OBAVEŠTENJE UREDNIŠTVA

MLADI FIZIČAR objavljuje članke i kraće dopise koji doprinose popularizaciji fizike i srodnih nauka među učenicima i svima koje interesuju prirodne nauke.

PRILOZI KOJE NAM ŠALJETE, osim rešenja zadataka, treba da budu otkucani sa dvostrukim proredom na hartiji formata A4 i ne treba da budu duži od **pet kucanih strana**. Crteži moraju biti izrađeni tušem na posebnoj hartiji. Na odvojenom listu treba ispisati ime i prezime, zvanje i zanimanje, adresu i broj žiro računa, odnosno potpisanu izjavu da se ne poseduje žiro račun. Takođe treba dostaviti opštinsku stopu poreza i doprinosa na autorske honorare i broj računa na koji se porezi i doprinosi uplaćuju.

RUKOPISI SE NE VRAĆAJU. Uređivački odbor zadržava pravo da rukopise rediguje bez traženja posebne saglasnosti autora, i da ih objavljuje redom koji ne zavisi od reda prispeća.

MLADI FIZIČAR izlazi četiri puta godišnje, a **GODIŠNJA PRETPLATA ZA SVA ČETIRI BROJA IZNOSI 200 DINARA**. Možete da postanete pretplatnici kada to poželite. Potrebno je samo da nas običnim pismom obavestite o **broju kompleta** na koje se pretplaćujete, da napišete svoju adresu i da istovremeno izvršite uplatu potrebne sume novca na žiro račun Društva fizičara Srbije:

60806-678-77766,
sa obaveznom naznakom: „Mladi fizičar", 1983/84.

AKO NARUČITE VIŠE OD 20 KOMPLETA odobravamo vam rabat od 20%, 15%, odnosno 10% zavisno od roka do kog je izvršena uplata potrebne sume (1.12, 1.02. odnosno 1.04).

AKO NARUČITE 100 i VIŠE KOMPLETA časopisa „Mladi fizičar" nastavnik fizike odnosno škola besplatno dobija **„PREGLED"**, zbornik predavanja održanih na Republičkom seminaru o nastavi fizike u osnovnim i srednjim školama, obima 16 autorskih tabaka. Ovaj seminar organizuje Društvo fizičara Srbije jednom godišnje.

MOŽETE NARUČITI I NEKE, BROJEVE RANIJIH GODIŠTA, po ceni od 35 din. za primerak do kraja 1983/84. školske godine.

Prodajna cena časopisa van pretplate, u principu, odredjuje se svake školske godine, i formira se i na osnovu troškova koji nisu uključeni u pretplatu u toku školske godine kao godine izlaženja pojedinog broja.

Narudžbenice i priloge slati na adresu:
Društvo fizičara Srbije
(za časopis Mladi fizičar)

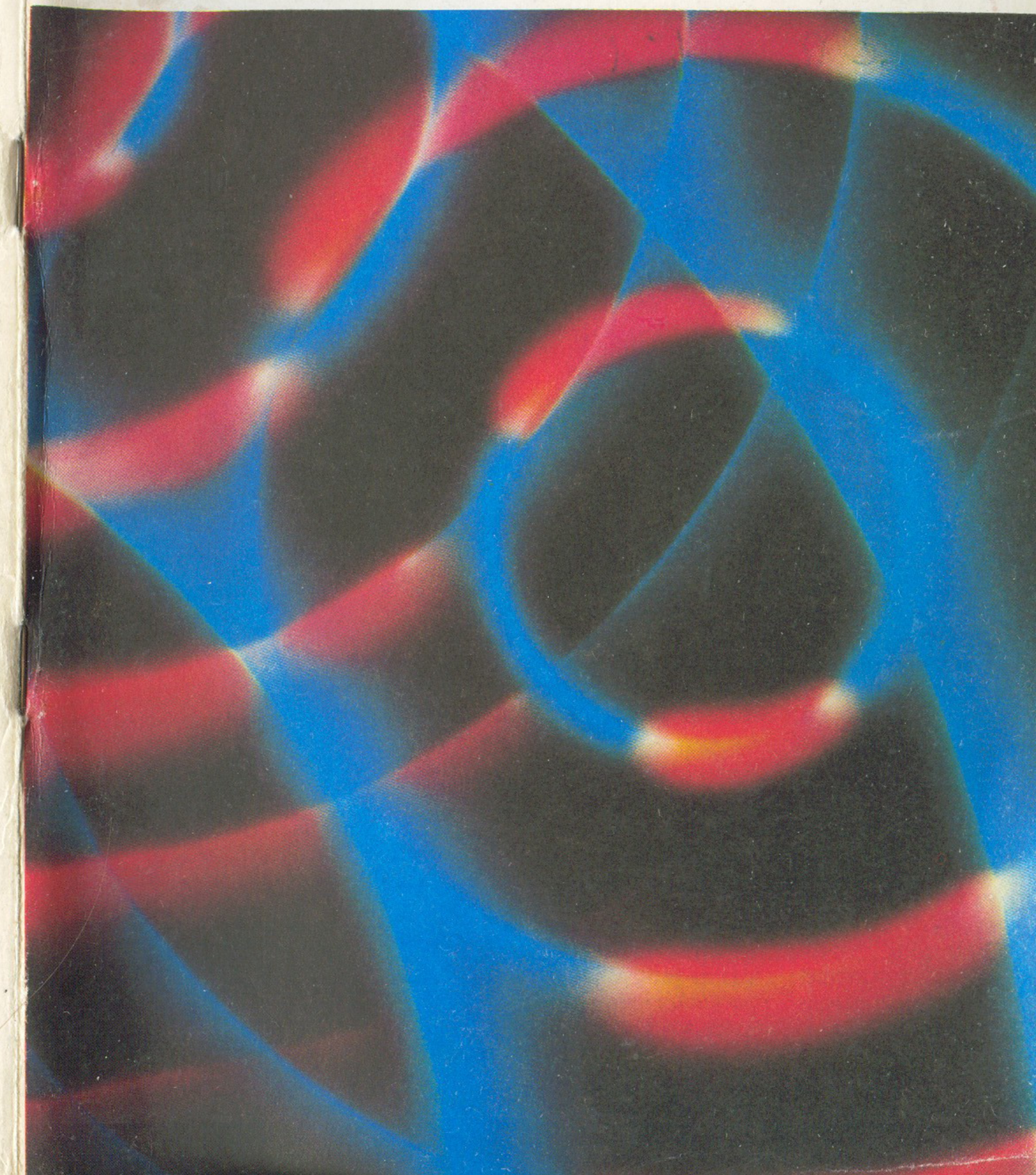
Maksima Gorkog 118, 11080 Zemun.

Evidencija pretplate: (011) 478-758, Dragana Cerović.
Sva obaveštenja: (011) 212-219, Zorka Zeljug

YU ISSN 0351-5575

31-32 mladi fizičar

83/84 časopis iz fizike za učenike



DRUŠTVO FIZIČARA SRBIJE
SERBIAN PHYSICAL SOCIETY

MLADI FIZIČAR
Naučno-obrazovni časopis iz fizike za učenike osnovne i srednjih škola
godina VIII, broj 31–32 (1983/84)

YOUNG PHYSICIST
Magazine for elementary and secondary school students
JEUNE PHYSICIEN
Journal pour les éléves des écoles élémentaires et secondaires
JUNGER PHYSIKER
Zeitschrift fur Volks- und Mittelschüler
МОЛОДОЙ ФИЗИК
Журнал для учеников основной и средних школ

IZDAJE
DRUŠTVO FIZIČARA SRBIJE
11080 Zemun, Maksima Gorkog 118

Glavni i odgovorni urednik
Draško GRUJIĆ

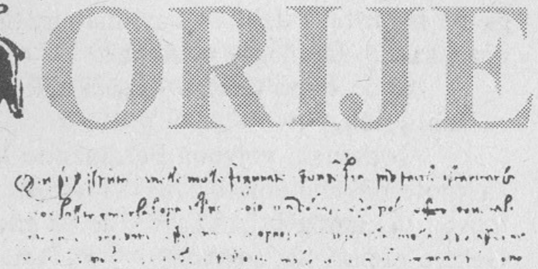
Kolektivni urednik:
Božidar S. MILIĆ, Jaroslav LABAT,
Svetozar BOŽIN, Slobodan ŽEGARAC,
Jablan DOJČILOVIĆ

Uređivački odbor
Radenko BAJIĆ, Jadranka BOGOVAC,
Svetozar BOŽIN, Milan DIMITRIJEVIĆ,
Draško GRUJIĆ, Tomislav PETROVIĆ,
Stjepan PLANIĆ, Budo RADOJEVIĆ,
Tomislav SENĆANSKI, Aleksandar SREĆKOVIĆ,
Čedomir STANKOVIĆ, Gavrilo VUKOVIĆ

Ilustracije: N. Ubović, S. Milić i B. Vild

Sva prava umnožavanja, preštampavanja i prevođenja zadržava
Društvo fizičara Srbije
Oslobođeno plaćanja poreza na promet na osnovu rešenja Republičkog sekretarijata za kulturu SR Srbije, br. 329, od 29. IX 1976. godine.
Štampa: BIGZ–Beograd, Bulevar vojvode Mišića 17

IZ ISTORIJE



Dragan Redžić
Prirodno-matematički fakultet
BEOGRAD

ZAKONI KRETANJA ISKAZANI JEZIKOM PRIRODE

1. Pokušajte najpre da zaboravite sve što znate o brzini, ubrzanju, Zemljinoj teži. Zamislite da živite u svetu u kojem niko ne zna kako napraviti časovnik čiji su svi periodi jednaki. (Pod „časovnikom" podrazumevamo neku pojavu koja se pravilno ponavlja, recimo dan i noć; dužinu trajanja jednog ciklusa nazivamo periodom.) Neka su vaši najtačniji instrumenti za merenje kratkih intervala vremena vodeni sat ili sopstveno srce.

2. Vinčenco Galilej, muzičar iz Firence, siromašni plemić i otac sedmoro dece, dugo je razmišljao kakvu profesiju da izabere za svog najstarijeg sina, Galilea. Dečak je bio talentovan za muziku i slikarstvo, pokazivao je sklonost ka matematici i fizici. Ali... Vinčenco je na kraju ocenio da će, ipak, najsigurniju budućnost Galileu obezbediti profesija lekara (mada će troškovi studija biti veliki). Sledeći očev savet, sedamnaestogodišnji Galileo započeo je studije medicine na Univerzitetu u Pizi (1581. godine).

Pre nego što bi počeo da izučava medicinu, ondašnji student je morao da prouči – tačnije, da nabuba – Aristotelovu filosofiju. U Aristotelovim spisima govori se bukvalno o svemu. „Nema, čini se, ni jedne pojave dostojne pažnje pored koje bi on (Aristotel), prošao, a da je ne dodirne", pisao je kasnije Galileo. U to vreme Aristotelovu filosofiju su na univerzitetima predavali u čudovišnom obliku: kao skup tvrđenja smatranih poslednjim istinama sveta, bez ikakvih obrazloženja ili dokaza. O neslaganju sa Aristotelom nije moglo biti ni pomena.

Galilea je najviše zanimalo šta piše Aristotel u „Fizici". Za razliku od drugih on nije slepo verovao svakoj reči helenskog filosofa. To je usvojio izučavajući njegovu logiku: „Sam Aristotel me je naučio da zadovoljavam svoj razum samo onim u šta me ubede rasuđivanja, a ne samo autoritet učitelja". Pored Aristotela, čitao je i druge antičke autore, među kojima su najdublji utisak na njega ostavili Arhimed i Euklid.

Proučavanje matematike i fizike oduzima Galileu mnogo više vremena nego studije medicine.[1] Posledice se mogu lako pogoditi. Posle četiri godine studiranja, on se vraća u Firencu bez diplome doktora. Ali „demon filosofije"

ga ne napušta. I dalje se bavi matematikom i fizikom, u početku krišom od oca a kasnije uz njegov pristanak.

Ovde ćemo navesti još nekoliko činjenica iz Galileovog života vezanih za našu priču.

Toskanski vojvoda Ferdinando Mediči postavlja Galilea 1589. godine za profesora matematike na Univerzitetu u Pizi, po preporuci jednog Galileovog uticajnog prijatelja. Posle tri godine, pored ostalog i zbog veće plate, Galileo prelazi na Univerzitet u Padovi, gde ostaje do 1610. godine. I u Pizi, i u Padovi, njegovo glavno zanimanje je proučavanje kretanja.

3. Šta je kretanje? Ako kažemo: kretanje tela znači isto što i promena položaja tela, onda reči „kretanje" pridajemo smisao danas uobičajen u fizici. Ali ako umesto „telo je prešlo iz A u B", kažemo „telo je iščezlo u A i pojavilo se u B", onda pod „kretanjem" podrazumevamo isto što i Aristotel. Ove dve definicije kretanja nemaju isto značenje; Aristotelova definicija dopušta mogućnost izvesne diskontinuiranosti kretanja. Galileo nije odgovarao na pitanje šta je kretanje. On je pokušavao da otkrije „pojave u kretanju vredne znanja, još neopažene i još neobjašnjene. „Istraživao je najpre kretanje koje se tako često dešava pred očima svih, a koje je tako dugo „izmicalo pažnji filosofa" – padanje.

Kao što je bilo uobičajeno u to vreme, trebalo je prvo videti šta o padanju kaže Aristotel. „Tela koja imaju veću silu težine ili lakoće, ako u ostalom ona imaju jednaku figuru, brže prolaze ravan prostor u tom proporcionalnom odnosu, u kojem se ukazane veličine odnose jedna prema drugoj. „Znači, po Aristotelu, brzine tela koja podaju proporcionalne su njihovoj težini. Osim toga, Aristotel je smatrao da se pri padanju tela u bilo kojoj sredini – vodi ili vazduhu ili uopšte u sredinama različite gustine – telo kreće „ka svom mestu" brzinom koja je obrnuto proporcionalna gustini sredine. Tu je iskrsla teškoća, jer bi u vakuumu (čija je gustina nula) brzina morala biti beskonačno velika. Aristotel je zaključio da u prirodi ne postoji vakuum („priroda se plaši vakuuma").

Prvo Aristotelovo tvrđenje je osporavano još u srednjem veku, mada je neslaganje sa Aristotelom moglo biti veoma opasno. Naročito je ubedljiva bila kritika Galileovog savremenika Benedetija: ako imamo dva tela, teško i lako, onda, po Aristotelu, teško telo pada brže. Kad sjedinimo ta dva tela, prirodno je pretpostaviti da lako telo usporava teško i da je brzina padanja novog tela manja od brzine teškog, a veća od brzine svakog od ova dva tela, što je očigledno protivrečno. Benedeti je smatrao da brzina padanja zavisi od specifične težine i čak je procenio da je brzina olova 11 puta veća od brzine drveta.

Galileo je počeo da proučava padanje još u Pizi. Evo šta o tome piše njegov učenik Vivijani: „... Galilej se potpuno odao razmišljanjima i na veliko zaprepašćenje svih filosofa pokazao, posredstvom eksperimenata, solidnih dokaza i rasuđivanja, netačnost mnoštva Aristotelovih zaključaka, koji se odnose na kretanje, a koji su do tada smatrani savršeno očiglednim i nesumnjivim. Tu spada tvrđenje da tela od istog materijala, ali različite težine, nemaju brzinu proporcionalnu njihovoj težini, kako je smatrao Aristotel, nego se sva kreću jednakim brzinama. To je on dokazivao više puta ponovljenim eksperimentima, koje je izvodio sa vrha krivog tornja u Pizi, u prisustvu

drugih lektora i filosofa i sve učene bratije." Zapazite da se ovde govori samo o telima od istog materijala. Priča o Galileu koji baca kuglice sa tornja u Pizi sadrži i neke nefizičke detalje (na primer, o krčmaru koji širi glasine da će profesor Galilej skočiti sa vrha tornja).

Malopre pomenuti Benedeti izneo je zapažanje da se brzina padanja uvećava u toku kretanja tela. Da li je ovo tvrđenje tačno? U slučaju ravnomernog pravolinijskog kretanja brzina je jednaka količniku pređenog puta i vremena za koje je telo prešlo taj put. Ali šta kada se brzina tela menja? Da li se ona menja neprekidno ili skokovito? Postoji li uopšte zakon promene brzine padanja?

Galileo je verovao da se u prirodi sve dešava u skladu sa nekim nepromenljivim pravilima. Treba „čitati iz stalno otvorene knjige prirode", a „jezik na kome su napisani zakoni prirode je matematički...; znaci njegovi su trouglovi, krugovi i druge geometrijske figure." Ovu Galileovu misao, iskazanu pre skoro četiri veka, u doba kada je crkva bila gospodar duša, nosi u srcu svaki istraživač prirodnih pojava.

Brojnim eksperimentima Galileo je ustanovio da se „u vazduhu, brzine kugli od zlata, olova, bakra, porfira i drugih teških materijala, tako malo razlikuju da pri padu sa visine 100 lakata kugla od zlata sigurno ne prestiže onu od bakra više od četiri palca." (Za Aristotela i njegove sledbenike, Galileove savremenike, eksperiment predstavlja suvišno i nedostojno zanimanje kako pri traženju istine, tako i pri njenoj proveri.) Galileo je posmatrao padanje tela i u vodi, rastvorima i raznim drugim sredinama i uvideo da su oba Aristotelova tvrđenja o padanju pogrešna. Nemoguće je tačno rekonstruisati put kojim se došlo do naučnog otkrića. Galileo kaže da je postao „ubeđen... da je veoma verovatno da bi u vakuumu sva tela padala jednakom brzinom", i da razlike u brzini padanja potiču od potiska i otpora sredine. „Ako pretpostavimo da je ovo tačno sledi da se... pri padanju tela čija je specifična težina stotinama puta veća od specifične težine vazduha može zanemariti gubitak brzine u vazduhu i smatrati da je brzina ista kao u vakuumu. „Galileo je verovao da se otpor vazduha može zanemariti samo ako tela padaju sa ne suviše velike visine. Naime, on je pretpostavljao da je otpor vazduha proporcionalan brzini tela i da će, uvećanjem brzine, otpor postati tako veliki da će sprečiti svako dalje ubrzavanje tela i ono će produžiti da se kreće ravnomerno. (Galileov stav da će „pramen vune i komad olova padati u vakuumu jednakom brzinom" bilo je moguće proveriti tek nekoliko godina posle njegove smrti.) Padanje tela u vakuumu („svako telo ima neodvojivu od sebe težnju da se kreće... ka opštem centru težine, to jest, ka centru naše Zemlje"), zvao je „slobodno padanje".

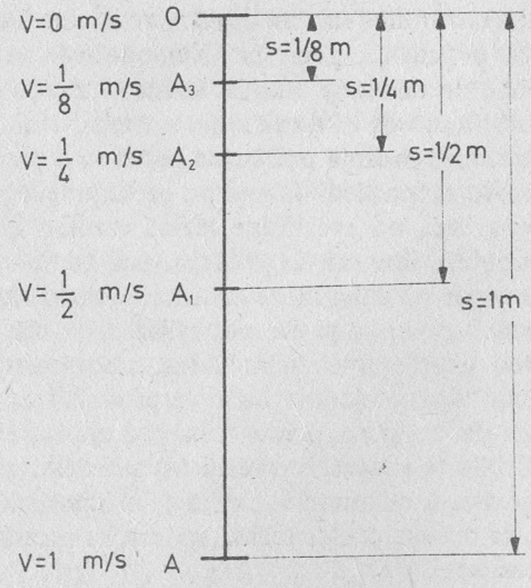
Kako naći zakon po kojem se menja brzina slobodnog padanja? Da li je Galileo mogao da izvrši seriju eksperimenata sa telima koja padaju, da izvede pažljivo merenja i da potraži zakonitost koja ih objašnjava? Sa vrha krivog tornja u Pizi kuglice padaju suviše brzo. Galileo je pokušao da prvo dođe do zakona na osnovu opštih razmatranja.

Razmišljao je ovako:

Priroda „stremi da u svim svojim uređajima primeni najprostija i najlakša sredstva" i prema tome, zakon uvećanja brzine mora imati „najprostiji i najjasniji za svakoga oblik". A kako brzina raste sa pređenim putem, šta mo-

že biti jednostavnije od pretpostavke da je brzina proporcionalna pređenom putu: v = k.s,gde je k konstantan broj. Ova pretpostavka je u početku zabrinula Galilea: izlazi da padanje započinje nultom brzinom, a čini se da je brzina od samog početka velika. A evo kakvo ga je rasuđivanje ubedilo da tu nema protivrečnosti: „Ako teg koji pada na kolac sa visine četiri lakta, uteruje kolac u zemlju četiri palca, pri padanju sa visine dva lakta uteruje ga u zemlju manje i, konačno, još manje pri padanju sa visine jednog lakta ili jedne stope, i kada, napokon, teg pada sa visine ne veće od debljine palca, zar on ne proizvodi veće dejstvo nego ako bi bio položen na kolac bez ikakvog udara? Još manje i potpuno neprimetno biće dejstvo tega, podignutog za debljinu lista. Kako se dejstvo udara nalazi u zavisnosti od brzine tela koje udara, ko može sumnjati u to, da je kretanje izvanredno sporo i brzina minimalna, ako je dejstvo udara potpuno neprimetno?"

Galileo je dugo istraživao različite posledice učinjene pretpostavke ($v = k\,s$) i na kraju neočekivano otkrio da se kretanje po takvom zakonu uopšte ne može odvijati. Pokušajmo da shvatimo u čemu je stvar. Koeficijent proporcionalnosti u relaciji $v = k{\cdot}s$ zavisi od izbora jedinica dužine i vremena. Smatraćemo, radi jednostavnosti, da se put meri u metrima a vreme u takvim jedinicama da bude $k = 1$. Nazovimo tu jedinicu vremena cikl (oznaka c).[2] Tada je u svim tačkama $v = s$ metara u ciklu.



Slika 1.

Uočimo tačku A koja se nalazi na rastojanju 1 m od polaznog položaja O. Procenimo vreme, računato od početka kretanja, za koje će telo dospeti u tu tačku. Prema pretpostavci $v = s$, u tački A brzina je jednaka 1 m/c. Uzmimo tačku A_1 koja se nalazi na sredini između O i A. Na odsečku A_1A brzina je u svakoj tački manja od 1 m/c i telo pređe taj deo puta dužine 1/2 m za vreme duže od 1/2 c. Uzmimo sad tačku A_2 na sredini između O i A_1. Na odsečku A_2A_1 brzina će u svakoj tački biti manja od 1/2 m/c (sve tačke između A_1 i A_2 nalaze se na rastojanju od O manjem od 1/2 m), te se na odsečak A_2A_1 dužine 1/4 m utroši opet više od 1/2 c. Verovatno

ste se već dosetili kako ćemo rasuđivati dalje: tačka A_3 – sredina odsečka OA_2; na odsečak A_3A_2, dužine 1/8 m, pri brzini u svakoj tački manjoj od 1/4 m/c opet se utroši više od 1/2 c, itd. Proces deljenja mogućno je neograničeno produžiti, i mi možemo nakupiti proizvoljan broj delova putanja OA za čije prelaženje je potrebno više od po 1/2 c, a da i ne dođemo do O. Znači, telo uopšte ne može dospeti iz O u A!

Pretpostavili smo da se tačka A nalazi na rastojanju 1 m od polaznog položaja O. Slično se dokazuje da telo uopšte ne može dospeti ni u kakvu tačku iz O.

Galileo navodi povodom ovoga neubedljivo rasuđivanje. On pokušava da dođe do protivrečnosti smatrajući da, pošto je brzina proporcionalna putu, telo prelazi bilo koje rastojanje od polaznog položaja za isto vreme, što je očevidno pogrešno. Ili se nije privikao da radi sa trenutnim brzinama, ili je prvobitno razmišljao na drugi način, pa nije mogao toga da se seti kada je, posle dugog prekida, zapisivao rezultate u već poodmaklim godinama.[3] On je ostavio dosta loše obrazloženih ili potpuno neobrazloženih tvrđenja.

Uvidevši grešku, Galileo zatim uvodi ne manje prostu hipotezu da se brzina povećava proporcionalno vremenu: $v = a{\cdot}t$. Takvo kretanje je nazvao „prirodno ubrzanim", ali koristio je i termin „ravnomerno ubrzano kretanje". On razmatra grafik brzine u intervalu vremena od 0 do t i primećuje da, ako uzmemo trenutke t_1 i t_2 podjednako udaljene od $t/2$, za koliko je brzina u t_1 manja od $a\,t/2$, za toliko je u t_2 ona veća od te vrednosti. Na osnovu toga zaključuje, da je u srednjem brzina jednaka $a{\cdot}t/2$, a pređeni put je jednaka $(a{\cdot}t/2)t = at^2/2$ (ne sasvim strogo rasuđivanje, jer proces izračunavanja pređenog puta pri promenljivoj brzini zahteva integraciju...). Znači, ako razmatramo trenutke vremena $t = 1, 2, 3, 4...$, pređeni putevi, mereni od početnog položaja, će se međusobno odnositi kao kvadrati prirodnih brojeva 1, 4, 9, 16..., a delovi puta između susednih trenutaka, kao neparni brojevi 1, 3, 5, 7...

Ovaj iskaz Galileo smatra svojim osnovnim rezultatom i želi da ga proveri eksperimentalno. Kako? On ne živi više u Pizi, već u Padovi. I u laboratoriji, kao i sa krivog tornja, tela padaju suviše brzo. Galileo nalazi oštrouman izlaz: slobodno padanje zamenjuje sporijim kretanjem tela po strmoj ravni. On je primetio da iz pretpostavke da je slobodno padanje jednakoubrzano sledi da i kretanje materijalne tačke po strmoj ravni ima isti karakter (naravno, pod uslovom da nema trenja). To je danas uobičajeno rasuđivanje sa razlaganjem sila, koje pokazuje da materijalna tačka klizi po strmoj ravni sa konstantnim ubrzanjem $g{\cdot}h/l$, gde je h visina, a l dužina strme ravni (g – ubrzanje slobodnog padanja). Ubrzanje slobodnog padanja kao univerzalna konstanta kod Galilea se još ne pojavljuje. Njegova rasuđivanja su mnogo složenija: on manipuliše, kako je to onda bilo uobičajeno, velikim brojem proporcija i iz jednakoubrzanosti kretanja tačke po strmoj ravni izvlači čitav niz zaključaka, koje je već bilo moguće eksperimentalno proveriti (ako je ugao nagiba mali, vreme klizanja je dugo). Glavno mesto među njegovim rezultatima zauzima tvrđenje da ako strme ravni imaju jednaku visinu, vremena klizanja se odnose kao pređeni putevi (zašto?). U svojim eksperimentima Galileo je za merenje vremena koristio mlaz vode koji ističe veoma sporo (varijanta vodenog sata).

U fizici se kao osnovna nezavisno promenljiva prvi put pojavljuje *vreme.* Promene veličina koje opisuju kretanje razmatraju se u odnosu na protekli interval vremena. Galileo uvodi u igru nešto što je, nekad kao i danas, potpuno zagonetno; ipak, matematičko uvođenje vremena označava nastanak moderne fizike. I pojmovi *brzine,* koja se neprekidno menja, i *ubrzanja* su ne manje novi i zagonetni i veoma sporo stiču pravo građanstva. Galileu nisu poverovali takvi majstori analitičkog rasuđivanja kao Kavalijeri, Mersen, Dekart. Ovaj poslednji je kategorički odbijao da postoji kretanje sa nultom početnom brzinom, pri kome telo „prolazi kroz sve stadijume sporosti". Istorija nauke je zapravo istorija ljudskih zabluda. Galileo je dugo pokušavao da tačan zakon promene brzine slobodnog padanja ($v = a \cdot t$), izvede iz nama već poznatog pogrešnog principa da „telo koje trpi prirodno kretanje, uvećava svoju brzinu u istoj proporciji, kao i rastojanje od polazne tačke."

Galileovi stavovi o ulozi sile u pojavljivanju neravnomernog kretanja nisu sasvim jasni. On odbacuje Aristotelov princip da je brzina proporcionalna sili i tvrdi da se pri odsustvu sila održava ravnomerno pravolinijsko kretanje. Stalno se vraća primeru sa đuletom koje bi letelo po pravoj liniji, kad ne bi trpelo uticaj Zemljine teže. Kaže da, „stepen brzine koju ispoljava telo, nenarušivo leži u samoj njegovoj prirodi, dok se uzroci ubrzavanja ili usporavanja javljaju spoljašnjim", „... kretanje po horizontali javlja se večnim, jer ako je ono ravnomerno, ono se ničim ne umanjuje, ne usporava i ne uništava." U „Pismu Ingoli"[4] Galileo živopisno opisuje raznovrsne pojave na palubi broda koji se kreće pravolinijski i ravnomerno, koje ne omogućuju da se to kretanje otkrije: kapi vode padaju tačno u grlić podmetnute posude, kamen sa vrha jarbola pada vertikalno naniže, naviše se podiže dim, leptiri lete jednakom brzinom u svim pravcima...

4. Kretanje koje danas zovemo kosim hicem Galileo je zvao „prinudnim" (za razliku od slobodnog padanja). Aristotel je smatrao da se telo, bačeno pod uglom prema horizontu, najpre kreće po nagnutoj pravoj, zatim po luku kružnice, i, napokon, po vertikali naniže. Prvi čovek koji je tvrdio da putanja bačenog tela „nema nijedan deo koji bi bio potpuno prav", bio je, verovatno, Nikolo Tartalja.[5]

Teoriju „prinudnog" kretanja Galileo je izgradio odmah posle teorije slobodnog padanja. Kao i u prethodnom slučaju, teorija (model pojave) prethodila je eksperimentu. Galileova hipoteza bila je prosta: kretanje tela, bačenog pod uglom prema horizontu, slaže se (sabira) iz ravnomernog pravolinijskog kretanja koje bi postojalo da nema sile teže i slobodnog padanja. U rezultatu telo se kreće po paraboli. Primetimo da se u ovakvom rasuđivanju koristi zakon inercije.

U razmatranju složenog kretanja Galileo je imao prethodnika koji mu je služio kao uzor: „...ja ću da prikažem i da proučavam tu pojavu po ugledu na Arhimeda u njegovim ‚Spiralnim linijama', gde, iskazavši da pod kretanjem po spirali podrazumeva kretanje složeno iz dva ravnomerna – jednog pravolinijskog, a drugog kružnog – on neposredno prelazi na demonstraciju zaključaka." Ovde je reč o tzv. Arhimedovoj spirali, koju opisuje tačka koja se kreće ravnomerno duž jednog poluprečnika kruga, dok sam krug ravnomerno rotira oko ose normalne na njegovu ravan, koja prolazi kroz centar.

5. Koliki treba da bude ugao nagiba topovske cevi prema horizontu da bi đule letelo najdalje? Gde će udariti đule ako je cev nagnuta pod nekim drugim uglom? Koristeći svojstva parabole Galileo je sastavio „tablicu za gađanje, koja ima veliku praktičnu vrednost". On je živeo u Padovi, a Padova je pripadala Venecijanskoj republici. Galileove zaključke o kosom hicu prvi su proveravali inženjeri i artiljerci iz vencijanskog arsenala.

---

1. Kao devetnaestogodišnji student, Galileo je otkrio da period oscilovanja klatna fiksirane dužine, ne zavisi od amplitude; vreme je merio brojeći otkucaje srca. Na osnovu ovog otkrića, 15 godina posle Galileove smrti, Kristijan Hajgens je pronašao princip rada prvog dovoljno tačnog instrumenta za merenje vremena – časovnika sa sekundnim klatnom (1657. godine).
2. Očigledno treba uzeti da je jedan sekund = k cikla, ako je v = k•s metara u sekundi.
3. Galileo je posle 20 godina rada na problemima mehanike počeo da piše knjigu koja bi obuhvatila sve njegove rezultate. Međutim, desilo se da je baš u to vreme (1609. godine) konstruisao durbin, i, posle niza astronomskih otkrića, sledeće 23 godine života proveo je dokazujući ispravnost Kopernikovog heliocentričnog sistema. Pisanje knjige o kretanju nastavlja tek nekoliko godina pred smrt, „prinudno usamljen", bolestan, poluslep, u kućnom zatvoru, gde ga je držala inkvizicija.
4. „Pismo Ingoli" je Galileov odgovor na spis Francheska Ingole, „visokoobrazovanog sveštenika", uperen protiv Kopernikovog sistema.
5. Nikolo Tartalja (oko 1500–1557), jedna od onih živopisnih ličnosti iz doba renesanse, matematičar, pronalazač, prevodilac..., „u mnogo čemu Galileov prethodnik". Tartaljin učenik bio je pomenuti Benedeti.

ISTRAŽIVAČKA STRAST

Ne gledam mistično na nauku. U svakom zanatu, a i ovo je zanat, nastojim da napravim bolje od drugog. Da gonim i podgrejavam radoznalost. Da razmenjujem iskustva i pratim šta rade drugi, slični meni. Naučni rad je skupljanje iskustava i potera za nepoznatim. Lov u najelementarnijem smislu.

Ima ljudi koje neuspesi smlate. Druge podignu. Na uspehe kao i na neuspehe ja sam uvek gledao ravnomerno. Mene interesuje put čiji su neminovni pratioci i uspesi i neuspesi. Mnoge stvari smo radili bez uspeha. Očajavao nisam, smatrao sam to kao poslovni rizik. Ako ste radili tačno i niste uspeli, drugi neće morati da ponavljaju. I tada vaš trud nije bio uzaludan, neuspeh postaje rezultat, makar bio i negativan. Poslovi se ne dele na uspešne i neuspešne.

Pavle Savić: „Nauka i društvo", str. 293, izdavač Srpska književna zadruga, Beograd, 1978.

O PRIRODI TOPLOTE

MILAN NAPIJALO
Prirodno-matematički fakultet, Beograd

Pri čitanju različitih tekstova posvećenih popularizaciji fizike ili pitanjima savremene energetike, često se nailazi na neka tumačenja vezana za prirodu toplote koja nisu tača ili bar ne dovoljno tačna. Cilj ovog članka je da ukaže na takve netačnosti odnosno da doprinese ispravnom razumevanju toplotnih pojava.

I princip termodinamike

Mnoge pojave u prirodi praćene su razmenom toplote. Pri ovome važe određene opšte zakonitosti tzv. termodinamički principi. Mi ćemo se zadržati na prvom principu termodinamike, koji predstavlja zakon održavanja energije u procesima energijskih transformacija, primenjen na toplotne pojave. Matematički iskaz za ovaj fizički zakon ima oblik:

$$Q = \Delta U + A \qquad (1)$$

gde je Q količina toplote koju fizički sistem prima od okoline, ΔU je priraštaj njegove unutrašnje energije, a A je rad koji sistem izvrši u toku razmene toplote sa okolinom. Ove veličine mogu biti i negativne (ako sistem predaje toplotu okolini, ako mu se unutrašnja energija smanjuje i ako okolina nad njim vrši rad).

Šta je unutrašnja energija?

Pod unutrašnjom energijom U podrazumeva se zbir energija u svim oblicima prisutnim u jednom fizičkom sistemu. Naglašavamo „sadržanih u sistemu", što znači da U ne uključuje, na primer, kinetičku energiju, koju može imati sistem kao celina ili potencijalnu energiju, koju može da ima sistem ako se nalazi u nekom spoljašnjem (na pr. električnom ili gravitacionom) polju. Koji su to oblici energije sadržani u sistemu? To su:

1. kinetička energija translatornog toplotnog kretanja molekula i atoma,
2. potencijalna energija međusobnog delovanja molekula i atoma,
3. energija oscilatornih i rotacionih kretanja u molekulima,
4. energija elektrona u atomima,
5. zbir različitih energija vezanih za procese u atomskim jezgrima,
6. energija toplotnog zračenja

U relaciji (1) piše da primljena količina toplote može biti delimično utrošena na uvećanje unutrašnje energije sistema (tj. ako je $Q > 0$ može biti i $\Delta U > 0$). Na primer, dovođenje toplote ($Q > 0$) vazduhu u dečjem balonu, vodi u čaši, komadu metala i sl. izaziva porast temperature i toplotno širenje. Porast temperature pokazuje da je došlo do uvećanja kinetičke energije toplotnog kretanja, a toplotno širenje da se promenila potencijalna energija molekula, ali i da je sistem izvršio neki rad. U nekim slučajevima $Q > 0$ može da izazove i drukčije promene unutrašnje energije ΔU: na pr. može da dođe do topljenja, do termičke disocijacije gasa (raspadanje molekula na atome ili grupe atoma) ili do jonizacije. U svim ovim primerima menjaju se potencijalne energije međusobnog delovanja čestica u sistemima.

Rad

U fizici se srećemo sa različitim vrstama radova, zavisno od prirode sila koje učestvuju u vršenju rada. Ovde ćemo pažnju ograničiti na mehanički rad. Tada se rad A, koji se pojavljuje u relaciji (1), može prikazati relacijom

$$A = F \cdot \Delta l \qquad (2)$$

gde je F sila, koja izaziva pomeraj Δl. Kada su u pitanju toplotne pojave, sila F često se može predstaviti kao sila pritiska $F = pS$, gde je p pritisak, a S površina na koju deluje ova sila, tj. spoljna granična površina sistema. Tada iz relacije (2) sledi

$$A = p \cdot S \cdot \Delta l = p \cdot \Delta V \qquad (3)$$

gde je ΔV promena V sistema do koje je pri tome došlo.

Navešćemo primere za rad. Prvo, kao što je već pomenuto, sva se tela pri zagrevanju šire. Toplotno širenje praćeno je vršenjem rada na povećanju zapremine. Ovaj rad vrši se na savlađivanju sila koje potiču od atmosferskog pritiska i od međumolekularnog privlačenja.

U letnjim danima zagrevanja železničkih šina može da izazove deformacije, odnosno oštećenje koloseka. Drugi primer pruža rad toplotnog parnog motora, koji je korišćen u starim parnim lokomotivama; zagrevanje vode dovodi do isparavanja, a zagrejana para pokreće klip u cilindru motora.

Napomena uz I princip

U prethodnom tekstu ograničili smo pažnju na slučaj kad su sve tri veličine u relaciji (1) pozitivne. Navešćemo primere za slučaj kad su ove veličine negativne. Primer za slučaj kad se smanjuje unutrašnja energija ($\Delta U < 0$) a oslobađa toplota ($Q < 0$) pruža pojava suprotna topljenju: očvršćavanje rastopljenog metala ili neorganske soli. Pri ovome je obično i $A < 0$ jer je $\Delta V < 0$ (očvrsnula supstanca ima manju zapreminu od rastopljene) ali jednačina (1) može biti zadovoljena pri $Q < 0$ i $\Delta U < 0$, i uz $A > 0$ (očvršćavanje vode). Primeri za $A < 0$ (nad sistemom se vrši rad) praćeno oslobođenjem toplote ($Q > 0$):

1. pri višestrukom savijanju metalna žica se prekine, a mesto preloma se zagreje; ova toplota predaje se okolini;
2. pri pumpanju gume bicikla, rad na sabijanju gasa izaziva zagrevanje gasa i preko njega pumpe.

Jedna razlika među veličinama U i A

Relacija (1) pokazuje da su unutrašnja energija i rad veličine koje imaju iste fizičke dimenzije, što bi na izvestan način moglo da navede na pomisao da ove veličine imaju i jednaku fizičku prirodu. Da li je zaista tako?

Pođimo od unutrašnje energije. Uzmimo kao primer jednoatomske gasove kao što su helijum, neon i argon. Ako se izuzme područje vrlo niskih temperatura ($T < 150\ K$) na ove gasove može se primeniti teorija idealnih gasova.

Jedini oblik unutrašnje energije o kome treba voditi računa kod toplotnih pojava u ovim gasovima pri ne vrlo visokim temperaturama ($T < 5000\ K$) je kinetička energija toplotnog kretanja molekula. U tom slučaju unutrašnja energija jednog mola gasa jednaka je $U = \frac{3}{2}RT$, gde je RT, gde je R univerzalna gasna konstanta. Drugim rečima, za ove gasove unutrašnja energija zavisi samo od apsolutne temperature T. Kako je već pomenuto u odeljku o unutrašnjoj energiji, ova veličina kod realnih gasova, tečnosti i čvrstih tela zavisi od temperature i od njihove zapremine.

Slično vredi i za sistem tečnost-para. Povećanje zapremine ovog sistema pri konstantnoj temperaturi dovodi do povećanja unutrašnje energije jer se povećava broj molekula u pari i smanjuje u tečnosti, a energija pare i tečnosti jednakih masa se razlikuju za energiju isparavanja. S druge strane, povišenje temperature pri konstantnoj zapremini dovodi do porasta unutrašnje energije sistema, jer se uvećava kinetička energija kako kod tečnosti tako i kod pare, i u isti mah se povećava udeo pare u sistemu.

Iz navedenih razloga kažemo da je unutrašnja energija *funkcija stanja* sistema. Smatramo da je stanje sistema poznato ako su nam dati njegova temperatura i zapremina, odnosno temperatura i pritisak.

Razmotrimo sada prirodu veličine A. Pojam rada nerazdvojno je povezan sa *fizičkim procesima* koji znače *promene* stanja i mogu se okarakterisati promenama vrednosti karakterističnih parametara (T i V, odnosno T i p). Ovo se može videti na primerima. Pri izobarnom širenju gasa ($A > 0$) zapremina i temperatura rastu, dok pritisak ostaje stalan; pri izotermnom širenju (opet $A > 0$) gasa zapremina raste, pritisak opada, a temperatura ostaje stalna i sl.

Bitna razlika između rada i unutrašnje energije je u tome što je rad povezan sa promenom stanja (prelazom sistema iz jednog stanja u drugo) dok je energija povezana sa jednim sistemom.

Priroda toplote

Gore izloženo nameće pitanje: kakva je priroda toplote? Da li je ona određena stanjem i, prema tome, slična U ili je određena promenom stanja i slična A?

Ovo je pitanje vrlo značajno za *pravo* razumevanje toplotnih pojava. Odgovor ćemo dati odmah: *toplota je fizička veličina nerazdvojno vezana sa procesom i pojavljuje se samo pri promenama stanja sistema.* Činjenica je da se u svakodnevnom govoru koristi izraz „toplotna energija". Međutim, u pitanju je pogrešan termin, jer na pitanje: „koliko toplote sadrži neko telo, odnosno neki sistem?" – nije moguće dati jednoznačno određen odgovor!

Recimo, kad je reč o uglju kao materijalu koji se koristi kao gorivo, često se čuje da on sadrži određenu „toplotnu energiju". Tačno je međutim, da ugalj sadrži određen oblik unutrašnje energije, vezan za potencijalnu energiju međusobnog delovanja atoma od kojih se sastoji ugalj (ugljenika i raznih organskih jedinjenja). Ova energija, koju bismo kraće mogli nazvati „hemijskom energijom" može se osloboditi u obliku toplote pri sagorevanju (oksidisanju).

Ukratko, ni celokupna unutrašnja energija ni jedan njen deo, recimo onaj koji je određen molekulskim toplotnim kretanjem, ne može se označiti kao „toplotna energija". Od vrste procesa kome se podvrgava zavisi da li će dati sistem osloboditi neku količinu toplote na račun svoje unutrašnje energije.

Objasnićemo ovo primenom relacije (1). Uzmimo da je zapremina sistema nepromenljiva ($V = const.$) i tada su moguće tzv. izohorne promene stanja. Prema (3) za $\Delta V = 0$, sledi $A = 0$, tako da relacija (1) daje

$$Q = \Delta U, \qquad (4)$$

tj. ako sistem prima određenu količinu toplote, ona u potpunosti prelazi u unutrašnju energiju i, obrnuto, smanjenje unutrašnje energije praćeno je isključivo oslobađanjem toplote.

Međutim, ako se sistem idealno izoluje u toplotnom pogledu od okoline, tako da sa okolinom može da razmenjuje samo rad A, ali ne i toplotu ($Q = 0$), tada prema relaciji (1) sledi

$$\Delta U + A = 0 \qquad (5)$$

Pri ovakvim „adijabatskim" procesima ukupno smanjenje unutrašnje energije ($\Delta U < 0$) jednako je radu koji izvrši sistem ($A > 0$), odnosno rad koji primi sistem ($A < 0$) potpuno se pretvara u unutrašnju energiju ($\Delta U > 0$).

Svi realni fizički procesi leže između ove dve granične vrste procesa i prikazuju se opštom formulom (1).

Primetimo da realcija (1) predviđa i mogućnost: $Q = A$ – potpuno pretvara primljene količine toplote u rad i obrnuto. Primer za takav proces nalazimo kod idealnog gasa: odnos $Q = A$ odgovara izotermnom ($T = const.$) širenju odnosno sabijanju pošto unutrašnja energija idealnog gasa zavisi samo od temperature.

Zaključak

U ovom članku pokušali smo da osvetlimo neka pitanja vezana za toplotne procese.

1. Količina toplote koja se razmenjuje u toku nekog procesa može da izazove promenu u unutrašnjoj energiji, ali i ne mora, kao što je to slučaj kod izotermnih procesa. Međutim, predavanje toplote jednog sistema drugom nije prosto „pretakanje" toplote iz sistema u sistem. Razmena toplote je jedan oblik prenošenja energije, slično vršenju rada, i kad ona postoji, to znači da u jednom i drugom sistemu postoji određena vrsta preobražaja energije (na pr. sagorevanje uglja).
2. Razmenjena količina toplote nije uvek jednaka promeni unutrašnje energije (kao što bi se moglo zaključiti iz članka „Učenička laboratorija" koji se odnosi na eksperimentalni rad učenika osnovne škole, „Mladi fizičar", br. 29), pošto razmena toplote može biti praćena vršenjem rada (napr. toplotno širenje znači istovremeno i priraštaj unutrašnje energije i vršenje rada nad okolinom).

Dr. Božidar S. Milić
Prirodno-matematički fakultet
Beograd

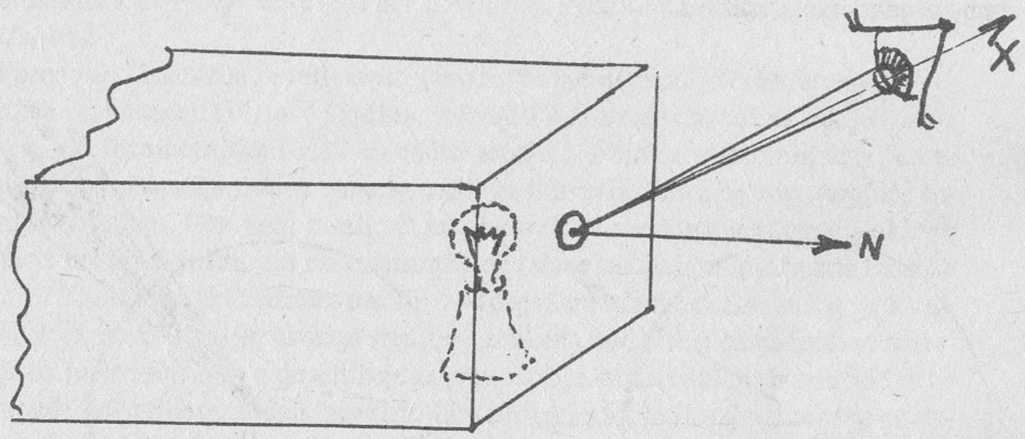
ZAŠTO JE KANDELA UZETA ZA JEDNU OD SEDAM OSNOVNIH JEDINICA SI-SISTEMA?

U našoj zemlji je na snazi zakonska obaveza upotrebe Međunarodnog sistema jedinica za fizičke veličine, takozvanog SI-sistema. Ovakva zakonska obaveza važi i u mnogim drugim zemljama sveta, jer se time uprošćava i olakšava razmena informacija u nauci, tehnici i privredi. SI-sistem je zasnovan na sedam osnovnih jedinica, za sedam fizičkih veličina koje se smatraju kao osnovne. To su: dužina, masa, vreme, jačina električne struje, termodinamička temperatura, količina supstance i jačina svetlosti. SI-jedinice za te veličine, u istom redosledu, su: metar (m), kilogram (kg), sekunda (s), amper (A), kelvin (K), mol (mol) i kandela (cd). U ovom članku, kao što se vidi iz naslova, zanima nas upravo kandela, SI-jedinica za jačinu svetlosti. Jačina svetlosti je najvažnija karakteristika takozvanih kvazi-tačkastih svetlosnih izvora, tj. svetlosnih izvora vrlo malih dimenzija, i u daljem ćemo je pobliže objasniti.

Pitanje zašto je jačina svetlosti uzeta u SI-sistemu za osnovnu fizičku veličinu i njena jedinica, kandela, za jednu od sedam osnovnih jedinica tog sistema nije jednostavno i zahteva izvesna prethodna objašnjenja.

Podsetimo se, najpre, da se naziv *„svetlost"* upotrebljava za elektromagnetne talase čija je talasna dužina u vakuumu između 400 nm i 700 nm (nanometar je milijarditi deo metra, 1 nm = 10^{-9} m). Ovi talasi nisu ni po čemu objektivno posebni u fizičkom pogledu, ali su veoma značajni za svakodnevni život i aktivnosti čoveka jer čovečje oko samo na njih reaguje vizuelnim osećajem. Zbog toga se svetlost u fizici opisuje dvojako, objektivnim i subjektivnim karakteristikama. U objektivnom pogledu svetlost se opisuje istim fizičkim veličinama kao i svako drugo („nevidljivo") elektromagnetno zračenje, i te veličine se obično nazivaju *radiometrijske*. U subjektivnom pogledu svetlost se opisuje veličinama koje karakterišu intenzitet vizuelnog osećaja koji svetlost izaziva u oku, i te veličine se nazivaju *fotometrijske*. Razlika između radiometrijskih i fotometrijskih karakteristika svetlosti će postati jasnija ako uočimo jednu analogiju između fotometrije i nauke o ishrani. Kao što je poznato, svako organsko jedinjenje ima određenu *energijsku vrednost*, koja predstavlja energiju oslobođenu pri potpunom sagorevanju jednog mola tog jedinjenja. Međutim kad je reč o grupi organskih jedinjenja koja su prehrambene namirnice za čoveka, onda pored energijske vrednosti važnu ulogu igra i njihova *hranljiva vrednost*, određena značajem te namirnice za održavanje organizma. U ovoj analogiji bi organska jedinjenja odgovarala elektromagnetnim talasima uopšte, dok bi prehrambene namirnice, dakle posebna grupa tih jedinjenja, odgovarale svetlosti. Kao što hranljiva vrednost namirnice nije u neposrednoj vezi sa njenom energijskom vrednošću (ova predstavlja objektivnu karakteristiku, dok je hranljiva vrednost nešto što je uslovljeno

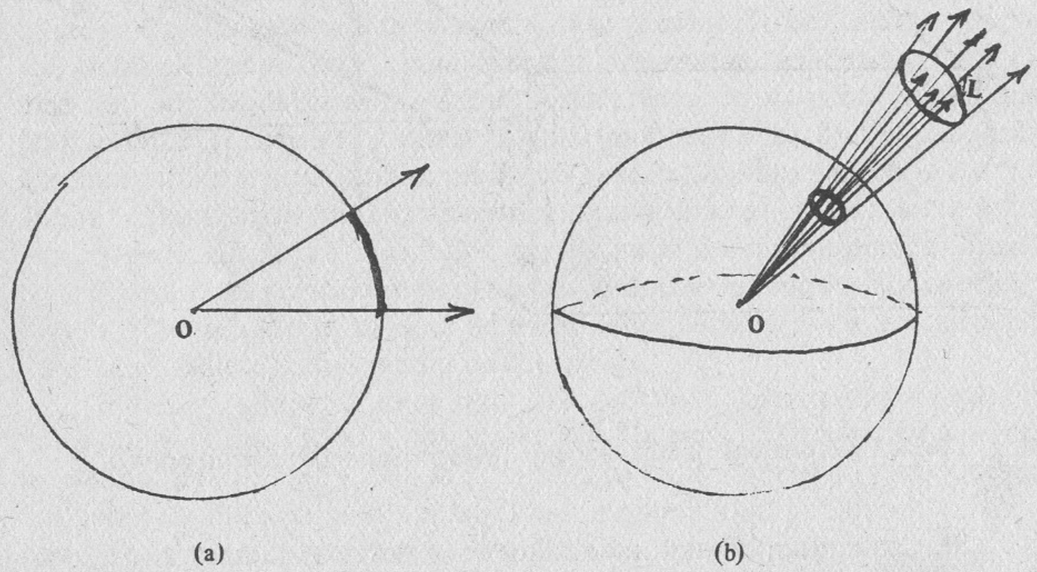
specifičnostima organizma), tako i elektromagnetna energija svetlosti nije u neposrednoj vezi sa intenzitetom vizuelnog osećaja. Postoje organska jedinjenja koja imaju određenu energijsku i nikakvu hranljivu vrednost (na primer, celuloza), a tako isto postoje elektromagnetni talasi koji se mogu okarakterisati radiometrijskim veličinama, ali ne i fotometrijskim, zato što njihov dolazak u oko ne izaziva nikakav vizuelni osećaj (na primer, radiotalasi ili infracrveno zračenje). Uključena ploča električnog štednjaka nam izgleda tamna, iako sa nje u oko dospevaju infracrveni zraci koje ona obilno emituje, jer ih oko ne oseća.



Slika 1. Objašnjenje jačine zračenja i jačine svetlosti u datom pravcu.

Radiometrijske (objektivne) karakteristike elektromagnetnog zračenja su, u krajnjoj liniji, posledica poznate formule $E = h\nu$ za energiju jednog kvanta elektromagnetnog zračenja, takozvanog *fotona*, čija talasna dužina u vakuumu iznosi $\lambda = c/\nu$. U okviru pitanja koje nas ovde interesuje, dve radiometrijske karakteristike će biti posebno važne. To su *ozračenost* i *jačina zračenja*. Da bismo definisali prvu od njih, posmatrajmo dolazak elektromagnetnih talasa na neku površinu, stvarnu ili samo zamišljenu. Energija u (džulima) koju u jedinici vremena ovi talasi donesu na jedan kvadratni metar posmatrane površine predstavlja *ozračenost* te površine. Ozračenost je, dakle, veličina koja se meri u vatima po kvadratnom metru (W/m^2). Nas će prvenstveno interesovati ozračenost zenice oka. Ako se uzme da je poluprečnik zenice u normalnim uslovima približno 2 mm, lako je izračunati da ozračenost zenice od 1 W/m^2 znači da kroz nju u oko dospeva u svakoj sekundi energija elektromagnetnog zračenja od $1{,}26 \cdot 10^{-5}$ J. Što se tiče druge radiometrijske karakteristike, *jačine zračenja*, ona se odnosi na kvazi-tačkaste izvore elektromagnetnog zračenja, tj. izvore vrlo malih dimenzija. Takav je, na primer, mali otvor u neprozirnom zaklonu iza koga je postavljena sijalica (slika 1). Iako kvazi-tačkast, izvor ne mora e-

mitovati elektromagnetne talase u svim pravcima podjednako, tj. njegova emisija može biti *anizotropna*. U onim pravcima, iz kojih se okom može neposredno videti usijano vlakno sijalice, emisija je znatno veća nego u ostalim pravcima. Anizotropija emisije će se donekle umanjiti ako se otvor prekrije mat staklom ili zamašćenom hartijom. Neka je (slika 1) N normala na ravan otvora, a X pravac iz koga se izvor posmatra. Energija elektromagnetnog zračenja koje ovaj izvor emituje u jedinici vremena u neki mali prostorni ugao u pravcu X (na slici je prikazan prostorni ugao koji odgovara zenici oka), obračunata po jednom steradijanu, predstavlja *jačinu zračenja* izvora u datom pravcu. Ova veličina se, dakle, meri u vatima po steradijanu (W/sterad). Za one čitaoce koji nisu dovoljno upoznati sa pojmom prostornog ugla, dato je podrobnije objašnjenje uz sliku 2.



(a) (b)

Slika 2.

Slika 2.

Slika (a) prikazuje *ugao u ravni*. Njega obrazuju dve poluprave (kraci ugla) koje polaze iz iste tačke (teme ugla). Ako oko temena opišemo krug proizvoljnog poluprečnika, možemo videti da je *odnos* između dužine luka koji iseca posmatrani ugao i poluprečnika kruga konstantan (nezavisan od poluprečnika kruga). Taj odnos se može iskoristiti kao tzv. *lučna mera* ugla. Jedinica lučne mere ugla je *radijan* (jedan radijan ima ugao kome odgovara luk jednak poluprečniku, 1 rad$\approx$57° 18'). Pun ugao (cela ravan) ima 2π radijana.

Slika (b) prikazuje *prostorni ugao*. Njega obrazuju sve poluprave povučene iz jedne tačke u prostoru (teme prostornog ugla) kroz pojedine tačke neke zatvorene linije L u prostoru. Ako se oko temena opiše sfera proizvoljnog poluprečnika, može se videti da je odnos između veličine površine koju prostorni ugao iseca na sferi i *kvadrata* poluprečnika sfere konstantan (nezavisan od poluprečnika sfere). Taj odnos služi kao mera prostornog ugla. Jedinica prostornog ugla je *steradijan*; ceo prostor (pun prostorni ugao) ima 4π steradijana. Prostorni ugao od 1 sterad obrazuju izvodnice kružnog konusa sa uglom otvora od 64° 50'; taj konus na bilo kojoj sferi opisanoj oko njegovog vrha iseca kalotu površine R^2.

Fotometrijske (subjektivne) karakteristike elektromagnetnog zračenja zavise od reakcije čovečjeg oka. Objektivnim radiometrijskim veličinama ozračenosti i jačini zračenja odgovaraju fotometrijske veličine *osvetljenost* i *jačina svetlosti*. Fotometrija se, istorijski gledano, počela razvijati pre nego što je bila shvaćena elektromagnetna priroda svetlosti. Fotometrijske veličine su bile definisane na osnovu takozvane *standardne Hefnerove sveće*, lampe u kojoj je sagorevao amil-acetat na fitilju širokom 8 mm uz visinu plamena od 4 mm. Za osvetljenost i jačinu svetlosti su bile upotrebljavane jedinice lumen po kvadratnom metru (lm/m^2) i lumen po steradijanu (lm/sterad). Osvetljenost ravnomerno osvetljene površine na koju pod pravim uglom pada svetlost Hefnerove sveće sa rastojanja od 1 m je, po definiciji, bila 1 lm/m^2. Jačina svetlosti Hefnerove sveće u pravcu normalnom na ravan plamena je bila definisana kao 1 lm/sterad, što je istovetno sa jednom kandelom. Dakle, *1 cd = 1 lm/sterad.*

Poređenje dimenzija osvetljenosti (lm/m^2) i jačine svetlosti (lm/sterad) sa dimenzijama ozračenosti (W/m²) i jačine zračenja (W/sterad) navodi na zaključak da su lumen kao fotometrijska i vat kao radiometrijska jedinica u izvesnoj vezi i da ta veza zapravo uspostavlja odnos između svake radiometrijske i njoj odgovarajuće fotometrijske veličine. Ova veza zavisi od talasne dužine svetlosti, jer čovečje oko ne samo da je osetljivo jedino na elektromagnetne talase sa talasnim dužinama između 400 nm i 700 nm, već je i različito osetljivo na pojedine talasne dužine iz tog spektralnog područja. Na osnovu ispitivanja vizuelnih reakcija kod većeg broja ljudi ustanovljeno je da je čovečje oko najosetljivije za svetlost čija talasna dužina iznosi 555 nm i koja pripada žuto-zelenom delu spektra. Ova osobenost oka je najverovatnije posledica specifičnosti biološke evolucije na Zemlji, jer ovoj talasnoj dužini odgovara maksimum zračenja sa površine Sunca. Za svaku talasnu dužinu svetlosti λ moguće je izmeriti kolike su ozračenosti zenice (u W/m²) svetlošću talasne dužine od 555 nm i svetlošću talasne dužine λ potrebne da bi se izazvali jednaki osećaji osvetljenosti (ovo oko lako konstatuje). Odnos ovih ozračenosti v (λ) je neimenovan broj manji od jedan i može se uzeti kao merilo osetljivosti oka na talasnoj dužini λ. Rezultati ovih merenja doveli su do takozvane *standardne krive vidljivosti*, koju je utvrdila Međunarodna komisija za osvetljenje (ICI) i koja je prikazana na slici 3. Sa te slike vidimo da na talasnoj dužini od 520 nm (svega 35 nm ustranu od maksimuma) ordinata standardne krive vidljivosti iznosi 0,5. To znači da određena ozračenost zenice (u W/m²) svetlošću ove talasne dužine izaziva upola manji osećaj osvetljenosti nego ista tolika ozračenost ali svetlošću talasne dužine od 555 nm. Drukčije rečeno, sa svetlošću talasne dužine od 520 nm bila bi potrebna dvaput veća ozračenost zenice nego sa svetlošću od 555 nm, da bi se u oba slučaja postigao osećaj jednake osvetljenosti. Na talasnim dužinama od približno 470 nm i 650 nm (prva je u ljubičastom a druga u crvenom delu spektra) ordinate standardne krive vidljivosti iznose svega 0,1 što znači da je na tim talasnim dužinama osetljivost oka deset puta manja nego na 555 nm.

Eksperimentalno je ustanovljeno da ozračenosti od 1 W/m² svetlošću talasne dužine od 555 nm odgovara osvetljenost od 683 lm. Istoj ozračenosti ali svetlošću neke druge talasne dužine λ odgovara osvetljenost od 683 · $V(\lambda)$ lm, gde je $V(\lambda)$ ordinata standardne krive vidljivosti na toj talasnoj dužini. „Neokrugla" brojka 683

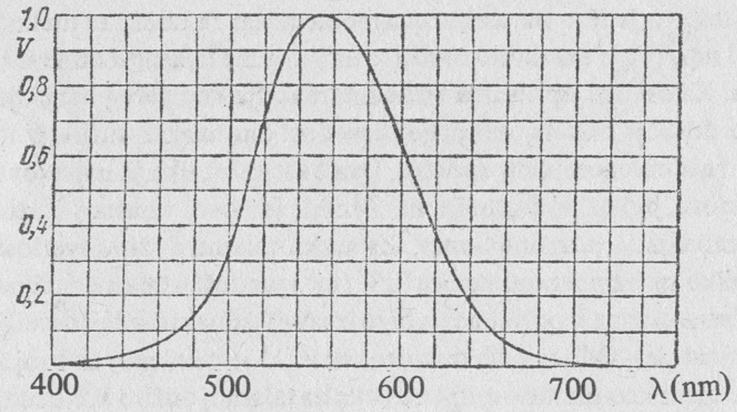
se pojavila, očevidno, zbog toga što je lumen bio definisan ranije pomoću standardne Hefnerove sveće. Dakle, osvetljenost i ozračenost na talasnoj dužini λ povezane su jednačinom:

$$\text{Osvetljenost}_{\lambda}\,(lm/m^2) = 683\,(lm/W) \cdot V(\lambda) \cdot \text{Ozračenost}_{\lambda}\,(W/m^2), \qquad (1)$$

gde indeks λ označava da je reč o veličinama koje se odnose na datu talasnu dužinu. Ako svetlost sadrži različite talasne dužine, što je najčešći slučaj, ukupna osvetljenost se nalazi sabiranjem osvetljenosti na pojedinim talasnim dužinama:

$$\text{Osvetljenost}\,(lm/m^2) = 683\,(lm/W) \cdot \sum_{\lambda} V(\lambda) \cdot \text{Ozračenost}_{\lambda}\,(W/m^2), \qquad (2)$$

gde znak $\sum_{\lambda}$ (sigma) simbolizuje sabiranje po talasnim dužinama svih izraza koji se pojavljuju iza njega. Za one koji malo bolje poznaju matematiku napominjemo da pri tačnijem izračunavanju ova suma treba da bude zamenjena integralom po talasnim dužinama. Formule slične (1) i (2) povezuju jačinu svetlosti i jačinu zračenja, odnosno, svaku fotometrijsku i njoj odgovarajuću radiometrijsku veličinu.



Slika 3. Standardna kriva vidljivosti.

Naše dalje izlaganje zahteva da se podsetimo jednog detalja iz istorije fizike. Slično fotometriji, i nauka o toploti se počela izučavati daleko pre nego što je shvaćena priroda toplote. Za merenje količine toplote upotrebljavana je posebna jedinica, takozvana *kalorija* (koja je danas izbačena iz upotrebe kao suvišna). To je bila količina toplote potrebna da jednom gramu vode povisi temperaturu za 1°C. Docnije je priroda toplote pravilno protumačena i otpala je potreba za posebnom jedinicom za energiju u području toplotnih pojava. Eksperimentima je utvrđeno da jednoj kaloriji odgovara 4,18 J, tj. da je takozvani „mehanički ekvivalent toplote" A = = 4,18 J/cal. „Neokrugla" brojka 4,18 se i ovde pojavila zbog toga što je kalorija ranije definisana na drugi način.

Kako stoji stvar sa fotometrijskim veličinama? Da li je „svetlosni ekvivalent vata", 683 · $V(\lambda)$ lm/W, bezdimenzionalan (slično „mehaničkom ekvivalentu toplote") ili ima dimenzije? Da li je lumen fizički istorodan sa vatom, kao što je kalorija sa džulom? Na današnjem stepenu fizičkih znanja prevladalo je mišljenje da su fotometrijske i radiometrijske veličine (dakle, u osnovi, lumen i vat) *fizički raznorodne*, tj. da fotometrijske veličine izražavaju jednu novu fizičku suštinu elektromagnetnog zračenja. To znači da se *za fotometrijske veličine moraju uvesti nove jedinice, različite od radiometrijskih.* U takvom slučaju neminovno je da jedna od fotometrijskih veličina bude uzeta za *osnovnu* u SI-sistemu. Kao što već znamo sa početka ovog članka, svojstvo osnovne fotometrijske veličine u SI-sistemu pripada jačini svetlosti i njena jedinica, kandela, je stoga osnovna SI-jedinica. Zašto je upravo kandela izabrana za osnovnu fotometrijsku jedinicu? Lako ćemo odgovoriti na to pitanje, ako se setimo SI-definicije kandele: *„Kandela je jednaka jačini svetlosti emitovanoj u normalnom pravcu sa površine od 1/600.000 m^2 apsolutno crnog tela čija je temperatura jednaka temperaturi očvršćavanja rastopljene platine pri pritisku od 101.325 Pa".* Očigledno je da se po ovakvim uputstvima u bilo kojoj fizičkoj laboratoriji (na Zemlji ili u kosmosu) vrlo lako može napraviti uzorak jedne kandele.

Pre dvadesetak godina jedan student *fizičke hemije* Prirodno-matematičkog fakulteta u Beogradu obratio se molbom jednoj hemijskoj industriji u našoj zemlji za stipendiju. Ubrzo je iz fabrike dobio odgovor na ovu molbu, potvrđen okruglim pečatom i potpisom „stručnog" lica: „Za sada nam ne trebaju *fizički* radnici *hemijske* struke".

Kada se postepeno vršilo useljenje u novu zgradu gde se i danas nalazi Prirodno-matematički fakultet u Beogradu, noćni čuvar zgrade bio je jedan simpatičan, postariji ali dobro držeći brkajlija. Onako visok i vitak potsećao je na Zlatiborca. U narodnom odelu i sa štakom u ruci obilazio je zgradu u noćnim satima i zalazio po dužnosti u svako odelenje zgrade, u svaku učionicu, u svaku laboratoriju. Tako jedne noći uđe u Fizičku laboratoriju na IV spratu, i posle uljudnog pozdrava, kako to samo znaju ljudi tih godina, obrati mi se sa molbom da mu objasnim šta je to *fizika?* Dok sam ja razmišljao kojim biranim objašnjenjem da zadovoljim radoznalost mog sagovornika, on, ne čekajući moj odgovor poče glasno da se preslišava: „Znam šta je matematika. To ti je račun. Vidim sve table ispisane kredom. Znam šta je i hemija. To su ti gasovi, ne možeš od nji' da živiš. Al'ne znam šta je to fizika". No, ne čekajući mnogo, produži sa svojim glasnim razmišljanjem: „Znaš, mi imamo ovi naši radnici što i' zovemo fizičari, al'nije to to".

D. Grujić

Jaroslav Labat
Prirodno-matematički fakultet
Beograd

ŠTA ZNAMO O MUNJI I GROMU

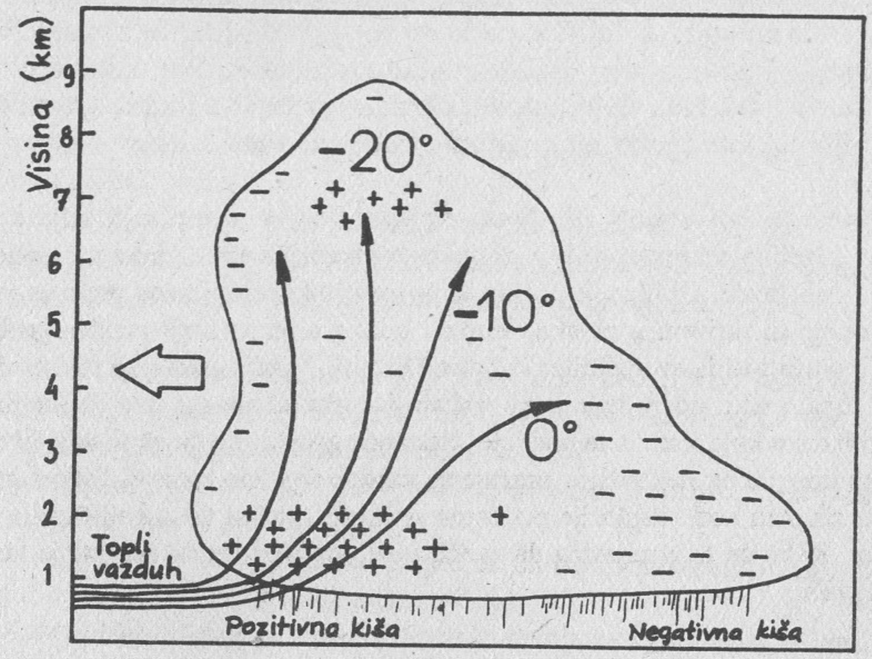
Samo najmlađi veruju da grmi kada se sudare dva oblaka. Već u osnovnoj školi učimo da je munja ustvari ogromna električna varnica između dva oblaka ili između oblaka i zemlje. Znamo da je grom opasan, da udara u visoke zgrade i usamljeno drveće i da ga se treba dobro čuvati. Međutim na mnoga pitanja u vezi sa munjom i gromom još uvek ne postoje pouzdani i sigurni odgovori. Neka od njih su kako uopšte ta velika varnica u prirodi nastaje, zašto nekad grmi a grom ne udara, odnosno, zašto nekad seva a ne grmi. Tek neka savremena istraživanja daju neke odgovore na ta pitanja, iako još uvek dosta toga ostaje nejasno.

Već u počecima svoga postojanja čovek je posvećivao posebnu pažnju ovim prirodnim pojavama. U prvom redu verovatno zbog straha koji je grmljavina prouzrokovala, ali sigurno i zbog interesa za vatru koju je grom često znao zapaliti. Stalan interes za ove pojave u toku istorije čovečanstva doneo je samo površne predstave i nepotpune odgovore na malo pre postavljena pitanja. Čak i najneodređenija naučna znanja o gromu nisu bila poznata do početka ovoga veka. Tek zadnjih deset do petnaest godina izvršena su dovoljno detaljna merenja na osnovu kojih su mogla biti data objašnjenja nekih pojava koje prate munju, udar groma i grmljavinu.

Na osnovu meteoroloških posmatranja je zaključeno da se bure sa grmljavinom ili grmljavinske nepogode javljaju uvek kada se sretnu velike mase vazduha različitih osobina. Kod nas je najčešće slučaj da se hladan vazduh koji struji od zapada, od Atlantika, sretne sa vrućim letnjim vazduhom. Tada nastaju tzv. frontalne nepogode koje se velikom brzinom premeštaju iz jednog mesta u drugo. Često se, naročito leti, javljaju tzv. lokalne nepogode prouzrokovane jakim strujanjima toplog vazduha vertikalno naviše. Tada se pojavljuju usamljeni oblaci koji donose nepogodu i grad.

Činjenica da su munja i grom ustvari električna varnica, dokazana je već davno. Utvrđeno je da su kišne kapi koje padaju iz takvog oblaka naelektrisane. Obično iz prednjih delova oblaka pada pozitivno naelektrisana kiša, a iz zadnjih negativno (vidi sl. 1).

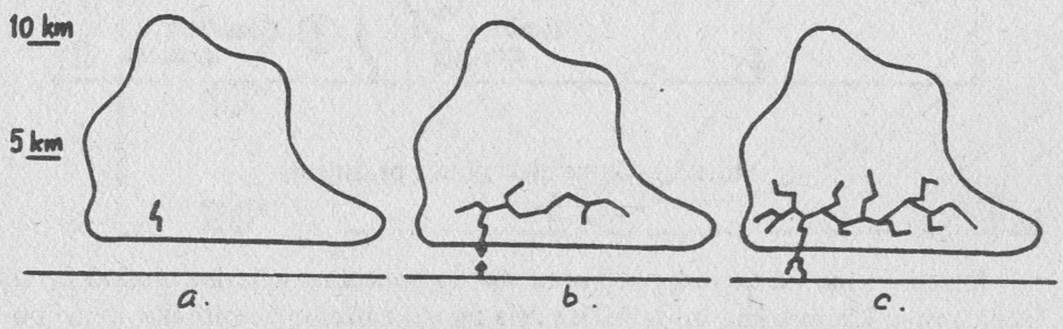
U mestima gde se topao vazduh sreće sa oblakom javljaju se pozitivno naelektrisane kapljice. Njihovo naelektrisanje se objašnjava raspršivanjem kapljica kiše. Međutim, mnogo veća količina naelektrisanja se u oblaku javlja iz drugih uzroka. Merenjima pomoću stratosferskih balona koji lete do visina iznad 10 kilometara, utvrđeno je da je oblak jako negativno naelektrisan na visinama oko pet kilometara gde je temperatura ispod nule, negde oko –10°C. Tamo se kapljice naglo smrzavaju pri čemu se naelektrišu. Pored samog procesa smrzavanja tome verovatno doprinosi i trenje smrznutih kapljica vode sa vazduhom. Na toj visini električni potencijal u



Slika 1 – Nastanak naelektrisanja u oblaku

odnosu na površinu Zemlje je jako visok, čak do 300 miliona volti. Međutim, ni ovako veliki napon nije dovoljan da izazove električni proboj između oblaka i Zemlje. Nedavnim snimanjem grmljavine pomoću nekoliko mikrofona istovremeno, i analizom zvuka iz svakog od njih, došlo se do zaključka da se prvo javlja slab proboj, tj. električna varnica, u samom oblaku (sl. 2a).

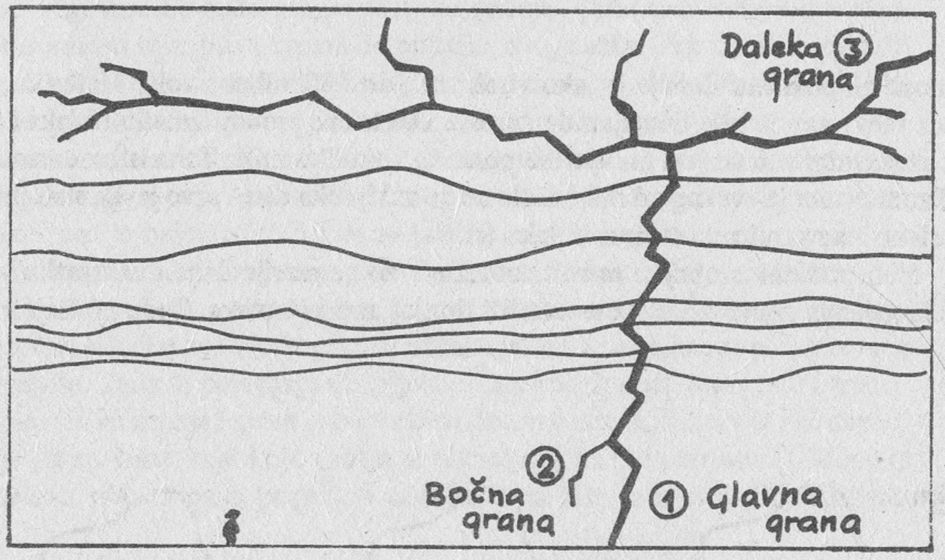
Mali početni proboj u samom oblaku brzo se razvija dalje i za kratko vreme jedna njegova grana može da se približi donjoj granici oblaka. Tada počinje razvoj



Slike 2a, b, c – Razvoj električnog proboja u oblaku i između oblaka i Zemlje

proboja – varnice od visokih objekata na Zemlji, drveta ili tornja, ka oblaku po tzv. vodećem kanalu proboja (sl. 2b). Kada se kanal koji je pošao iz oblaka spoji sa vodećim kanalom stvara se, putem jonizacije, dobro provodni kanal u vazduhu između oblaka i Zemlje. Tek tada nastaje naglo električno pražnjenje i udara grom. Za to vreme razvijaju se i grane proboja u samom oblaku i u njemu se odigrava glavni proboj (sl. 2c).

Električni proboj uvek prati bljesak svetlosti koji se zove munja. Pojava traje oko jedne desetine sekunde, dok je trajanje proboja između oblaka i Zemlje, tj. groma, mnogo kraće. Obično je vidljiv samo ovaj deo celokupnog proboja, ostali delovi proboja su skriveni u oblaku. Munja i udar groma su uvek praćeni grmljavinom, koja može biti jako različita. Počev od kratkih, jakih udara koji podsećaju na pucnjeve topa, preko udara koji se ponavljaju i zvuke slične cepanju ili mumlanju, pa do grmljavine koja kao da se udaljuje. Nastanak grmljavine može se vrlo lako objasniti. Prilikom jakog električnog pražnjenja vazduh se naglo zagreje. Tako zagrejan vazduh se širi kao kod eksplozije pri čemu se stvara zvučni talas koji čujemo kao grmljavinu. Kako će ta grmljavina da zvuči, u velikoj meri zavisi od munje koja je prouzrokovala.



Slika 3 – Grane električnog pražnjenja

Mereći vreme od trenutka pojave munje do početka grmljavine u sekundama, udaljenost u kilometrima do najbližeg dela munje možemo oceniti ako vreme podelimo sa tri (računajući da je brzina zvuka u vazduhu oko 330 metara u sekundi). Sve što se čuje kasnije dolazi od udaljenijih delova munje između oblaka i Zemlje ili u samom oblaku. Ovakvim merenjima možemo oceniti i udaljenost glavne gra-

ne proboja (od koje potiče najjača grmljavina) i najudaljenije grane (završetak grmljavine).

Pojedini delovi pražnjenja daju sledeće zvučne efekte po kojima ih možete razlikovati (v. sliku 3):

– udar groma u blizini praćen je oštrim udarom, kao topovski pucanj (1 – – glavna grana)

– viši, slabiji zvuk koji ponekad prethodi glavnom udaru, potiče od manje grane glavnog kanala, koja se razvija u smeru posmatrača (2 – bočna grana)

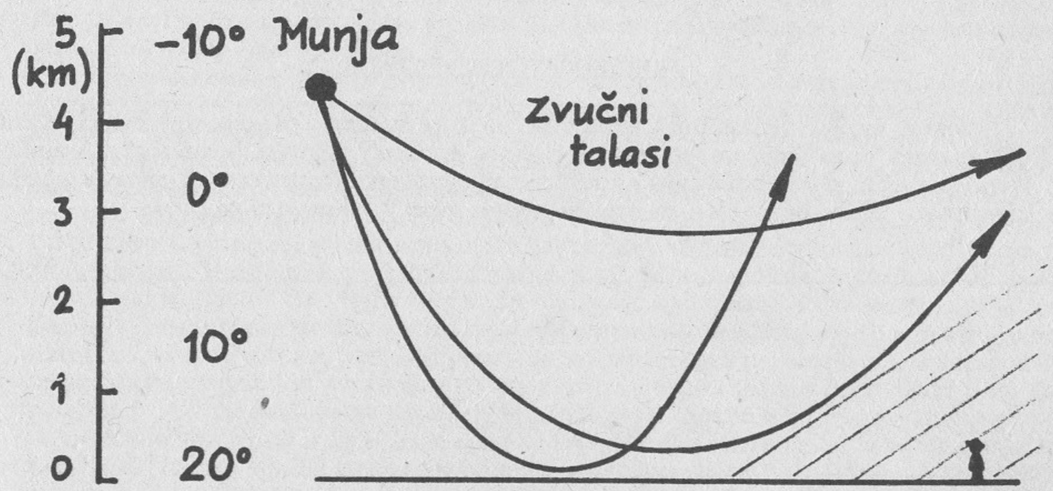
– u slučaju kada je najbliži grom razgranat, grmljavina podseća na rafal mitraljeza

– kada zabruje prozori usled grmljavine koja podseća na tutnjavu, zvuk potiče od munje u samom oblaku na velikoj visini. Sa rastojanja od više kilometara zvuk naime dolazi sa oslabljenim visokim tonovima.

– tutnjava koja se obično čuje posle prvog oštrog udara dolazi postepeno od sve udaljenijih delova proboja (3).

– ređe se čuje zvuk koji kao da potiče od nekog snažnog cepanja. On potiče od munje u oblaku bez dela koji udara u Zemlju.

Kako objasniti slučajeve jakog sevanja munja bez grmljavine? Često se, naročito noću, može videti udaljeno sevanje, posle koga se ne čuje grmljavina. To međutim ne znači da ne grmi i tamo gde seva, samo što zvuk grmljavine ne stiže do nas. To se dešava onda, kada se, zbog različitih temperatura pojedinih slojeva vazduha zvučni talas savija i zbog toga ne stiže do posmatrača (sl. 4).



Slika 4 – Nastajanje oblasti gde se ne čuje grmljavina

Na kraju još nekoliko zanimljivosti u vezi sa grmljavinom i gromom. Poznato je da postoje mesta gde češće dolazi do grmljavinskih nepogoda i udara groma. Kod nas u Jugoslaviji to je Lovćen u Crnoj Gori, okolina Valjeva i dr. Na tim mestima su naročito pogodni uslovi za stvaranje olujnih oblaka, a sastav terena (možda neke radioaktivne rude) omogućava lakše stvaranje provodnih kanala u vazduhu i udar groma. Ako se uzme u obzir cela površina naše planete, grmljavine sa udarima groma su mnogo češće nego što se misli. Prema pouzdanim podacima, u svakom trenutku se odigrava oko 1800 nepogoda sa grmljavinama i oko 100 gromova udari u zemlju svake sekunde!

ZVEZDA KOJA JE OTKRILA ASTRONOMA

Jednom prilikom je danski dvorski astronom Tiho Brahe u sazvežđu Kasiopeje primetio veoma sjajnu zvezdu, koju bi smo, prema sadašnjem znanju, najverovatnije svrstali u supernove. Svetlela je sve jače i jače, tako da se uskoro videla i danju, ali je zatim počela da slabi i na kraju je sasvim nestala. Iznenađen, Tiho Brahe je požurio da o svojim posmatranjima te zvezde što pre objavi knjigu, koja je sadržala i bezbroj astroloških proročanstava. Sva ta proročanstva su se pokazala kao čista fantazija i ni jedno od njih se nije ostvarilo. Astronom Johan Kepler je, bez obzira na to, visoko ocenio tu knjigu rečima: „Iako ta zvezda ništa nije pretskazala, ona je ipak čovečanstvu otkrila jednog velikog astronoma!".

J. LABAT

PRECIZNOST ISTRAŽIVAČA

Poznati engleski fizičar Dirak voleo je tačno da se izražava a tu tačnost je tražio i od drugih. Jednom je, na seminaru, student posle dugog izvođenja primetio da mu znak u krajnjem izrazu pogrešan. „Mora biti da sam na nekom mestu greškom promenio znak" rekao je gledajući napisano. „Želite da kažete – na neparnom broju mesta", dodao je na to Dirak.

J. LABAT

ŠTA JE...

MODEL

SVETOZAR E. BOŽIN
Prirodno-matematički fakultet, Beograd

Nije redak slučaj da jedna te ista reč može imati sasvim različita značenja. Takva je i reč „model". U tehnici se koristi pojam „radni model" za pojedine mašine ili uređaje, a znači isto što i „maketa". Takvi su modeli generatora, turbine, jedrilice, broda. Oni rade – „funkcionišu" – kao prave odgovarajuće mašine, iako su po pravilu od njih mnogo manji ali zato imaju sve delove, a često su izrađeni i od istih materijala, kao prava mašina. Takvi se modeli upotrebljavaju za ispitivanje osobina novih tipova mašina u radu pri različitim uslovima (na primer, modeli aviona u aerodinamičkom tunelu). Druga vrsta modela koristi se u nastavi za prikazivanje pojava (model Sunčevog sistema), građe tela (model kristala ili molekula napravljen od kuglica koje predstavljaju atome), sastav i rad raznih mašina i instrumenata. To su, ustvari, trodimenzionalne „slike" pojava i objekata, napravljene od odgovarajućih materijala.

U fizici se, međutim, koriste i modeli koji se bitno razlikuju od svih ostalih. To su takozvani „teorijski modeli". Oni postoje samo u našoj mašti i najčešće se i ne mogu predstaviti nekom slikom. Takvi su, na primer, model idealnog gasa, kvantno-mehanički model atoma, model provođenja struje u čvrstim telima. Teorijski modeli u fizici, slično geometrijskim modelima (linija, trougao, sfera i drugo) mogu se proučavati, odnosno analizirati korišćenjem matematike. Rezultati takvih analiza mogu nam biti od velike koristi u pokušajima da otkrijemo međusobnu povezanost pojava i njihove uzroke.

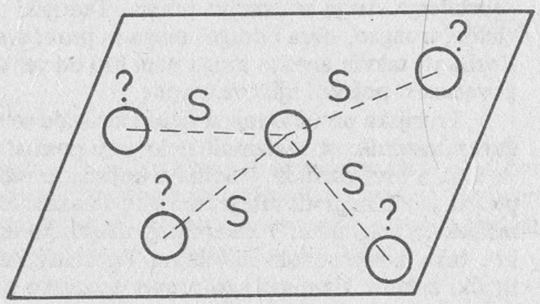
Teorijska proučavanja u fizici zasnivaju se na rezultatima posmatranja i eksperimenata. Međutim, raznolikost uzajamnih delovanja posmatranog realnog sistema i njegove okoline toliko su složeni, a broj fizičkih veličina o kojima se mora voditi računa toliko je veliki, da se teorijskim putem može napredovati jedino ako se analizira model realnog sistema. To je u potpunosti zamišljen („imaginaran") sistem koji uzajamno deluje, posredstvom ograničenog broja uticaja, sa isto tako imaginarnom okolinom. Pri analiziranju ovakvog modela primenjuju se odgovarajući fizički zakoni. Uzmimo kao primer teorijsko proučavanje padanja tela kroz vazduh koji pruža otpor kretanju. U ovoj pojavi prisutni su mnogi uticaji, ali mi možemo „modelirati" taj sistem ovako: telo je „kruto" (ne može se deformisati), pri padanju je podvrgnuto delovanju sile Zemljine teže i sile otpora vazduha, obe sile deluju na centar mase tela. Ovaj model je mnogo jednostavniji od stvarnog sistema, pa se opis ponašanja modela, dobijen primenom poznatih prirodnih zakona, mora uporediti sa ponašanjem stvarnog sistema. Dobro slaganje će se dobiti samo ako uticaji koji su u modelu uzeti u obzir, zaista prevladavaju i u stvarnosti. U navedenom primeru, pomenute dve sile su najznačajnije samo za neka ponašanja sistema. Stoga se, na osnovu rezultata analize toga modela mogu predskazati sa zadovoljavajućom tačnošću samo neke veličine, kao što je, na primer, trenutna brzina padanja. Međutim, pri padanju može doći do obrtanja tela, što analiza ne predskazuje, jer je obrtanje uzrokovano silama koje u modelu nisu uzete u obzir. Prema tome, modeli ne mogu biti bolji nego što su postavke na kojima su zasnovani. Pošto su postavke različitih kvaliteta i nikada ne mogu biti savršene, svi teorijski zaključci moraju se proveriti eksperimentalno. Tako se utvrđuju uslovi pri kojima se model i na osnovu njega izgrađena teorija mogu koristiti za predskazivanje fizičkih pojava.

Svetozar E. Božin
Prirodno-matematički fakultet
Beograd

VEKTORSKI KARAKTER NEKIH FIZIČKIH VELIČINA

Fizičke veličine su one osobine tela i pojava koje se mogu meriti i izraziti brojevima. Neke fizičke veličine, kao što su, na primer, masa, gustina, energija, temperatura, u potpunosti su određene samo jednim brojem koji se naziva „brojna vrednost" fizičke veličine. Šta to znači „u potpunosti određene"? Ako na osnovu podataka koje imamo o fizičkoj veličini možemo predskazati *sve* posledice koje zavise od te veličine, onda je ona u potpunosti poznata, određena. Fizičke veličine za koje je dovoljno znati samo njihovu brojnu vrednost nazivaju se skalari.

Međutim postoji i jedna druga vrsta fizičkih veličina o kojima, pored brojne vrednosti, moramo imati još neke podatke da bismo mogli predvideti sve posledice (rezultate) koji od te veličine zavise. Uzmimo kao prvi primer brzinu. Ako znamo samo jednu brojnu vrednost (v) onda, na osnovu toga podatka možemo predvideti jedino dužinu puta (s) koji će telo preći za dato vreme (t). Telo čija je brzina 2m/s preći će nakon 5 s put dužine 10 m, što predviđamo iz formule $s = vt$. Međutim, ne znamo gde će se telo nalaziti kada pređe taj put (sl. 1). Da bismo znali *i mesto* gde će se telo nalaziti posle 5 s, moramo znati pravac i smer kretanja, odnosno *pravac i smer brzine*. Posledice sudara dva vozila čije brzine imaju brojne vrednosti 12 m/s i 14 m/s, na primer, ne mogu se predvideti ako nisu poznati pravci i smerovi tih brzina. Posledice su „najžešće" ako se vozila kreću duž istog pravca ususret jedno drugome, a „najblaže" ako se sustižu, odnosno kreću u istom pravcu i smeru. Fizičke veličine za koje, pored brojne vrednosti, moramo znati pravac i smer da bi bile u potpunosti određene, nazivaju se vektorske veličine. One se grafički prikazuju strelicama čija je dužina srazmerna brojnoj vrednosti („intenzitetu") fizičke veličine a ima isti pravac i smer kao ta veličina.

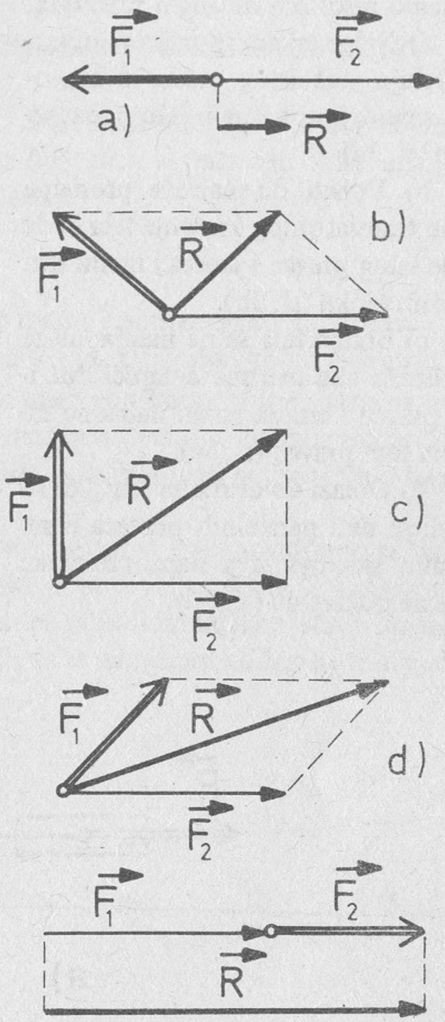


sl.1.

Za razliku od skalarnih veličina čiji zbir uvek ima samo jednu jedinu vrednost, zbir dve vektorske veličine može imati bilo koju brojnu vrednost od neke najmanje (kada su vektori istoga pravca a suprotnih smerova) do neke najveće (kada su vektori istih pravaca i smerova). Razlog tome je što se

vektorske veličine sabiraju „geometrijski": strelice kojima prikazujemo te veličine, premeste se tako da imaju zajednički početak pa se nad njima konstruiše paralelogram čija dijagonala predstavlja traženi zbir – „rezultantu" ($\vec{R}$ na sl. 2). Intenzitet zbira dva vektora ($\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$) zavisi kako od njihovih intenziteta tako i od njihovih pravaca i smerova. Najmanji je kada su istog pravca a suprotnih smerova (sl. 2. a), dok je najveći ako im se poklapaju i pravci i smerovi (sl. 2. e). U prvom slučaju ugao između F_1 i F_2 je 180°. Što je taj ugao manji (sl. 2. b, c i d), rezultanta ima veći intenzitet, tako da postaje najveći kada je taj ugao 0° (sl. 2. e).

Kada se u svakodnevnom životu govori o brzini tela, često pravac i smer brzine nisu od značaja (brzine koje se postižu u trkama, na primer). Ponekad, pak, pravac i smer brzine iskazani su rečima („avion leti duž prave linije iz Zagreba u Beograd brzinom od 450 km/h", „Zemlja se kreće oko Sunca brzinom od 30 km/s"). Nepotpunost opisa brzine samo brojnom vrednošću dolazi naročito do izražaja ako se radi o sabiranju brzina: tada često ne možemo na osnovu samo brojnih vrednosti predskazati ne samo položaj tela nakon datog vremena, već ni pređeni put (čamac koji se kreće u odnosu na reku brzinom 6 m/s, reka teče brzinom 4 m/s, koliki će put preći čamac posle 15 s – to ne možemo odrediti iz datih vrednosti). Još izrazitije je to kada je u pitanju vektorska veličina sila. Delovanjem sile na telo može da se menja njegova brzina. Kakve i kolike će biti promene brzine ne možemo predvideti ako znamo samo intenzitet sile. Pri delovanju sile istog intenziteta brzina se po



sl.2.

brojnoj vrednosti može povećavati, smanjivati ili ne menjati; rezultat, osim od intenziteta sile, zavisi još i od njenog pravca i smera. Još su raznovrsnije posledice do kojih može doći kada na telo deluju istovremeno dve sile. Uzmimo da su obe istog intenziteta, na primer po 2 N. Na osnovu samo tog podatka, ako ne znamo pravce, smerove, pa i njihove „napadne tačke" – mesta na telu gde sile deluju, ne možemo baš ništa predskazati o rezultatu njihovog zajedničkog delovanja. Navešćemo o-

vde samo nekoliko mogućih rezultata.

a) Delovanja se poništavaju ako sile deluju duž istog pravca u suprotnim smerovima a imaju istu napadnu tačku (sl. 3a).

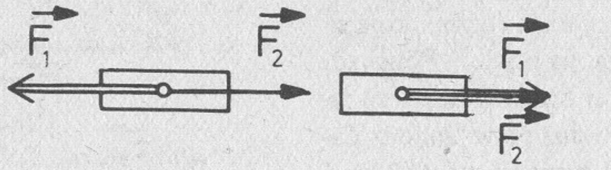
b) Dolazi do najveće promene brzine translatornog kretanja tela kada su sile istog pravca i smera i imaju istu napadnu tačku (sl. 3b).

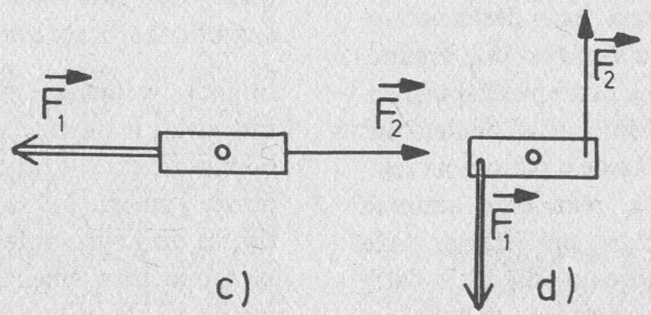
c) Brzina tela se ne menja, ali se telo isteže ako ove sile delujući duž istog pravca i smera imaju napadne tačke na tom pravcu (sl. 3c).

d) Dolazi do obrtanja tela ako sile deluju duž paralelnih pravaca u suprotnim smerovima a napadne tačke im se ne poklapaju (sl. 3d).

Da bi se moglo predvideti šta će se desiti kada na telo deluju dve (ili više) sila neophodno je znati i njihove intenzitete, pravce smerove i napadne tačke. Tako je to sa svim vektorskim veličinama. Mnoge neočekivane i neobične posledice mogu proizvesti vektorske veličine istog intenziteta, a različitih ostalih parametara kojima su te veličine u potpunosti određene. Naročito kada se radi o telima koja se obrću, ili o silama čiji intenziteti, pravci i smerovi zavise od vektora brzine tela koje se kreće.

Pored skalarnih i vektorskih veličina u fizici postoje još i neke druge veličine (na primer tenzorske), ali to je posebna priča.





sl.3.

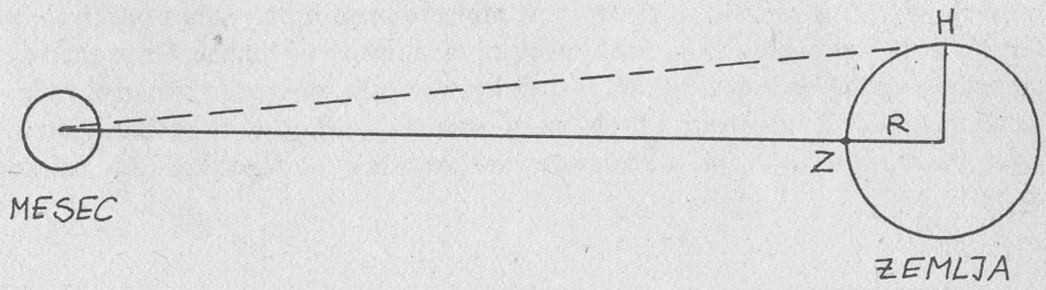
MERENJE UDALJENOSTI MESECA I SUNCA OD ZEMLJE

Ima više načina kako da se izmeri udaljenost Meseca ili Sunca od Zemlje. Mi ćemo se pozabaviti najjednostavnijim, za koje nam je potreban dobar uglomer i nešto malo poznavanja elementarne matematike.

Udaljenost Meseca od Zemlje

Uzmimo jedan štap dužine jednog metra i posmatrajmo ga u pravcu normalnom na njegovu dužinu sa udaljenosti od 10 m. Ugao pod kojim vidimo taj štap sa te udaljenosti iznosi $5^\circ 40'$. Merimo sada ugao pod kojim vidimo štap na udaljenosti od 20 m. On iznosi $2^\circ 50'$. Sada već možemo doći do korisnog zaključka. Kada nam je udaljenost od štapa postala dva puta veća ugao pod kojim vidimo štap je postao dva puta manji.

Uradimo li ova merenja još za koju udaljenost štapa uverićemo se da nam se svaki predmet čini toliko puta manji koliko je puta dalje od nas. Taj odnos za velike uglove nije potpuno tačan, ali kada se računa sa velikim udaljenostima i malim uglovima, ta se sitna netačnost toliko umanji, da se na nju praktično ne treba obazirati.



Sl. 1. Mesec, kad nam je nad glavom, bliže je Zemlji za jedan Zemljin poluprečnik

Sada sve to možemo jednostavno primeniti na Mesec i izračunati njegovu udaljenost od središta Zemlje. Posmatrajmo sliku 1. Kada se nalazimo u tački Z Mesec nam se nalazi nad glavom. Nakon 6 sati Zemlja se okrene za jednu četvrtinu svoga obrta i mi se nalazimo u tački H, a Mesec nam je nisko pri horizontu. Primećujemo da smo od njega dalje približno za jedan Zemljin poluprečnik (R). Ako tačno izmerimo ugaoni prečnik Meseca iz tačke Z i tačke H videćemo da nam je on u tački Z veći za 1/60 nego u tački H. Dakle, mi smo se udaljili za jedan Zemljin poluprečnik, a ugao pod kojim vidimo Mesec nam se smanjio za jednu šezdesetinu. Prisećajući se eksperimenta sa štapom zaključujemo da udaljenost do Meseca iznosi 60 Zemljinih poluprečnika. Zemljin poluprečnik je 6370 km, tako da je udaljenost Meseca 6370x60 km (tačnije 6378,39x60,266) = 384400 km.

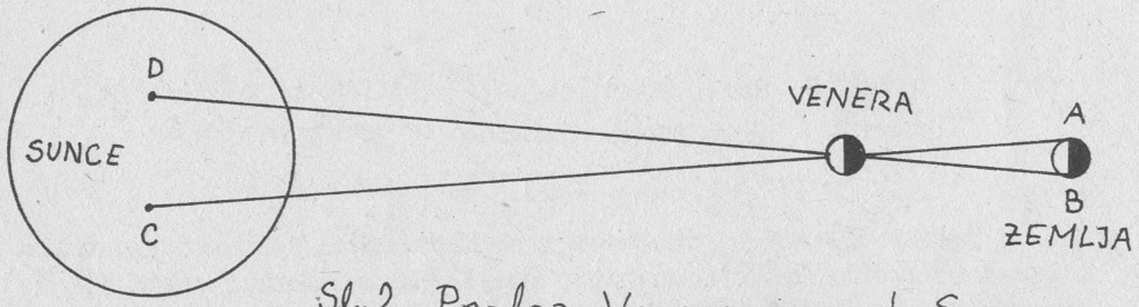
Do istog zaključka smo mogli doći i pomoću fotografije Meseca. Fotografišimo Mesec jedanput kada je na izlasku; a jedanput kada nam je nad glavom. Izmerimo li širinu Meseca na jednoj i na drugoj fotografiji pa usporedimo te veličine, videćemo da je širina Mesečeve slike na izlasku za 1/60 manja od širine slike, kad nam je Mesec bio nad glavom. Zaključak koji iz toga sledi nam je već poznat.

Ovde treba napomenuti, da se golom oku čini da je Mesec pri izlasku ili zalasku veći, nego kada je visoko na nebu. Ali, to je poznata optička varka, a nastaje zbog toga, što se predmeti (kuće, drveće itd.) na horizontu čine veoma maleni prema Mesecu, pa se on zbog toga čini toliko veliki. Obična nam fotografija, kako smo videli, pokazuje da se naše oko vara.

Kako je bila izmerena udaljenost Sunca od Zemlje

Udaljenost Sunca možemo odrediti na isti način kao i Meseca. Međutim zbog velike udaljenosti Sunca i njegova velikog sjaja, nemoguće je tačno izmeriti tako malu promenu ugla pod kojim se vidi Sunčev disk.

Problem je još godine 1678. rešio mladi astronom Halley. On je došao na ideju kako da se prolaz planete Venere ispred Sunca iskoristi za određivanje udaljenosti Sunca. Inače, prolaz Venere ispred Sunca vrlo je redak događaj. To se dogodi prosečno jedanput u 100 godina. Halley je bio mladić od 22 godine kada je došao na svoju glasovitu zamisao, a sledeći prvi prolaz Venere ispred Sunca očekivao se tek 1761, to jest nakon 83 godine. Halley bi tada imao 103 godine. On je znao da taj veliki događaj neće doživeti, ali je ipak kao naučnik, pripremio materijal za astronome koji će ga nadživeti, i toplo im preporučio da iskoriste tu priliku, kako bi nakon toliko stoleća čežnje čovečanstvo što preciznije odredilo koliko je daleko Sunce!



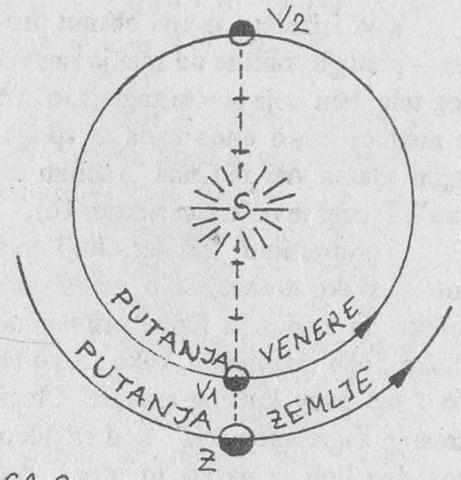
Sl.2. Prolaz Venere ispred Sunca

Godine 1761. kada je Halley već odavno bio mrtav, Venera se pojavila kao sitna crna tačkica pred užarenom Sunčevom pločom. Gledajući je tada sa različitih mesta na Zemlji, ona se različito projecirala na Sunčevoj površini. Pogledajmo sliku 2. Astronom u tački A video je Veneru u tački C na Sunčevoj površini, a onaj u tački B video je Veneru u tački D. Daljina između C i D na Suncu iznosila je 36-ti deo prečnika Sunca, iako su tačke A i B međusobno udaljene za čitav Zemljin prečnik (d_z = 12740 km). Koliko je puta udaljenost CD veća od udaljenosti AB? Sa slike 2 se vidi da je to onoliko puta koliko je Venera udaljenija od Sunca nego od Zemlje.

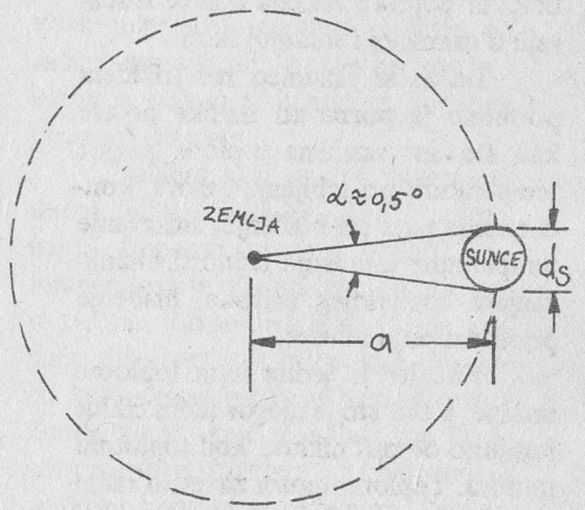
Posmatranjem prividnog prečnika Venere izmereno je da nam se ona čini 7 puta veća kada je najbliže Zemlji nego kada je najdalje od nje.

Koristeći tu činjenicu nacrtali smo sliku 3. Venera najbliže Zemlji nacrtana je kod slova V_1, a najdalje kod V_2. Udaljenost ZV_2 podelili smo na sedam jednakih delova. Sunce je u sredini između V_1 i V_2. Na toj slici odmah vidimo da je Venera kad je najbliže Zemlji 3 puta dalje od Sunca nego od Zemlje.

Prisetimo se sada onoga što smo rekli gledajući sliku 2. Zaključujemo da je udaljenost CD = 3 · d_z, a prečnik Sunca d_s = 36 · CD = 36 · 3 · d_z što zaokruženo iznosi 1400000 kilometara! Ogromno je naše Sunce. Prečnik mu je više od tri i po puta veći od udaljenosti Meseca do Zemlje!



Sl.3. Putanja Venere sa položajem Zemlje i Sunca



Sl.4. $d_S \approx 1400000$ km. Koliko je daleko Sunce (a = ?)

Znajući prečnik Sunca sada je lako odrediti njegovu udaljenost. Pogledajmo sliku 4. Sunce se sa Zemlje vidi pod uglom od 32′, dakle približno pod uglom od 0,5°. Pošto čitav krug ima 360° znači da je obim kruga čiji je poluprečnik jednak udaljenosti Zemlje od Sunca (na slici 4 označena sa a) veći od prečnika Sunca za približno 360/0,5 = 720 puta. Dakle $2\pi a = 720 \cdot d_s$. Dakle $a = (720/2\pi) \cdot d_s$. Na ovaj način tačno računavši sledi da je Zemlja od Sunca udaljena 107 Sunčevih prečnika. Pošto Sunčev prečnik znamo, izlazi da je Zemlja od Sunca daleko čitavih 149.500.000 km. Tako su, eto, ljudi, po ideji mladića Halleya, saznali koliko je daleko nama najbliža zvezda-Sunce!

Napomena:
Molimo autora ovog članka da se javi uredniku časopisa radi pribavljanja potrebnih podataka o autorstvu, jer smo obavezni da ih saopštimo našim čitaocima.

Urednik

ŠTA JE ... KAKO RADI ...?

Tomislav Petrović
Prirodno-matematički fakultet
Beograd

FRIŽIDER

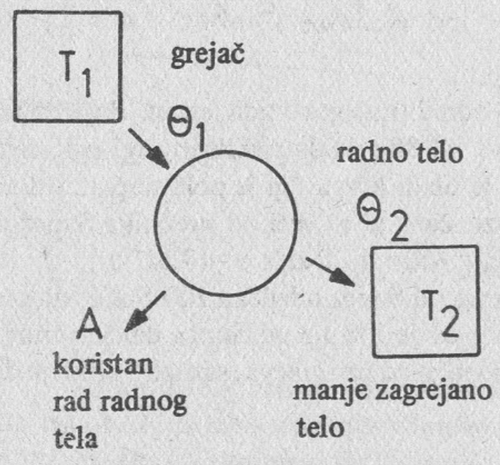
Princip rada kompresionih hladnjaka, „frižidera", zasnovan je na nizu fizičkih pojava i zakona koji se izučavaju u osnovnoj i srednjoj školi.

Da bi se razumeo rad frižidera potrebno je poznavati fizičke pojave kao što su: razmena toplote, porast temperature pri sabijanju gasova, kondenzacija pare pri hlađenju, snižavanje temperature ključanja tečnosti smanjivanjem spoljašnjeg pritiska, hlađenje pri isparavanju i druge.

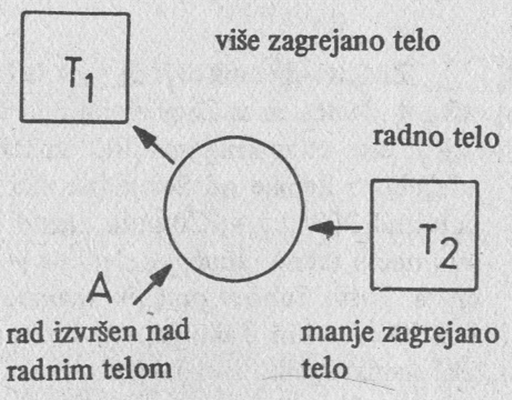
Frižider je jedna vrsta toplotne mašine, s tim što je njegov radni ciklus potpuno obrnut ciklusu kod toplotnih motora. Toplotni motor za jedan radni ciklus uzima od grejača količinu toplote Q_1, od koje hladioniku (kondenzatoru) predaje količinu toplote Q_2. Razlika $Q_1 - Q_2$ transformiše se u koristan rad koji vrši „radno telo" (slika 1a).

Kod frižidera se vrši obrnut proces – predaja toplote od manje zagrejanog tela, telu koje je više zagrejano. To je moguće samo onda kada se spoljašnjim silama vrši rad nad „radnim telom". Proces je prikazan slikom 1b).

Kompresioni frižider, koji ima gotovo svako domaćinstvo, pruža nam priliku da znanja iz fizike primenimo i tako bolje razumemo, kako fiziku tako i rad ovog kućnog aparata. Ulogu „manje zagrejanog tela" kod frižidera ima deo koji se naziva *isparivač*, deo



Slika 1a.



Slika 1 b

koji je smešten u unutrašnjosti frižidera i toplotno je izolovan od okoline. „Više zagrejano telo" je vazduh u prostoriji sa frižiderom. „Radno telo" je freon, hemijsko jedinjenje ugljenika, fluora i hlora (CF_2Cl_2), koje ima niz prednosti u odnosu na druga ohlađujuća sredstva, s obzirom da nije otrovan, nema mirisa i nije eksplozivan.

Hlađenje komore frižidera zasniva se na pojavi apsorbovanja velikih količina toplote pri ključanju freona na niskim temperaturama.

Osnovni delovi jednog kompresionog frižidera kao i drugi delovi vide se na sl. 2. Osnovni su: *kompresor sa elektromotorom* (1), *isparivač* (2) *i kondenzator* (3).

Kompresor je u stvari cilindar sa klipom pomoću koga se vrši kompresija (sabijanje) pare freona. Klip kompresora se pokreće elektromotorom. Isparivač ima oblik poveće četvrtaste kutije sa specijalnim kanalima i odgovarajućim kolektorima. Kondezator zauzima gotovo celu zadnju stranu frižidera. Sastoji se od zmijaste bakarne cevi, učvršćene za metalni ram. Ovakva konstrukcija pomaže boljem hlađenju kondenzatora cirkulacijom vazduha u prostoriji.

Isparivač je sa kondenzatorom povezan kapilarnom cevi (4), koja svojim malim presekom omogućava da nastane pad pritiska u tečnom freonu. Sa kompresorom isparivač je povezan pomoću cevi (5) koja omogućava isisavanje pare freona. Kompresor, kondenzator i isparivač međusobno su povezani i obrazuju hermetički zatvoren sistem, u kome cirkuliše konstantna količina freona koji na tom putu menja svoje agregatno stanje.

U početnom momentu u isparivaču se nalaze pare freona. Kada se utikačem (6) uključi elektromotor na mrežni napon, kompresor usisava u svoju unutrašnjost paru freona i sabija je kroz cev (7) u kondenzator, gde se ona usled hlađenja pretvara u tečnost. Tečni freon prolazeći kroz filter (8) dolazi u kapilarnu cev, u kojoj se pritisak freona snižava do vrednosti na kojoj će proključati.

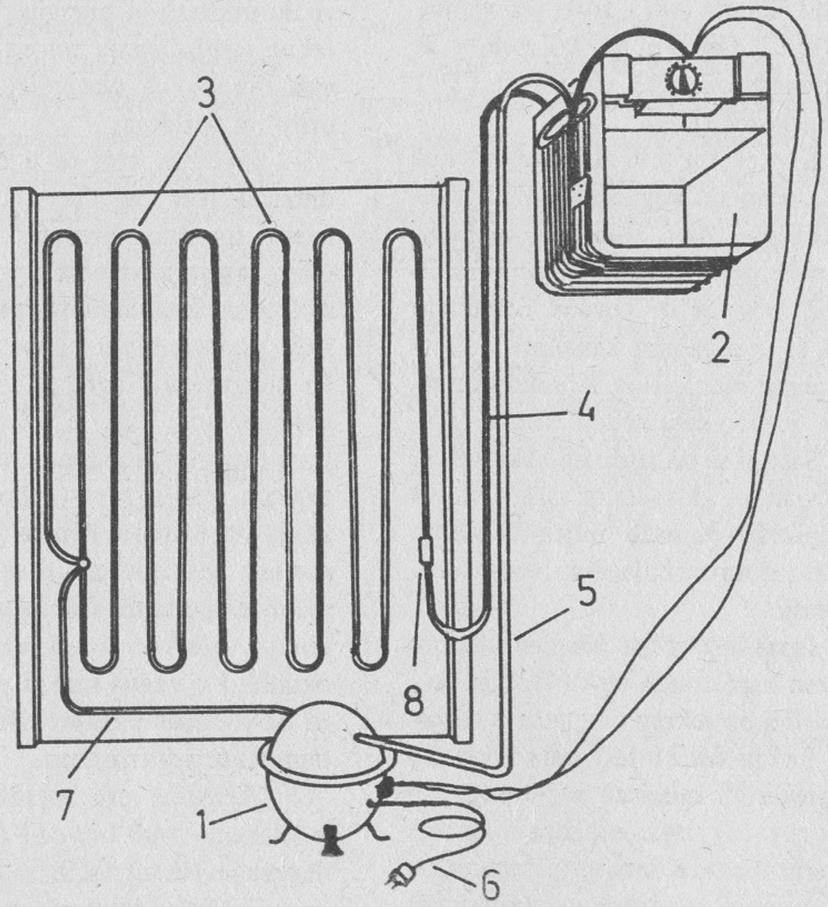
Došavši u isparivač, takav freon vrši apsorbovanje velike količine toplote i pretvara se u paru. Pare sada imaju višak unutrašnje energije, dobijen na račun rashlađivanja zidova isparivača i vazduha koji ih okružuje, tj. korisnog prostora frižidera.

Problem koji se u ovakvom radnom ciklusu javlja je – kako toplotu uzetu freonom predati okolini, čija temperatura je viša od temperature pare freona. Razumljivo je da to nije moguće neposrednom razmenom. Pomoću kompresora sabija se para freona u kondenzator, koji se nalazi van korisnog prostora frižidera i tako dovodi u toplotni kontakt sa okolinom. Para se sabija do pritiska koji je potreban da nastane kondenzacija. Pošto je sabijanjem temperatura freona porasla, stvoreni su uslovi da se vrši predaja toplote okolini, koja sada ima nižu temperaturu od sabijene pare freona, ali višu od temperature u frižideru.

Rezultat ove toplotne razmene je hlađenje pare freona i njegova kondenzacija. Na taj način se u kompresionom frižideru ostvaruje zatvoreni kružni ciklus, pri čemu se kompresorom, s jedne strane, isisavaju pare freona iz isparivača i stvaraju uslovi za ključanje na niskoj temperaturi, a s druge strane,

te pare se potiskuju u kondenzator i sabijaju do pritiska kondenzacije, pri čemu se povišava njihova temperatura. Bez sabijanja pare, ne samo što ne može da se dobije tečni freon koji je neophodan za sledeće isparavanje i rashlađivanje frižiderskog prostora, nego je nemoguća predaja toplote okolini. Kao što se vidi, rad kompresora na račun utroška električne energije, bitan je element u ciklusu mašine za hlađenje. S obzirom da okolina razmenom prima višak unutrašnje energije, frižider se može smatrati svojevrsnom „toplotnom pumpom", kojom može ne samo da se hladi prostor, već da se vrši i zagrevanje prostorije.

Za normalno funkcionisanje frižidera bitno je da se u njemu održava određeni temperaturski režim. U tu svrhu služi poseban, u frižideru ugrađen uređaj – *termostat,* koji automatski uključuje i isključuje elektromotor da on ne bi stalno radio već po potrebi, zavisno od temperature u korisnom prostoru frižidera.



Slika 2.

FIZIKA I

Томислав Сенћански
О.Ш. „Марија Бурсаћ"
БЕОГРАД

ПОГЛЕД КРОЗ ЗЕМЉИНУ КОРУ

Земљина кора ствара континенте, океанске и морске базене. Испитивања Земљине коре не могу се замислити без примене физике. У чему се састоји примена физике при овом?

Стене и минерали који сачињавају Земљину кору имају различите физичке особине: густину, магнетну пермеабилност, еластичност, електричну проводљивост, радиоактивност, температуру и др. Разлике особина на појединим местима изазивају поремећаје на Земљиној површини. Откривањем и мерењем тих поремећаја доносе се закључци о распрострањености стена и минерала у Земљиној кори.

Земља је велики магнет, односно поседује своје магнетно поље. Уколико се у Земљи налазе магнетне стене, оне ће изазвати промену Земљиног магнетног поља. На том месту се појачава земљино магнетно поље. То се може утврдити помоћу магнетне в а г е. Она уз помоћ магнетног система региструје промене. Добијени резултати се упоређују са нормалним вредностима земљиног магнетног поља које су функције географских ширина и дужина. На основу добијених података одређује се распрострањеност магнетних стена у Земљи. Данашњи напредак технике омогућио је да се изграде апарати на принципу електромагнетне индукције којима се магнетна испитивања изводе и из авиона.

Стене различитог састава имају различите еластичне особине и кроз њих се механички таласи, који се изазивају вештачким путем /експлозијом/, простиру различитим брзинама. Захваљујући овој особини стена, могуће је одредити њихову дубину и нагиб. У ту сврху направе се бушотине у које се смести експлозив. Експлозијама се изазивају таласи који се шире на све стране. Кад дођу до граничних површина стена различитих еластичних особина таласи се преламају и одбијају. Одбијени таласи долазе до сеизмографа који су постављени на разним

местима земљине површине. Сеизмографи реагују, односно у њима. под утицајем таласа, затрепери соленоид који је смештен у магнетном пољу сталног магнета и у њему се индукује струја. Овако настала индукована струја се после појачања региструје у одговарајућем апарату /сл. 1/. На овај начин се мери време које је потребно таласу да пређе пут од тачке експлозије до одбојне површине и од ње до сеизмографа. Овом податку придружују се и други: растојање између тачке експлозије и сеизмографа, разлика између тренутка наиласка одбијеног таласа и тренутка експлозије и просечна брзина простирања таласа, па се на основу тога одређује дубина на којој се стена налази.

Електрична проводљивост стена је такође различита. На основу тога се оне могу распознавати. У ту сврху се кроз две електроде, које су забодене у земљу, проводи једносмерна или наизменична струја. Помоћу друге две електроде прати се промена напона. На основу Омовог закона добија се електрични отпор који је мерило за препознавање врсте стена. Из ових података добија се и дубина на којој се налазе стене различите електричне проводљивости.

За откривање радиоактивних стена употребљавају се најчешће Гајгерови бројачи. Обично се направе бушотине у Земљи и у њих спуштају сонде са бројачима. Електрични импулси произведени зрачењем преносе се из бројача преко кабла до надземног уређаја, који аутоматски уписују криву радиоактивности на покретну траку.

Поред ових метода постоје и многе друге. Испричали смо вам и упростили оне које се најлакше могу разумети. Али за све методе је заједничко да се заснивају на физичким законима без којих не би било могуће откривање природног богатства планете на којој живимо.

DA LI SU EDISON I TESLA BILI PREDLOŽENI ZA NOBELOVU NAGRADU IZ FIZIKE

U biografskoj literaturi o Edisonu i Tesli može se ponegde naći da su oni 1912. godine (po nekim autorima 1915. godine) dobili Nobelovu nagradu. Izgleda da su ove tvrdnje bile bazirane na nekim novinskim izveštajima. Međutim, od stalnog sekretara švedske Akademije nauka, A. Vestgrena, dobijeno je tim povodom sledeće obaveštenje: „Svake godine se oko 500 fizičara i hemičara – od kojih oko 400 stranih – predlaže za kandidate za dobijanje nagrade iz fizike i hemije. Tesla je bio predložen tek 1937. godine. Nesumnjivo je da su njegovi radovi u oblasti elektrotehnike bili genijalni, ali u trenutku predlaganja više nisu bili novi i nisu dolazili u obzir za nagradu. Koliko je meni poznato, Edison nije nikada bio predložen. Njegova otkrića su pretežno tehničke prirode, tako da se ne može smatrati da je njegov doprinos fizici bio novatorski".

J. LABAT

Vladimir D. Adamović
Obrazovni centar „Bratstvo–jedinstvo"
KUČEVO

OTKRIĆE KOSMIČKIH ZRAKA

Početkom 20 veka mnogi istraživači izvodili su eksperimente, sa ciljem da što bolje prouče rendgenske i radioaktivne zrake, pri čemu su koristili i elektroskop. Tako su engleski naučnik Vilson i nemački naučnici Elster i Gajtel (1900.) primetili da naelektrisani elektroskop gubi svoje naelektrisanje („prazni se") i onda kada se blizu njega ne nalazi nikakav izvor zračenja, niti bilo kakvo drugo naelektrisano telo. Bilo im je poznato da se elektroskop prazni usled jonizacije vazduha, ali nisu znali zašto se vazduh jonizuje. U cilju otkrivanja jonizatora vazduha vršeni su eksperimenti sa elektroskopom zatvorenim u sud sa debelim zidovima od olova. Očekivalo se da do jonizacije vazduha neće doći, jer u takvim uslovima bio je zaštićen od svih do tada poznatih radijacija. Međutim, do jonizacije vazduha iako malo slabije ipak je došlo. Očigledno, jonizaciju su izazvali neki do tada nepoznati zraci koji imaju veliku prodornu moć.

Prva istraživanja nepoznatih zraka potiču još i od Raderforda (1902.), Kuka (1902.), Vulfa (1909.), Gokela (1910.), Hesa (1911.), Kolherstera (1913.), a zatim Milikena, Botea i dr. Neki naučnici su predpostavljali da nepoznati zraci potiču iz Zemlje, dok su Vilson i drugi smatrali da ovi zraci dolaze iz prostora izvan Zemlje. Austrijski naučnik Hes, od 1912. do 1914. godine istraživao je nepoznate zrake pomoću balona za letenje, snabdevenog instrumentima, puštajući ga do visine 5000 m. Hes je smatrao da su nepoznati zraci vasionskog porekla i zato ih je nazvao visinskim zracima. U susednoj Nemačkoj, godine 1913. i 1914., Kolherster istražuje ove zrake takođe pomoću balona ali do visine 9000 m. Ovim je istraživanjima utvrđeno da je na visini 9000 m. u zatvorenom sudu jonizacija vazduha 50 puta veća nego na površini Zemlje.

Sa početkom Prvog svetskog rata 1914. godine istraživanja su prekinuta. Posle rata mnogi naučnici nastavili su istraživanja na ovom polju. Među njima naročito se ističe američki naučnik Miliken. On je vršio ispitivanja nepoznatih zraka na visinama većim od 15000 m. Takođe, vršena su istraživanja na vrhovima planina i u dubinama jezera i mora. Sva ta istraživanja potvrdila su da su visinski zraci vrlo prodorni, čije je poreklo negde u kosmičkom prostoru. Zato su 1925. g. (Miliken) dobili naziv Kosmički zraci.

Pronalazak Vilsonove komore (1911. g.) i Gajger-Milerovog brojača (1928. g.), kao i primenom fotografske ploče, omogućen je znatan napredak u istraživanju kosmičkih zraka. Upotrebom Vilsonove komore, sovjetski fizičar Skobelcin došao je 1927. g. do zaključka da kosmički zraci imaju fantastično velike energije. Gajger-Milerov brojač, za istraživanje ovih zraka, koristili su 1929. godine Bote i Kolherster, a sedam godina kasnije u ovu svrhu Austrijanka Blau je koristila fotografsku ploču. Ovim istraživanjima utvrđeno je da se kosmički zraci sastoje od protona (85%), alfa čestica i nekih težih jezgara kao i da je energija čestica kosmičkog zračenja 10^9 eV (oko 10^{-10} J).

Kosmički zraci koji dolaze do gornjih slojeva atmosfere zovu se primarni kosmički zraci. Prilikom sudara primarnog kosmičkog zračenja sa jezgrima atoma Zemljine atmosfere, nastaje tz. sekundarno kosmičko zračenje.

ISTRAŽUJTE I OTKRIVAJTE SAMI

SVETOZAR E. BOŽIN
Prirodno-matematički fakultet, Beograd

„Ljudi su mnogo više skloni da veruju rečima nego činjenicama stvarnosti koja ih okružuje."

I.P. Pavlov, ruski fiziolog, nobelovac

Svi mi znamo da je Zemlja „okrugla", da su zimi dani kraći od noći, da je energija neuništiva, da se voda sastoji od kiseonika i vodonika, da postoje molekuli, atomi, jezgra atoma, elektroni ... Ne bi bilo baš lako, a ni potrebno, nabrojati sva naša znanja, ali je veoma važno kako smo do njih došli.

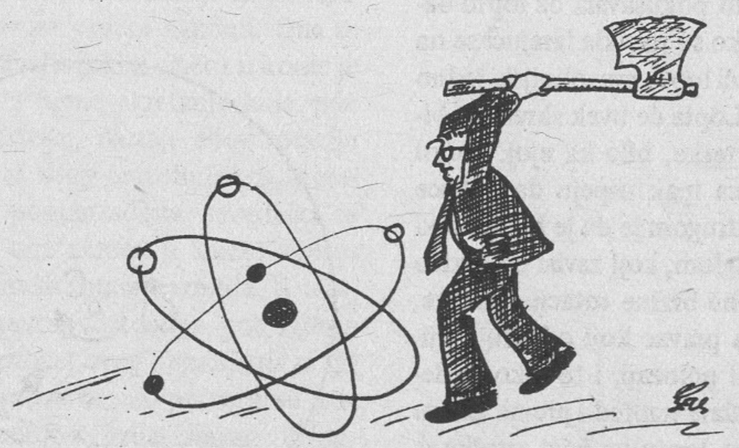
Postoje dva osnovna načina sticanja znanja. Jedan se sastoji u tome da sami, lično, nešto ispitamo, proučimo i utvrdimo. Tako dolazimo do „sopstvenih" saznanja, „znanja iz prve ruke". Drugi način sticanja znanja je čitanje, slušanje predavanja, razgovor i sl.; to su „znanja iz druge ruke". Deo znanja stečenog na ovaj drugi način često možemo sami proveriti, naročito ona koja su neophodna u svakodnevnom životu. No, neuporedivo više ima neophodnih znanja koja ne možemo dobiti „iz prve ruke". Zbog toga se najčešće oslanjamo na znanja drugih i dobro smo razvili naviku da ta znanja upotrebljavamo. Nažalost, to oslanjanje na znanja drugih često je neopravdano veliko, te smo zbog toga zapustili ili skoro i izgubili dragocenu osobinu da sami neposredno dolazimo do znanja iz prve ruke, čak i onda kada je to moguće. U toku školovanja privikavamo se na sticanje znanja iz druge ruke, što je i neminovno i neophodno, ali se ono obično svodi samo na zapamćivanje. Tu naviku smo tako dobro usvojili da sve manje sami proučavamo pojave i sve manje izgrađujemo sopstveno znanje. Na ovo su već odavno ukazivali čuveni svetski pedagozi, kao što pokazuje i sledeći citat:

„Poznatu jadikovku da učenici i studenti ne umeju samostalno da zapažaju i razmišljaju još uvek ponavlja svaki nastavnik u srednjim školama i na fakultetima. Mnogi predavači prirodnih nauka tvrde da njihovi studenti, kad dobiju zadatak da o nečemu nešto saznaju, najpre traže knjigu u kojoj će o tome pitanju nešto pročitati. Kad im se kaže da moraju neposredno sami pristupiti pojavi kako bi im ona sama govorila o sebi, njihova prva reakcija je bespomoćnost. Nije preterano reći da je navika upotrebe knjiga toliko jako ustaljena da mnogi, inače inteligentni učenici, osećaju veliku odbojnost prema usmeravanju svoje pažnje neposredno na samu pojavu, jer im se čini da je mnogo lakše i jednostavnije zadubiti se u ono što je neko drugi o toj pojavi napisao. Svakako je prava glupost uopšte ne koristiti dostignuća i otkrića drugih ljudi, ali zameniti upotrebu svojih sopstvenih očiju, i onda kada je ona moguća, vidom drugih potpuno je besmisleno i možda još gluplje." (Dž. Djui, engleski filozof i pedagog).

Najbolji, premda i najteži put da dođemo do pouzdanih znanja i informacija je, i u fizici, da sami, kada god je to moguće, proučavamo i proveravamo pojave, da upotrebljavamo sopstveni um i čula, da pažljivo zapažamo. Navika da sami istražujemo pojave pomaže nam, pored toga, da ono što smo zapazili izrazimo rečima i sprečava da razvijamo parazitski um koji živi samo od znanja iz druge ruke. Tome cilju treba da posluže naše rubrike „Domaći eksperimenti" i „Kutak istraživača".

Pojave koje treba da ispitate poznate su u fizici. No, treba da znate da svaki eksperimentalni rezultat u fizici mora biti „potvrđen" od strane više međusobno nezavisnih istraživača, da bi bio opšte prihvaćen. Pored toga, istorija fizike obiluje primerima otkrića dubljih zakonitosti baš u slučajevima ponovnog proučavanja već poznatih pojava i ponovnog razmatranja već ranije donetih zaključaka. Zato se ne treba libiti proučavanja, i to što pažljivijeg, pojava koje su već poznate i za koje su neke zakonitosti već utvrđene.

Za sticanje znanja iz prve ruke u fizici najpre je neophodno razvijati i usavršavati sposobnost rasuđivanja, čemu doprinosi i naša rubrika sa numeričkim i drugim zadacima. Ta sposobnost je osnovni alat kojim moramo naučiti da rukujemo vešto i brzo i bez kojega nam posao ništa ne vredi. Taj alat treba upotrebiti u neposrednom „suočenju" sa fizičkim pojavama – u eksperimentima koje ćete samostalno izvesti. Ako ste dovoljno strpljivi, uporni i pažljivi retko se može desiti da vaša zapažanja budu pogrešna. Sopstvena zapažanja nadahnjuju („inspirišu"), podstiču na razmišljanje, razvijaju maštu i omogućavaju da sami dođete do nekih zaključaka. Međutim, zaključci izvedeni na osnovu zapažanja neće uvek biti ispravni. To ne treba da vas plaši i obeshrabruje. I najveći fizičari su često donosili zaključke koji su se kasnije pokazali kao netačni. Ako zaključke donosite nekritički, brzopleto, posle nepotpunog razmatranja i nedovoljnog razmišljanja, vrlo je verovatno da će biti pogrešni. Stoga uvek treba biti pomalo rezervisan prem svojim (i tuđim) zaključcima, treba, kako se to kaže, ostaviti „vrata bar malo otškrinuta".



(Karikatura Milana Zeca)

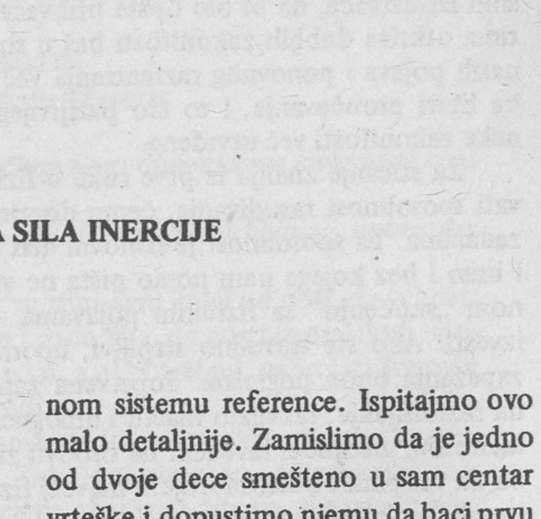
Nemanja Kaloper, stud. fizike
Prirodno-matematički fakultet
NOVI SAD

KORIOLISOVA SILA INERCIJE

Prema Njutnovom zakonu inercije, svako telo ostaje u stanju mirovanja ili jednolikog kretanja sve dok ga neko spoljašnje delovanje ne prisili da to stanje promeni. To zapravo važi samo kad se kretanje posmatra iz inercijalnog sistema reference[1]. Zbog toga se sreću slučajevi u kojima, na prvi pogled, dolazi do neobjašnjivog odstupanja od ovog pravila.

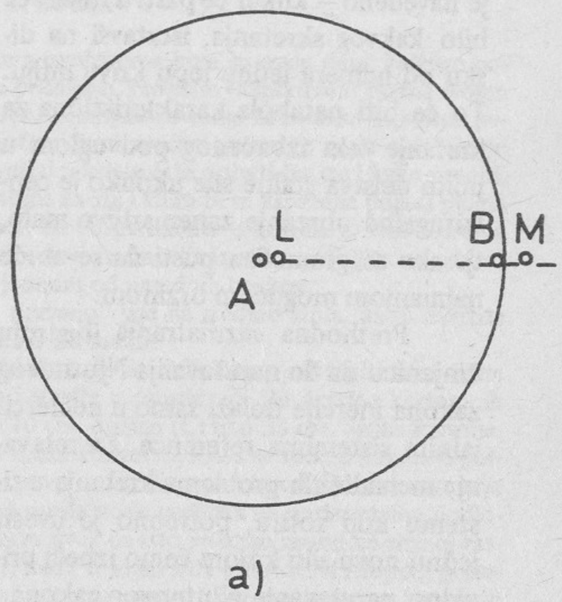
Posmatrajmo decu koja se voze na vrteški i pokušavaju da jedno drugom dobace loptu. Ona to neće uspeti dok god budu pokušavala da loptu bace onako kako su navikla igrajući se na tlu, tj. bacajući loptu pravolinijski jedno ka drugom. Lopta će uvek skrenuti, bilo od ose vrteške, bilo ka njoj. Jedini način da deca ipak uspeju da dobace loptu jedno drugom je da je bacaju pod određenim uglom, koji zavisi od brzine lopte i ugaone brzine rotacije vrteške, u odnosu na pravac koji određuju njihovi trenutni položaji, i to tako da dete koje se nalazi napred (prema smeru rotacije) baca loptu ka ivici vrteške, a dete koje se nalazi iza baca loptu ka središtu vrteške (naravno, u oba slučaja pod napred pomenutim uglom).

Ovaj primer, površno gledan, negira Njutnov zakon inercije. Međutim, deca na vrteški se nalaze u neinercijalnom sistemu reference. Ispitajmo ovo malo detaljnije. Zamislimo da je jedno od dvoje dece smešteno u sam centar vrteške i dopustimo njemu da baci prvu loptu. Posmatrajmo ponašanje lopte posle izbačaja. Kako smo već naveli, ukoliko je lopta dobila početnu brzinu u pravcu drugog deteta koje, recimo, sedi negde na obodu vrteške, ona neće stići do njega već će skrenuti udesno u odnosu na početni pravac i izleteti van vrteške. Takav bi utisak imala deca i sve ostale osobe koje bi se nalazile kao posmatrači negde na vrteški. No, uvedimo sada još jedan elemenat u naš eksperiment, posmatrača koji se nalazi u neinercijalnom sistemu reference. Neka je to, recimo majka dece koja se igraju loptom, i neka se ona nalazi van vrteške, kraj njenog oboda i to u tački koja se nalazi na pravcu koji određuju položaji dece na vrtešci u trenutku izbačaja lopte. Sada, kada bismo nju uputili da nam kaže svoje viđenje kretanja lopte, čuli bismo sasvim drugu priču. Ona bi rekla da lopta nije nikako skrenula nego je nastavila da se kreće u pravcu u kome je izbačena i kao potvrdu svojih reči pružila bi nam loptu koju je uhvatila kada je ova izletela sa vrteške.

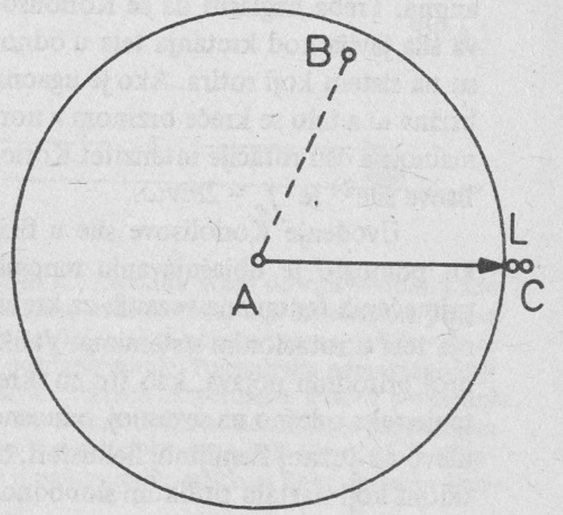


Slika 1.

Pa šta se onda zaista desilo? I kome da poverujemo, deci ili njihovoj majci? U ovom slučaju, ipak ćemo se osloniti na tvrđenje majke naše dece, ne zbog njenih godina, ili zato što je majka, već zato što je ona zaista u pravu. Posmatrana iz inercijalnog sistema reference, lopta zaista nije skrenula, i prema tome njeno kretanje se pokorava Njutnovom prvom zakonu. Ona se kretala pravolinijski u smeru u kome je izbačena, a njeno skretanje koje vide deca na vrtešci, nastaje zbog rotacije vrteške. Baš zbog pravolinijskog kretanja lopte posmatračima na vrtešci se činilo da ona skreće u smeru suprotnom od smera rotacije vrteške, tj. udesno od pravca određenog položajima dece. Ispravnost ovog objašnjenja se lako može proveriti: za proveru su potrebni gramofon, krug izrezan od deblje hartije (hamer), kliker, malo mastila i rukavice (da ne izmažemo prste mastilom). Gramofon se uključi, na ploču se stavi hartija, kliker se dobro izmaže mastilom i onda postavi u centar diska i gurne prema obodu ka tački



a)



b)

Slika 2.

gde ga čeka naša ruka u rukavici. Videčemo da će se stvari odvijati baš kako je navedeno – kliker će pasti u ruku bez bilo kakvog skretanja, iscrtavši na disku od hamera jednu lepu krivu liniju. To će biti parabola karakteristična za kretanje tela izbačenog pod uglom u polju dejstva stalne sile ukoliko je centrifugalno ubrzanje zanemarljivo malo, tj. ako se gramofon pusti da se obrće najmanjom mogućom brzinom.

Prethodna razmatranja ilustruju činjenicu da do narušavanja Njutnovog zakona inercije dolazi samo u neinercijalnim sistemima reference. Za rešavanje mehaničkih problema kretanja u sistemu koji rotira, potrebno je uvesti jednu novu silu kojom ćemo izbeći prividno narušavanje Njutnovog zakona i objasniti skretanje. Ta nova sila zove se Koriolisova sila, u čast francuskog fizičara Koriolisa, koji je pomoću nje prvi objasnio kretanje morskih struja u okeanima. Treba naglasiti da se Koriolisova sila javlja kod kretanja tela u odnosu na sistem koji rotira. Ako je ugaona brzina ω a telo se kreće brzinom v normalno na osu rotacije intenzitet Koriolisove sile[2] je $f_c = 2mv\omega$.

Uvođenje Koriolisove sile u fiziku pomoglo je objašnjavanju mnogih primećenih fenomena vezanih za kretanje tela u rotacionim sistemima. Veliki broj prirodnih pojava, kao što su skretanje reka udesno na severnoj, odnosno ulevo na južnoj Zemljinoj hemisferi, otkloni koji nastaju prilikom slobodnog padanja tela s velikih visina, promena ravni oscilovanja tz. Fukoovog klatna koje služi kao dokaz da se Zemlja vrti oko sopstvene ose, objašnjavaju se uz pomoć Koriolisove sile.

Koriolisova sila je jedna od tz. inercijalnih sila koje se uvode u cilju objašnjenja kretanja tela u neinercijalnim sistemima.

U grupu inercijalnih sila spada i sila koja se javlja kod pravolinijskog ubrzanog kretanja ($f_i = -ma$) kao i centripetalna sila ($f_{cf} = m\omega^2 r$). No sve te sile nisu prave, tj. nisu mera uzajamnog delovanja dva tela. Uvode se samo da bi se pomoću Njutnovih zakona moglo objasniti kretanje tela u ubrzanim–neinercijalnim sistemima.

---

[1] Podsetimo se definicije inercijalnog sistema. Ova definicija u savremenoj fizici nije ista kao u Njutnovo vreme. Po shvatanju Njutnove fizike, može se govoriti o sistemima reference koji miruju u odnosu na vasionu. Ti sistemi (tz. apsolutno nepokretni sistemi reference), zajedno sa sistemima reference koji se u odnosu na njih kreću uniformno i bez izmene orijentacije koordinatnih osa sa vremenom pretstavljaju inercijalne sisteme reference. U tako shvaćenim inercijalnim sistemima referencije prostor i vreme imaju specifična svojstva: prostor je homogen i izotropan, a vreme je homogeno. Savremena fizika stoji na stanovištu da je Njutnovo shvatanje inercijalnih sistema referencije lišen smisla: poznati Majkelson–Morlijev eksperiment je pokazao da je besmisleno govoriti o sistemu referencije koji miruje ili se kreće u odnosu na Vasionu. Inercijalni sistemi referencije u savremenoj fizici se shvataju stoga kao sistemi u kojima je prostor homogen i izotropan i vreme homogeno.

[2] U opštem slučaju proizvoljne brzine kretanja, Koriolisova sila se može izraziti u vektorskom obliku. Uvedeni vektor ugaone brzine $\vec{\omega}$ koji ima intenzitet ω, pravac ose i rotacije i smer takav da se gledano sa vrha vektora $\vec{\omega}$ rotacije vrši u pozitivnom smeru (suprotno od smera kazaljke na satu). Onda je $\vec{f}_c = -2\,m\,\vec{\omega} \times \vec{v}$.

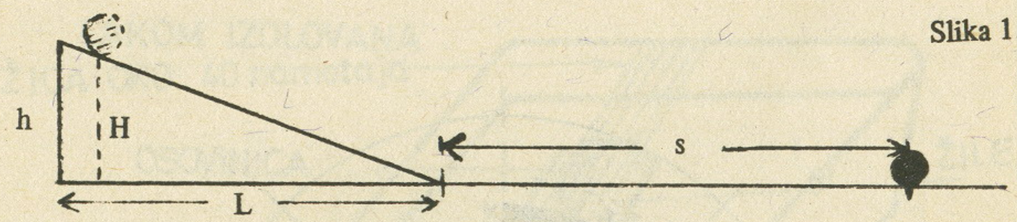
KUTAK ISTRAŽIVAČA

SVETOZAR E. BOŽIN

Vaš je zadatak da izvršite eksperimente prema uputstvima koja su ovde data. Pažljivo posmatrajte pojavu koja se dešava i, ako nađete da je potrebno, proširite eksperiment prema svome nahođenju da biste dobili što potpunije informacije. Razmislite o tome kako bi se zapažena pojava mogla objasniti i pokušajte da na način koji ćete sami smisliti proverite svoje objašnjenje nekim novim eksperimentom. Zatim sastavite izveštaj u kome ćete opisati šta ste i kako uradili, šta ste zapazili i otkrili. Navedite i svoj predlog o tome za šta i kako bi se zapažena pojava mogla koristiti kao i svoje objašnjenje (ukoliko ga imate). Za eksperimente u kojima se vrše merenja potrebno je da u izveštaj unesete i sve dobijene brojne vrednosti. Izveštaj pošaljite na adresu našeg časopisa. Najbolje izveštaje ćemo objaviti u jednom od narednih brojeva.

I–1. Stavite jedno nekuvano i jedno „tvrdo skuvano" jaje na sredinu stola, pa ih zavrtite rukom oko njihove kraće ose. Da li se ta jaja obrću na isti način?

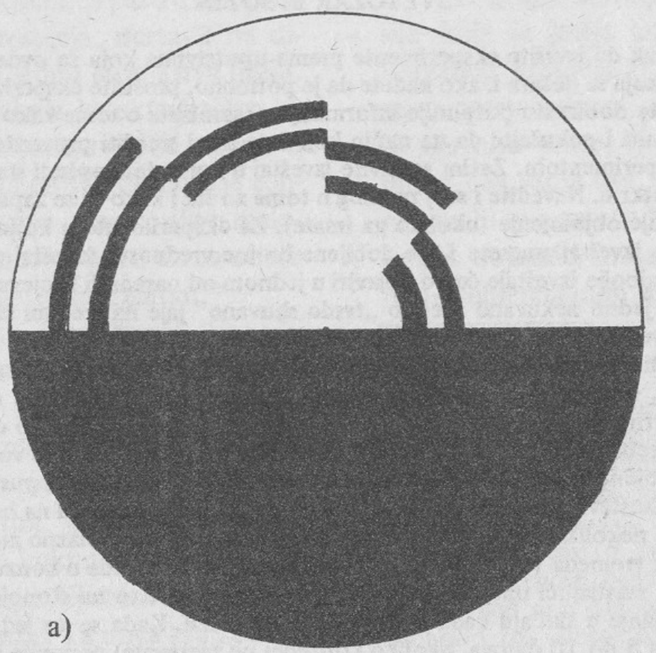
I–2. Manju limenu konzervu (od kafe, boje ili sl.) koja se može dobro zaklopiti tako da ne propušta tečnost, napunite do 3/4 visine vodom i stavite u zamrzivač. Od čvrstog kartona ili daske napravite strmu ravan visine (h na sl. 1) oko 10 cm, dužine (L) oko 25 cm. Širina kartona, odnosno daske, treba da je bar za 10 cm veća od visine konzerve. Kada se voda u konzervi potpuno zamrzne (obično posle 24 sata), stavite konzervu na strmu ravan i pustite da se otkotrlja dok se sama ne zaustavi. Izmerite koliki je put (s) prešla posle prelaska na horizontalnu podlogu. Ovo ponovite nekoliko puta, stavljajući konzervu uvek na isto polazno mesto na strmoj ravni. Posle izvesnog vremena (otprilike 1 do 2 sata), kada se malo leda u konzervi istopilo, ponovite eksperiment, stavljajući opet konzervu na isto polazno mesto na strmoj ravni sa kojega je započinjala kotrljanje u slučaju kada je u njoj bio samo led. Kada se sav led u konzervi potpuno rastopi (nakon 8 do 10 časova, ukoliko konzervu ne zagrevate) ponovite sve kao u dva prethodna slučaja. Važno je da konzerva uvek započinje kotrljanje sa iste visine (H) na strmoj ravni. U kom slučaju je put s najveći? A najmanji?



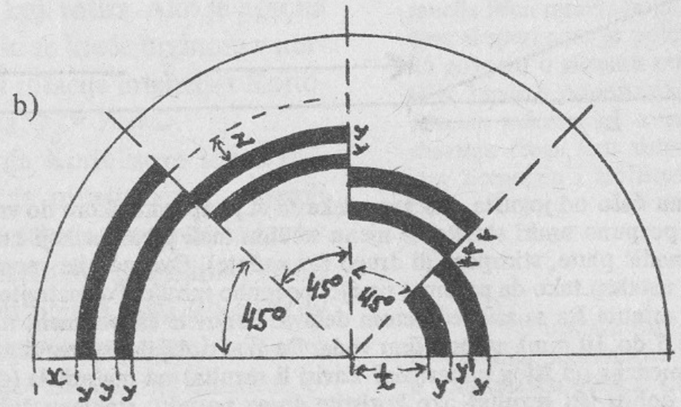
Slika 1.

I–3. Plastičnu čašu od jogurta, kiselog mleka ili sl., napunite skoro do vrha vodom. Kada se površina vode potpuno umiri stavite na njenu sredinu mali predmet koji ne tone (na primer parče šibice, komadić plute, stiropora ili drugo što nađete). Ovo učinite veoma pažljivo da se površina vode ne ustalasa tako da predmet na njoj potpuno miruje. Posmatrajte neprekidno najmanje 15 do 20 minuta šta se sa predmetom dešava. Ponovite eksperiment nasuvši prethodni sloj ulja (debljine 5 do 10 mm) na površinu vode. Da li se dobijaju isti rezultati sa predmetima većih i manjih dimenzija od istog materijala? Zavisi li rezultat od materijala (drvo, pluta, stiropor)? Hoće li se dobiti isti rezultat ako koristite drugu posudu: staklenu čašu, metalnu konzervu, porcelansku šolju i dr.?

I–4. Na belom kartonu nacrtajte kružnicu prečnika 36 mm. Jednu polovinu kruga obojite crnom mat bojom, a na drugoj nacrtajte niz delova kružnih prstena (širine y=1 mm) onako kao što je prikazano na sl. 2.a. Sve dimenzije označene su na sl. 2.b. Kada ste to uradili, pažljivo isecite krug i zalepite ga na kružnu drvenu pločicu (ili gumeni točkić automobila-igračke, neko veće dugme ili sl.) približno istog prečnika, debljine od 5 do 10 mm. Kroz središte kruga i pločice utaknite oko 6 cm dugačku osovinu i dobro je pričvrstite tako da njen duži deo (oko 4 cm) bude sa gornje strane kruga. Zavrtite ovu „čigru" na ravnoj podlozi gde će crno-beli krug biti osvetljen jakom belom svetlošću (najbolje sunčevom) i posmatrajte ga netremice sve dok se ne zaustavi. Šta se pri obrtanju vidi na tom crno-belom krugu? Da li se zapaža ista pojava ako krug ima sve dimenzije dva puta veće (isti je kao onaj na sl. 2.a)?



a)



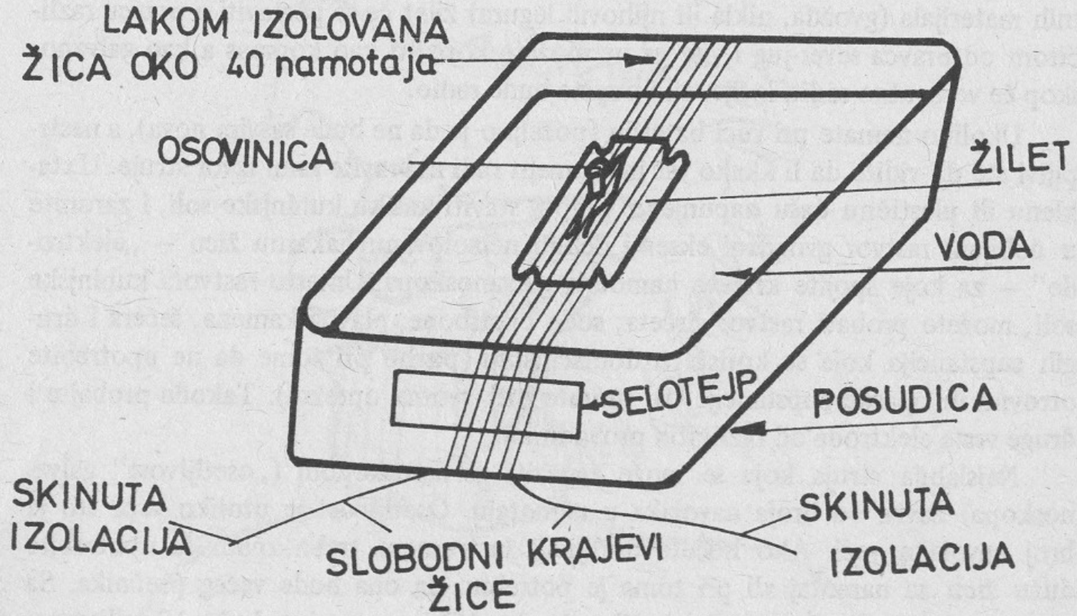
x = 2,5 mm z = 1,5 mm y = 1 mm t = 3,5 mm

Slika 2.

GALVANOSKOP

MIODRAG ŠMELCEROVIĆ
Institut za nuklearne nauke „Boris Kidrič", Vinča

Instrument kojim se može utvrditi proticanje električne struje u nekom kolu naziva se galvanoskop. Jednostavan galvanoskop možete sami napraviti od materijala koji je svakome pristupačan. Opisaćemo kako možete napraviti jedan takav instrument. Potrebno je oko 10 m lakom izolovane bakarne žice prečnika 0,2 do 0,6 mm, žilet i kutija od voćnog soka obložena iznutra aluminijumskom folijom tako da ne upija tečnost. Gornji deo kutije odsečete tako da od dna dobijete posudicu oblika paralelopipeda visine od oko 2 cm. Preko sredine posudice (videti sliku) namota se pažljivo i čvrsto lakom izolovana žica, navojak do navojka. Slobodni krajevi žice, koji treba da budu dugački oko 20 cm učvrste se koncem ili selotejpom kako se navojci ne bi odmotali. Na dužini oko 2 cm sa oba kraja žice treba skinuti izolaciju. To se postiže sitnozrnatim brusnim papirom („šmirglom") ili pažljivim struganjem laka pomoću oštrog noža ili žileta. Posudica sa namotanom žicom postavi se na ravnu horizontalnu površinu (prethodno se lepljenjem kartona na donju stranu dna ono poravna tako da namotaji ne „štrče" i ne smetaju da posuda leži horizontalno). Zatim se u posudicu nalije voda do na 5 mm od gornje ivice.



Potrebno je onda namagnetisati žilet. Magnetisanje se vrši prevlačenjem žileta (u pravcu njegove duže stepenice) preko pola stalnog magneta, na primer magnetne bravice na vratima plakara. Magnetisanje žileta nije neophodno ali će galvanoskop

sa namagnetisanim žiletom pouzdanije i bolje raditi. Namagnetisati žilet se „pljoštimice" (tako da mu je ravan horizontalna) veoma polako i pažljivo spusti na površinu vode u posudici tako da ne potone, već ostane plivajući na površini. Ako potone, morate ga pre ponovnog pokušaja stavljanja potpuno osušiti i namazati vrlo tankim slojem ulja. Pažljivim pomeranjem (pomoću šibice) žilet se potom dovede na sredinu posudice. Zapazićete da žilet zauzima jedan određen položaj, koji se ne menja ni kada pomerite žilet, ni kada polako okrećete posudicu. Ustvari, vi ste sada napravili kompas i žilet zauzima takav položaj da mu se pravac duže stranice poklapa sa pravcem sever-jug. Sada okrenite posudicu, ne odižući je sa podloge, tako da namotaj žice bude paralelan dužoj stranici žileta, to jest da bude u pravcu sever-jug. Ako kroz namotaj prolazi jednosmerna struja (slobodne krajeve žice spojite sa izvorom slabe struje) žilet će zakrenuti i pokazivati neki novi pravac, različit od pravca sever-jug. Žilet će zakrenuti na jednu ili drugu stranu, što zavisi od toga koji je kraj žice priključen na pozitivan pol izvora struje. Kada ovo ispitate, galvanoskop možete iskoristiti za utvrđivanje nepoznatog polariteta izvora struje. Kada prekinete vezu sa izvorom struje, žilet će se vratiti u početni položaj. Posmatranjem položaja žileta možete saznati da li kroz namotaj protiče jednosmerna struja ako njena jačina nije manja od nekoliko miliampera. To je najmanja jačina struje kroz opisani galvanoskop koja može izazvati uočljivo skretanje žileta (za ugao od oko 3°).

Da se žilet ne bi pomerao po površini vode ka zidovima posudice, tj. ostao na sredini posudice, možete komadom šibice provučenim kroz sredinu namotaja i sredinu otvora žileta, a zatim zalepljenim za namotaj (kapljicom OHO lepka) da improvizujete osovinicu.

Ako se u blizini vašeg galvanoskopa nalaze magneti ili veći predmeti od magnetnih materijala (gvožđa, nikla ili njihovih legura) žilet će se postaviti u pravcu različitom od pravca sever-jug i više ga ne možete koristiti kao kompas a kao galvanoskop će verovatno raditi lošije, ako uopšte bude radio.

Ukoliko nemate pri ruci bateriju (poželjno je da ne bude sasvim nova), a nestrpljivi ste da vidite da li i kako vaš instrument radi napravite sami izvor struje. U staklenu ili plastičnu čašu napunjenu vodom staviti kašiku kuhinjske soli, i zaronite u dobijeni rastvor gvozdeni ekser i deblju neizolovanu bakarnu žicu – „elektrode" – za koje spojite krajeve namotaja galvanoskopa. Umesto rastvora kuhinjske soli, možete probati rastvor sirćeta, sode bikarbone, plavog kamena, šećera i drugih supstancija koje se koriste u domaćinstvu (pazite pri tome da ne upotrebite otrovne ili opasne supstancije, tu morate biti veoma oprezni). Takođe probajte i druge vrste elektroda od različitih provodnika.

Najslabija struja koja se može zapaziti galvanoskopom („osetljivost" galvanoskopa) zavisi od broja navojaka u namotaju. Osetljivost je utoliko veća što je broj navojaka veći. Ako hoćete osetljiviji instrument treba znači da upotrebite dužu žicu za namotaj ali pri tome je potrebno da ona bude većeg prečnika. Sa opisanim instrumentom skretanje žileta je oko 45° je za struju od oko 10 miliampera. Naglasimo još da posudica može biti od stakla ili aluminijuma, ili bilo kojeg nemagnetnog materijala izuzev plastičnih. Ako je posudica od plastičnog materijala (na primer od čaše za kiselo mleko), ona će praktično uvek biti naelektrisana i privlačiće žilet ka ivici posude, tako da u takvom slučaju galvanoskop neće raditi.

Opisani galvanoskop osetljiviji je od sličnih instrumenata sa „mehaničkim" ležištima, jer je sila viskoznog trenja mnogo manja nego trenje u ležištima od čvrstih materijala. Položaj koji pri proticanju struje zauzme namagnetisani žilet određen je pravcem rezultujućeg magnetnog polja nastalog superpozicijom magnetnog polja Zemlje i magnetnog polja struje koja protiče kroz namotaj. Ugao otklona žileta α od pravca sever-jug pri proticanju struje jačine I kroz namotaj može se izračunati iz formule $tg\alpha = kI/B_z$, gde je B_z indukcija magnetnog polja Zemlje, dok je k veličina koja zavisi od broja navojaka, njihovog oblika, rastojanja žileta od namotaja. Skretanje α srazmerno je jačini struje I ($\alpha = kI/B_z$) kada je taj ugao mali, pri čemu on mora biti izražen u radijanima a ne u ugaonim stepenima.

KO RADI TAJ (PONEKAD) I GREŠI

Poznati holandski naučnik Hajgens upoznao se sa Njutnom 1689. godine, za vreme svoje posete Londonu. Oba naučnika su referisala o svojim radovima pred Kraljevskim društvom. To je naučna ustanova sa vekovnom tradicijom, koja u Velikoj Britaniji odgovara Akademiji nauka. Hajgens, koji je otkrio zakon dvojnog prelamanja, izlagao je svoju teoriju gravitacije, za koju se kasnije ispostavilo da je pogrešna. Njutn, koji je otkrio zakon gravitacije, govorio je o svojim razmatranjima dvojnog prelamanja svetlosti, takođe pogrešnim.

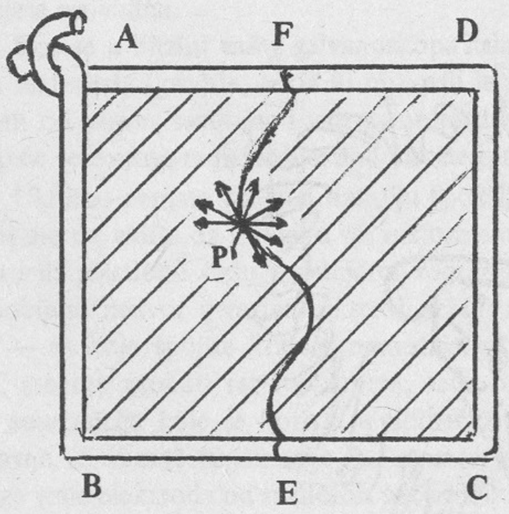
J. LABAT

Dušan Ristanović
Institut za biofiziku
Medicinski fakultet
Beograd

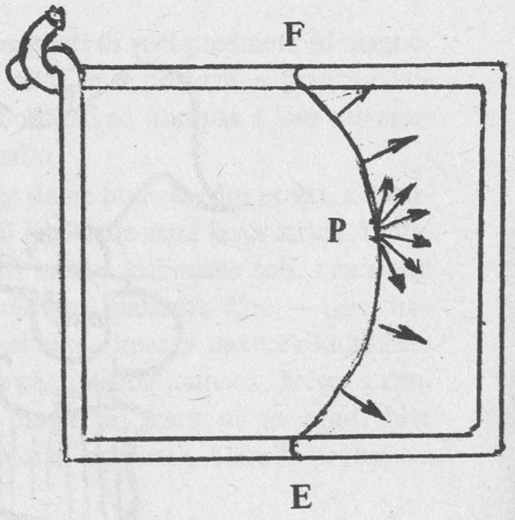
POVRŠINSKI NAPON

Jedna od posledica međumolekulskih dejstava u tečnosti je neobično ponašanje površinskog sloja tečnosti. On se, naime, ponaša kao rastegnuta opna, koja teži da što više smanji svoju površinu. Pojava da tečnost pod pogodnim uslovima smanjuje svoju površinu naziva se površinski napon.

Da se površina vode ponaša kao rastegnuta gumena opna pokazuje sledeći ogled. Od dvadesetak centimetara duge neizolovane žice načinite kvadratični ram (Sl. a) i između dve suprotne strane (npr. AD i BC) privežite krajeve komada konca EF tako da konac ostane labav (tj. da mu je dužina nešto veća od dužine strane rama, Sl. 1a). U dubok tanjir sipajte malo vode i dodajte oko 1 cm^3 tečnog deterdženta. U ovako pripremljen rastvor uronite ram i odmah ga iznesite. Na njemu će da se „uhvati" veoma tanka opna (Sl. a) koja pretstavlja tanak sloj tečnosti ograničen sa dve površine. Konac u opni miruje jer na njegov bilo koji deo deluju privlačne sile okolnih molekula opne podjednako u svim smerovima.



Slika a



Slika b

Ako probijete deo opne ABEF (npr. olovkom) on će „nestati" i pod dejstvom međumolekulskih sila preostalog dela opne konac zauzme lučni oblik (Sl. b). Zaključak: opna teži da se skupi i da ima najmanju moguću površinu u datim uslovima.

Površinski napon može da se menja dodavanjem raznih sastojaka. Ako u vodu, na čijoj površini pliva prethodno postavljena igla, pažljivo sipajte malo sapunice, površinski napon vode toliko će da se smanji, da će igla potonuti. Obična igla za šivenje se najlakše postavi na površinu vode tako da se prvo stavi na komadić novinske hartije i sve to pažljivo spusti na površinu vode u sudu. Kada se natopi vodom, list hartije pada na dno, a igla ostaje na njenoj površini.

Ovakvo smanjenje površinskog napona pokazuje i sledeći ogled. Vežite krajeve komada konca (dužine desetak centimetara) i tako dobijenu petlju pažljivo spustite na površinu vode. Ako komadom vlažnog sapuna dodirnete vodu unutar petlje, ona će se istog trenutka zategnuti i formirati savršeni krug. Rastvoreni sapun je smanjio površinski napon čiste vode unutar petlje, te su nadvladale privlačne sile površinskog napona koje na konac deluju od dela površine vode izvan petlje.

Smanjenje površinskog napona može da izazove pomeranje predmeta na površini tečnosti. Kraj drvenog palidrvca (ili čačkalice) namažite sapunom i stavite ga na površinu vode. Usled smanjenja površinskog napona vode u okolini nasapunjenog kraja, palidrvce koje bi trebalo da miruje, počinje da se kreće po površini vode.

I alkohol smanjuje površinski napon vode. Da biste to videli, postavite na površinu vode u sudu paralelno dva palidrvca (ili čačkalice) na rastojanju 1–2 cm. Ako između njih kanete kap alkohola (ljute rakije), palidrvca se razdvajaju. I u ovom slučaju dolaze do izražaja sile površinskog napona koje potiču od delova površine vode izvan prostora obuhvaćenog palidrvcima.

Ukoliko vam opisana dva eksperimenta ne uspeju pokušajte da koristite vodu iz drugog izvora koja je drugačijeg sastava.

Ima li tečnost sopstveni oblik, kao čvrsto telo? Zna se da tečnost ima oblik suda u kome se nalazi: ako je u čaši ona ima oblik čaše, a ako se preruči u bokal, ona odmah dobija oblik bokala. Ako bi se težina tečnosti na neki način kompenzovala istom tolikom silom potiska (a to je moguće ako bi se ona nalazila u drugoj tečnosti iste gustine sa kojom se ne meša), tada bi prema Arhimedovom principu posmatrana tečnost lebdela u tečnosti dobijajući oblik lopte. Ovaj oblik upravo je uslovljen površinskim naponom tečnosti, tj. njenom težinom da ima što manju površinu. A poznato je da lopta od svih tela iste zapremine ima najmanju površinu.

Belgijski fizičar Plato izveo je jednostavan ogled kojim je pokazao da je prirodni oblik tečnosti *lopta*, a koji možete i vi da izvedete. Čašicu za rakiju, koju ste prethodno isprali vodom, ispunite do vrha uljem i stavite je na dno veće čaše. U veću čašu sipajte alkohol tako da njegov nivo bude nešto iznad nivoa ulja u maloj čaši. Gustina alkohola je manja od gustine ulja, tako da će ono u svojoj čaši mirovati. Zatim, kašikom lagano sipajte vodu u veću čašu tako da voda teče niz njene unutrašnje zidove. Voda se odmah meša s alkoholom formirajući rastvor čija se gustina povećava dosipanjem novih količina vode. (voda je gušća kako od maslinovog ulja, tako i od alkohola). Kada se gustina ovoga rastovra približi vrednosti gustine maslinovog ulja, ono će iz male čaše lagano isplivati, formirati oblik lopte i zaustaviti se negde između male čaše i nivoa tečnosti u većoj u trenutku kad gustina smeše vode i alkohola postane jednaka gustini ulja.

Ova pojava se koristi za jednostavnu izradu olovne sačme za lovačke puške. Na visini od više desetina metara sipa se rastopljeno olovo u sito koje čini sud s malim otvorima na dnu. Od ovih otvora odvajaju se sitne kapi olova koje padaju u sud s vodom. Zbog velike gustine olova ovo padanje se praktično ne razlikuje od slobodnog padanja, te su kapljice pri tome u bestežinskom stanju i s toga imaju sferni oblik. Sud sa vodom služi samo da ublaži pad kuglica i da ih rashladi.