat un barometru cu sifon.

Torricelli a încercat să aplice cunoștințele obținute la explicarea unor fenomene atmosferice. În această ordine de idei a susținut în 1644 lecția „Despre vânt” (în *figura 7* este prezentată imaginea copertei lucrării respective publicate în 1715). După Torricelli vântul este condiționat de faptul că densitatea aerului în diferite locuri nu este una și aceeași. Astfel, au fost puse bazele concepției despre circulația generală a aerului din atmosfera terestră.

Rezultatele obținute de Torricelli au atras atenția altor savanți asupra experiențelor sale. Savantul francez Blaise Pascal a repetat experimentele lui Torricelli folosind tuburi de sticlă cu lungimi de circa 12 m cu apă, mercur și vin roșu, confirmând rezultatele lui.

Ideea unui alt experiment i-a fost sugerată lui Pascal de către René Descartes, care considera că presiunea atmosferică scade odată cu creșterea înălțimii deasupra Pământului. Măsurătorile realizate în 1648 au confirmat această presupunere.

În urma acestor serii de experimente concepțiile lui Torricelli privind existența presiunii atmosferice au fost deplin confirmate.

Torricelli a încetat din viață la Florenza, în data de 25 octombrie 1647, la doar 10 zile după ce împlinise vârsta de 39 ani. Numele lui s-a încetățenit în fizică, în *experiența lui Torricelli*, *formula lui Torricelli*, *principiul lui Torricelli*. În onoarea lui a fost numită și o unitate de presiune – torr. Un torr este presiunea produsă de o coloană de mercur cu înălțimea de 1 milimetru: $1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg} = 133 \text{ Pa}$.

Bibliografie

1. J.-C.Boudenot. Histoire de la Physique et des Physiciens, Ellipses, Paris, 2001.
2. N.Chiorcea. Fizicieni și inventatori celebri. Editura Știință și Tehnică, București, 2001.
3. A.Rousset, J.Six. Des Physiciens de A à Z, Ellipses, Paris, 2000.
4. Г. М.Голин, С. П.Филонович. Классики физической науки. Высшая школа, Москва, 1989.
5. Я.Г.Дорфман. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII века. Наука, Москва, 1974.
6. П. С. Кудрявцев. Эванджелиста Торричелли. Знание, Москва, 1958.
7. П. Лакур, Я. Аппель. Историческая физика, т.1. Госиздат, Москва, 1929.
8. Ф. Розенбертер. История физики, ч. II., ГРТТЛ, Москва, 1937.



Fig. 6

Primit la redacție: 30 iunie 2008

N.r. Articolul se publică cu unele prescurtări.