DRUŠTVO, MATEMATIČARA, FIZIČARA I ASTRONOMA SR SRBIJE

MLADI FIZIČAR
časopis
za one koji uče
i vole fiziku
godina IV
broj 16
(1979/80)
IZDAJE
DRUŠTVO MATEMATIČARA FIZIČARA i ASTRONOMA SR SRBIJE
Beograd
Knez Mihailova 35/*IV*
p.p. 791

Ljubo RISTOVSKI,
glavni i odgovorni urednik
Dušan KOLEDIN,
urednik

Uredivački odbor
Jadranka BOGOVAC
Svetozar BOŽIN
Draško GRUJIĆ
Dragan HAJDUKOVIĆ
Tomislav PETROVIĆ
Dragana POPOVIĆ
Zoran RADOVIĆ

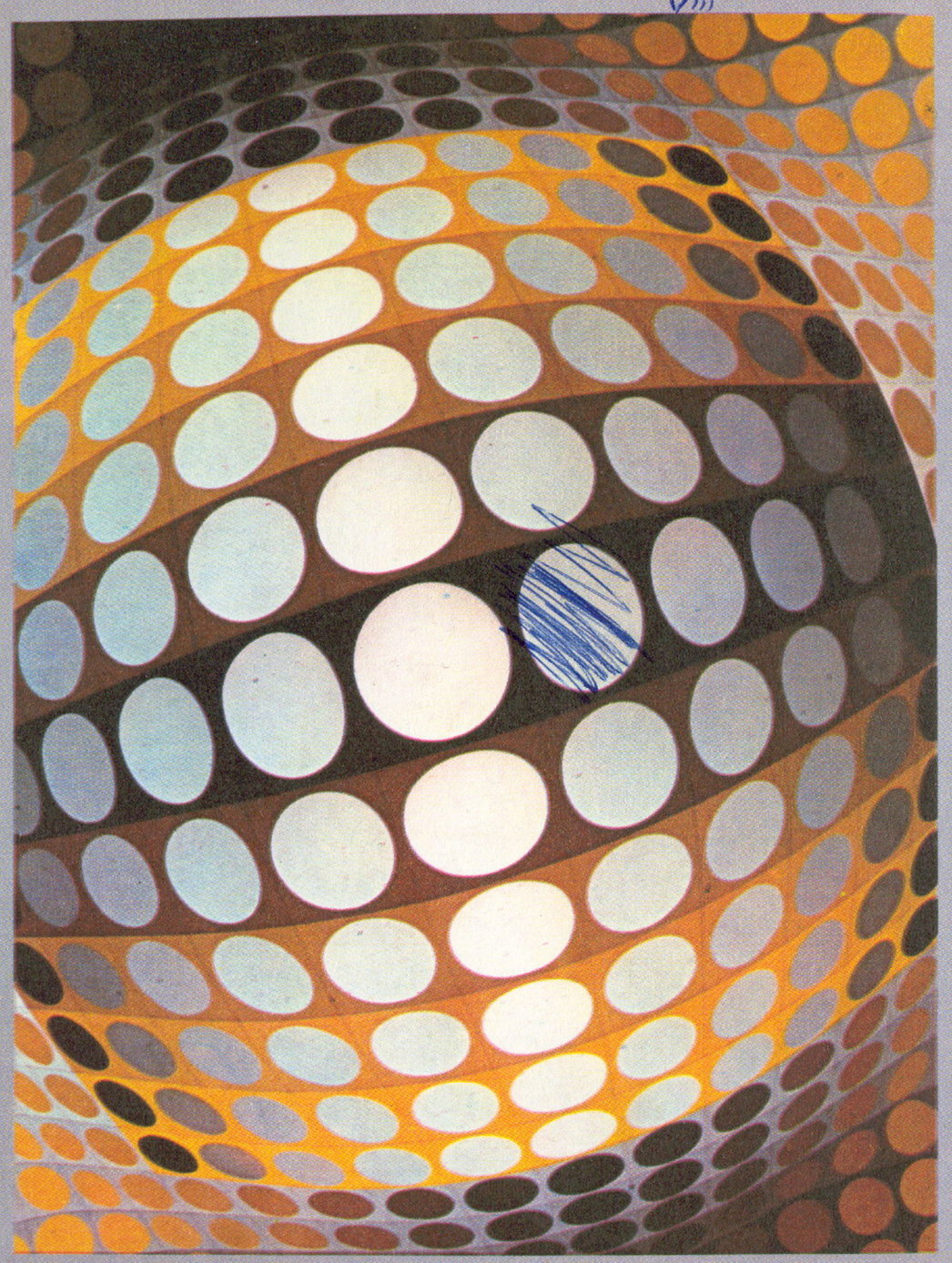
Sadržaj:

D. Koledin: Fizika i metafizika Ervina Šredingera 1
Lj. i N. Nedeljković: Pojam kvantnog stanja 4
Lj. Ristovski: Dvojnost čestica-talas 8
S. Djeniže: Frank-Hercov ogled 11
L. Rak: Kako se mogu »videti« nuklearne čestice 13
M. Dimitrijević: Šta se dogodilo u fizici tokom poslednje decenije (IV) 17
D. Popović: Kako vidimo boje 20
M. Popović: Milankovićeva teorija klimatskih promena 21
D. Popović: Međunarodni sistem jedinica 24
M. Popović: O razvoju naučnog metoda (II) 27
B. Radojević: A. Đumrukčić 29
B. Milotić: Totalna refleksija 31
Zadaci Z49
Test Z52
Rešenja zadataka Z58
M. Bralović: Promena unutrašnje energije Z62

Vinjete: N. Ubović
Ilustracije: Lj. Ristovski

Sva prava umnožavanja, preštampavanja i prevođenja zadržava Društvo matematičara, fizičara i astronoma SR 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

Cena 10. DIN.



ČASOPIS
ZA UČENIKE
OSNOVNE ŠKOLE

MLADI FIZIČAR

16

BEOGRAD 1980

MLADI FIZIČAR

JOSIP BROZ TITO

1892 - 1980

ERWIN SCHRÖDINGER

FIZIKA I METAFIZIKA ERVINA ŠREDINGERA

DUŠAN KOLEDIN (Beograd)

Filozof običnog jezika, Ludvig Vitgenštajn, završio je jedno od svojih malobrojnih dela, *Logičko-filozofski traktat*, rečenicom, u stavu sedmom i poslednjem: *O čemu se ne može govoriti, o tome se mora ćutati.* Priča se da je Ervin Šredinger, kada je sklopio korice te knjige, verovatno iritiran, izjavio da, naprotiv, smatra da baš od tog, poslednjeg filozofovog stava, razgovor počinje da biva interesantan. Bilo bi teško pronaći adekvatniji moto za životopis Ervina Šredingera.

Kao i obično, enciklopedijski podaci ne govore mnogo, ali obavezuju. Ervinu Šredingeru se sve dogodilo između 1887. i 1961. godine. Bio je, naime, profesor teorijske fizike Univerziteta u Beču. Mnogo je putovao, sve po Evropi. Kao gostujući profesor predavao je na univerzitetima u Jeni, Štutgartu, Vroclavu, Cirihu, Berlinu, Oksfordu, Gracu i Dablinu. Godine 1933. Hitler je došao na čelo Nemačke, a Šredinger ju je napustio. Pored niza naučnih članaka objavljenih po raznim časopisima, napisao je i knjige *Nauka*

i humanizam, *Priroda i Grci*, *Statistička termodinamika*, *Moje videnje sveta*, *Ekspanziona Vasiona*, *Šta je život* i *Um i materija*. Kao osnivač kvantne talasne mehanike dobio je 1933. godine Nobelovu nagradu, zajedno sa Polom Dirakom.

Šredingeru je, rekoh, bilo šta prestalo da se događa 1961. godine. Većini savremenih fizičara, međutim, i danas se uglavnom događa da rešavaju *Šredingerovu jednačinu*. Radno vreme te većine savremenih fizičara, naime, Šredinger je, uz svesrdnu pomoć francuskog doktoranta Luja de Broljija, zacrtao još 1926. godine. Tada je objavio rad pod naslovom *Kvantovanje kao svojstveni problem (Quantiesirung als Eigenwertproblem)*. Bila je to zapravo matematički operativna kruna dugačke istorijske priče o talasu *i(ili)* čestici: dilema, već logički neuobičajeno prostavljena, a stara koliko i Njutn i Hajgens, jogunasto je isturila rogove 1905. godine, kada je Ajnštajn objasnio fotoefekat opisujući svetlost kao roj čestica. Razvoj događaja je od tada brz i dramatičan. Njegov početak može se više nego anegdotski dočarati: u Pragu je Ajnštajn, gledajući kroz prozor svoje kancelarije u susednu baštu klinike za umobolne, rekao — „Samo ovi ludaci se ne bave teorijom kvanta . . .«.

Borovim modelom atoma (1913.) objašnjeni su eksperimenti pred kojima je klasična teorija bila nemoćna. Komptonov efekat (1920.) je još jednom potvrdio da je svetlost i čestične prirode. Izgledalo je kao da postoje »dve fizike«: jedna za pojave u svetu zračenja, a druga za pojave u kojima učestvuju čestice. To je prkosilo težnji fizičara za jedinstvenim teorijama. Rešenje, koje je na mnoge delovalo kao da potiče iz gore pomenute bašte, predložio je de Brolji (1924.): *ako je svetlost, koju lepo razumemo kao talas, istovremeno i roj čestica, zašto snop elektrona, koje lepo razumemo kao čestice, ne bi pretstavljao i talas*!? Eksperimentalna potvrda usledila je ubrzo (vidi naredni članak).

Međutim, jedna od bitnih slabosti ideja de Broljija bila je u činjenici da se nije mogla izračunati talasna funkcija u konkretnim uslovima kretanja čestica. Baš tu slabost nadoknadio je Šredinger svojom jednačinom. Njeno rešenje je jedna pomalo tajanstvena funkcija, baš kao i uobičajeni odgovarajući simbol — grčko »psi«, koja nema neposredno fizičko objašnjenje, ali se iz nje mogu izračunati svi za fiziku bitni podaci. *Ona se menja zato što protiče vreme ili zato što se na sistemu vrši merenje*. Prva odlika te talasne funkcije sistema podseća na stvari koje smo još od Njutna naučili; druga, međutim, određuje njen suštinski *kvantnomehanički i samo kvantnomehanički identitet*. Ilustracija je mnogo: elektroni, joni, protoni . . .

Sreo sam jednog fizičara koji je, visoko ocenjujući Šredingerovu sposobnost za pisanje, lamentovao nad činjenicom što je učeni profesor iz Dablina vrlo malo pisao »čistu« fiziku. Mesta tugovanju možda i nema. Jer, monografija iz fizike je mnogo,a knjiga Ervina Šredingera, *Šta je život*, danas je, ako ne jedina, svakako i mnogostruko—jedinstvena. Ako je u istoriji nauka prva polovina dvadesetog veka obeležena dominacijom fizike, onda se već sada biološke nauke mogu dovesti u sličan položaj u odnosu na naučne rezultate iz druge polovine ovog veka. Ervin Šredinger je, što ne bi moglo biti slučajno, svojim fundamentalnim doprinosima prisutan u oba perioda. Jednom malom knjigom:

U termodinamici se uči da entropija, koja je mera nereda u sistemu, uvek raste u nepovratnom procesu (tzv. drugi princip termodinamike). Šta je sa rođenjem i životom? Nije li stvaranje i rast ljudskog bića izuzetak tog pravila? Ne povećava li se u tim procesima baš uređenost? Nije li dugogodišnja evolucija svih životinja izuzetak tog pravila?... Šta je život? Sastavljač francuske *Panorame savremenih ideja*, Gaetan Pikon, pita se, pedesetih godina ovog veka, nije li Šredingerov znak pitanja — koji pretstavlja sam po sebi definicu biologije — još neopravdan i preran?

Zasnivači molekularne biologije, Votson i Krik, sasvim su egzaktno, pre dvadesetak godina, umirili Gaetana Pikona, a opravdali znak pitanja koji je Ervin Šredinger zapisao još krajem Drugog svetskog rata.

Zakoni fizike, takvi kakve mi poznajemo, jesu statistički zakoni. Oni imaju mnogo zajedničkog sa prirodnom tendencijom stvari da idu prema neredu . . . Zakoni fizike i fizičke hemije su dakle netačni; pošto je dotična greška reda veličine $1/\sqrt{n}$, gde n pretstavlja broj molekula, zaključuje se da organizam mora imati srazmerno masivnu strukturu da bi mogao uživati privilegiju osetno tačnih zakona . . .

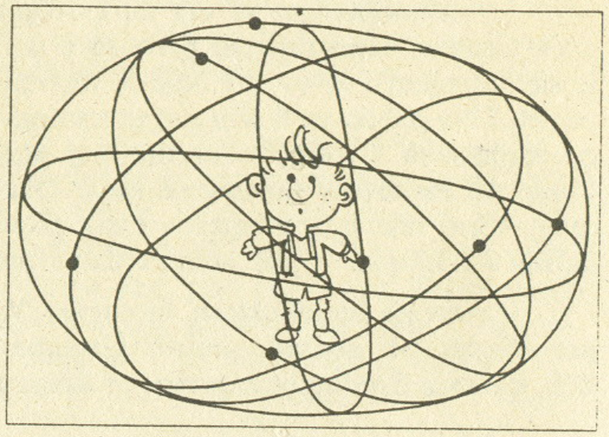
Međutim:

Neverovatno male grupe atoma, suviše male da bi se saglasile sa egzaktnim statističkim zakonima, igraju dominantnu ulogu u vrlo dobro uređenim i upravljenim događajima koji se zbivaju u unutrašnjosti organizma.*

Za fizičara živi organizam izgleda kao makroskopski sistem čije se ponašanje približuje jednim delom čisto mehaničkom ponašanju (nasuprot termodinamici), kojem teže svi sistemi kad se temperatura približuje apsolutnoj nuli, i kad je molekularni nered ukinut.

* Nekoliko uokvirenih »anterfilea« u ovom broju citati su iz knjige Ervina Šredingera »*Šta je život*?«, »Vuk Karadžić« (edicija »Zodijak«), Beograd 1980.

ŠTA JE...



POJAM KVANTNOG STANJA

LJUBIŠA I NATAŠA NEDELJKOVIĆ (Beograd)

Pitanje u kom se *stanju* nalazi neki fizički objekt ne sreće se samo u naučnom, nego i u uobičajenom govoru. Ono je u suštini deo jednog opštijeg pitanja o tome šta taj objekt za nas jeste. Odgovarajući na njega mi u stvari nabrajamo *osobine* datog predmeta, koje smo na neki način *registrovali*. (Jabuka je, na primer, nešto što je relativno određenog oblika, veličine, težine, boje, mirisa, ukusa, itd.).

Delikatna veza između pojma nekog objekta i njegovih osobina je u dovoljnoj meri čvrsta da nam omogućuje nabrajanje osobina objekta, sa sigurnošću ili određenim stepenom verovatnoće, jedino na osnovu toga što nam se kaže kako se on zove. Ime, *naziv* je, dakle i u ovom slučaju ona šifra, onaj *znak*, u kome su koncentrisani podaci o osobinama, odnosno o stanju tela.

U fizici je situacija slična. Međutim, osobine tela, odnosno fizičkog sistema, za kojeg smo ovde zainteresovani su čisto kvantitativne, tj., prikazane brojem (na primer veličinom njegove mase, brzine, energije, njegovim položajem u prostoru itd.). Samim tim su i »šifre« koje sadrže suštinu opisa stanja tela određeni matematički znaci, manje ili više komplikovani »matematički objekti«.

Razmotrimo kako se opisuje stanje u nauci o kretanju običnih tela, u tzv. *klasičnoj mehanici*. Zbog poređenja sa ponašanjima mikro čestica u sličnim situacijama posmatraćemo šta se događa sa (na primer metalnim) kuglicama koje na neki način izbacujemo sa mesta I u pravcu zaklona Z koji ima dva proreza (slika 1.). Iza zaklona se nalazi ploča E na koju padaju one kuglice koje prođu kroz proreze. Ako merimo broj udaraca na svakom mestu x ploče E i to prikažemo pomoću grafika dobićemo vrlo prost dijagram N(x) (slika 2.) što smo i mogli očekivati. Potpuno isti efekat se dobija ako bacamo jednu po jednu kuglicu ili sve odjednom pod uslovom da se na isti način izbaci isti broj kuglica.

U osnovi ovakvog ponašanja bačene kuglice i našeg samopouzdanja u mogućnost njegovog predi đanja leže četiri ozbiljne pretpostavke o tome šta mi podrazumevamo pod stanjem i promenom stanja kuglice, tj., šta one jesu.

Pre svega, ako se pažljivo zamislimo, otkrićemo da nam je za predviđanje gde će kuglica pasti potrebna pretpostavka da kuglica u svakom trenutku ima neke prostorne koordinate i neki impuls ($p = mv$). Ovakav skup brojeva nazivamo *faznom tačkom*. Pošto u principu kuglica može da zauzme bilo koji položaj i da ima bilo koji impuls, postoji beskonačno mnogo mogućih faznih tačaka. Skup svih njih nazivamo *faznim prostorom* po analogiji

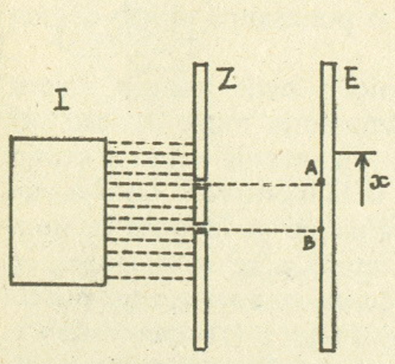
sa običnim realnim prostorom, koji možemo zamisliti kao skup tačaka. Dakle, stanje kuglice možemo prikazati jednom tačkom iz apstraktnog prostora.

Druga ozbiljna osnova našeg predviđenja leži u intimnom uverenju da možemo kuglicu izbaciti u jednom trenutku, nazovimo ga »početnim trenutkom t_0«, iz tačno određenog mesta i sa tačno određenim impulsom. Ili, drugim rečima, da tačno znamo položaj početne fazne tčake.

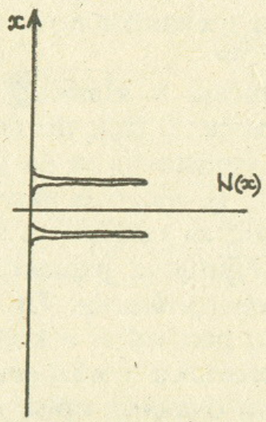
Naša treća bazična pretpostavka bila je da će se kuglica koja je izbačena iz mesta I i koja prolazeći kroz jedan od otvora zaklona Z ide prema ploči E kretati »po inerciji«, bez ikakvih neobičnih odstupanja od prave linije. Sva se obična tela, pa i metalna kuglica, kreću po Njutnovim zakonima, tj. po *Njutnovim jednačinama*, a kako realno kretanje kuglice u stvari znači da se i njena fazna tačka kreće u faznom prostoru, to će i ovo kretanje biti podvrgnuto istim strogim zakonima. Poznajući položaj fazne tačke u početnom trenutku t_0 i zakon njenog kretanja možemo predvideti gde će se ona naći u bilo kom sledećem trenutku. Tu mogućnost nazivamo *principom klasične uzročnosti*.

Najzad ,naša poslednja pretpostavka se sastoji u tome da sam proces merenja ne može uopšte uticati na promenu stanja kretanja kuglice. Naime, pomoću vrlo tanke ploče E (na primer vrlo tankog papira) moguće je izmeriti mesto udaraca kuglice koja je vrlo precizno usmerena ka tački A ili B, tj. koja je u tačno određenom stanju, a da se uopšte njeno kretanje pre i posle merenja ne naruši. Drugim rečima, fazna tačka uopšte ne oseća da se u stvarnom eksperimentu vrši merenje. Sve ovo važi ne samo za jednu, nego za svaku kuglicu koja pada na E. To je smisao tzv. *principa klasičnog merenja*.

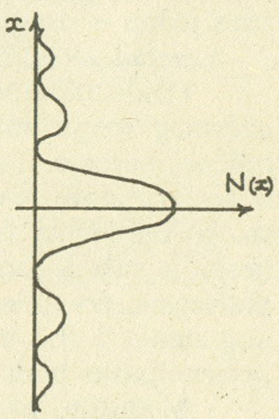
Pored koordinate i impulsa kuglice možemo govoriti i o raznim njenim drugim fizičkim veličinama: energiji, momentu impulsa, ... Broj tih karakteristika može praktično biti neograničen ali sve one zavise od gornje dve osnovne veličine. Odavde sledi da ako u trentku t_0 *merenjem* koordinate i impulsa ove veličine saznamo, onda ćemo, na osnovu svega do sada rečenog, moći da *tačno* predvidimo koje će se vrednosti svih mogućih drugih fizičkih veličina u početnom i u bilo kom narednom trenutku dobiti merenjem. Dakle, fazna tačka je zaista onaj »matematički objekt« koji opisuje stanje sistema.



sl. 1.



sl. 2.



sl. 3.

Međutim, na veliko čuđenje fizičara čitave jedne generacije, stanja *mikro-čestica* (fotona, elektrona, neutrona, protona, . . .) nisu mogla da se opišu pomoću fazne tačke.

Neophodnost izmene pojma klasičnog stanja izrazito je vidljiva u slučaju tzv. *diferakcionih eksperimenata*. Iako su oni obavljani u većini slučajeva sa komplikovanim uređajima njihov princip je upravo isti kao i u našem eksperimentu sa slike 1., samo što su iz I umesto metalnih kuglica izlazile mikro -čestice. Prema tome da li se one emituju odjednom u velikom broju ili jedna po jedna razlikuju se dva tipa ovih eksperimenata.

U *difrakcionim eksperimentima prve vrste* (Jang, 1801.; Dejvison i Džermer, 1927 . . .) mikročestice u izbacivane iz I u jakim mlazevima i na ploči E stavarali u suštini vrlo neobičnu »sliku« (vidi sl. 3.). Neobičnost je u tome što mikro čestice ne padaju samo na mesta A i B nego se »talasasto« rasejavanju po celoj ploči E!

Da bi se ispitalo da se neobična slika ne stvara možda zbog nekakvih »sudara«, »privlačenja« ili »odbijanja« čestica pre dolaska na ploču, obavljeni su *difrakcioni eksperimenti druge vrste* (Janoši 1954.; Biberman, Suškin, Fabrikant, 1949.; . . .) gde su one izbacivane u određenim vremenskim razmacima jedna po jedna. Dobijeni su sledeći, skoro fantastični rezultati: čestice su potpuno nasumice padale u sve moguće tačke ploče E i »difrakcione slike« nije bilo. Međutim, ako se eksperiment dovoljno dugo odvija, slučajni udarci čestica u ploču postepeno će stvoriti difrakcionu sliku (sl. 3)!! Kao da su se čestice pre početka eksperimenta dogovorile (pošto su predhodno potajno videle kako aparatura izgleda) da su individalna odstupanja dozvoljena, ali da se na kraju eksperimenta ipak mora ostvariti zadatak — stvaranje očekivane slike.

Problem objašnjenja ovako čudnog ponašanja mikro-čestica razrešen je izmenom samog opisa stanja fizičkog sistema: umesto fazne tačke stanje mikro-čestice moramo otpisati tzv. »tačkom« Hilbertovog »prostora« koja se najčešće naziva *vektorom stanja* ψ. Ovaj pojam je preuzet iz jedne moderne oblasti matematike (tzv. funkcionalne analize) ne iz nekog zanosa, nego zato što je on jedini mogao da osmisli rezultate eksperimenata sa mirkočesticama ove koje ovde posmatramo ali i ogroman broj njima sličnih. Samim tim, morao je biti izmenjen smisao i ostalih opštih elemenata klasične mehanike: pojma početnog stanja, zakona kretanja i merenja, Morala je dakle, biti stvorena jedna u osnovi nova mehanika nova nauka o ponašanju mikro-čestica — *kvantna mehanika*.

Dakle, analogno slučaju u klasičnoj mehanici i ovde imamo pojam *početnog stanja* mikro-čestice, $\psi(t_0)$, do čijeg poznavanja može dovesti određeno merenje. Takođe, ispostavlja se da je dalje poznavanje vektora stanja u proizvoljnom trenutku, tj. njegovo »kretanje« u Hilbertovom »porstoru« strogo određeno. Međutim, za razliku od slične situacije sa faznom tačkom (koja u suštini poštuje Njutnove jednačine), »kretanje« vektora stanja se podvrgava tzv. *Šredingerovoj jednačini*. Tu činjenicu da iz poznavanja početnog stanja $\psi(t_0)$ možemo predvideti u kom će se stanju $\psi(t)$ naći sistem u proizvoljnom budućem trenutku t nazivamo principom *kvantne uzročnosti*.

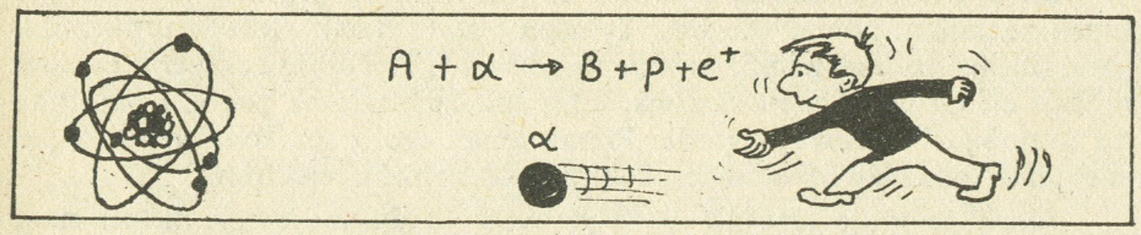
Međutim, na osnovu ovakvog opisa sledi da izbacivanje kvantnih čestica iz I koje su u stanjima $\psi(t_0)$ i merenje njihovog položaja u trenutku t,

kada su u stanju $\psi(t)$, ne daje uvek isti rezultat. To se zaista i vidi iz difrakcionih eksperimenata sa pojedinačnim česticama! Merenje ove vrste nazivamo *kvantnim merenjima*. Tako se nešto nije događalo pri merenju mesta gde metalne kuglice, koje su izbacivane sa istim početnim stanjem, udaraju u ploču E. I, ako vektor stanja zaista u sebi sadrži (kao što se od stanja uvek očekivalo) potpuni opis zbivanja, onda nam difrakcioni eksperimenti sa pojedinačnim kvantnim česticama neposredno pokazuju fantastičnu igru čistog slučaja koji vlada u mikro-svetu.

Prema tome, za razliku od fazne tačke čije poznavanje u nekom trenutku dovodi do mogućnosti da *sa sigurnošću* predvidimo koja će se vrednost date fizičke veličine dobiti *merenjem*, vektor stanja omogućuje da se iz njega dobije *sa kojom će se verovatnoćom* pojaviti neki rezultat *merenja* određene fizičke veličine. Drugim rečima, pomoću njega uspevamo da matematički »imitiramo« slučajne procese.

Ali, slučajni procesi uopšte dovode pod određenim uslovima do vrlo strogih zakona. Ako, na primer, 6 000 000 puta na ravnu podlogu bacamo kocku čije su stranice numerisane brojevima od 1 do 6, onda skoro sasvim sigurno dobijamo da su se svi brojevi pojavili po 1 000 000 puta na gornjoj. strani kocke. Verovatnoća da padne jedan od brojeva je očigledno 1:6, tj, 1/6. Prema tome, ako znamo broj bacanja i verovatnoću moći ćemo da predvidimo koliko će puta pasti dati broj (zaista, $6\,000\,000 \cdot \frac{1}{6} = 1\,000\,000$).

Sasvim je slična situacija i sa udarcima mikro-čestica: na osnovu poznatog stanja $\psi(t)$ najpre izračunamo verovatnoću da čestica padne na neko mesto x. Nju pomnožimo brojem izbačenih čestica iz izvora I; dobijamo broj čestica koje su pale na mesto x, N(x). Ispostavlja se da je na taj način izračunata vrednost broja zaista jednaka sa stvarnim brojem registrovanih čestica u difrakcionim eksperimentima prve vrste! To je suština objašnjenja difrakcione slike (sl. 3.) koja sa klasičnim zakonima kretanja čestica i klasičnim pojmom stanja nije mogla da bude data.



. . . Ono što smo učili o molekulima u školi ne daje ideju da su oni mnogo bliži čvrstom stanju nego gasovitom ili tečnom. Naprotiv, učili su nas da pažljivo razlikujemo fizičke promene kao topljenje ili isparavanje u kojima su molekuli očuvani, i hemijske promene, recimo, sagorevanje alkohola . . . Fundamentalna razlika se prikazuje sledećom šemom jednačina:

molekul čvrsto telo kristal
gas tečnost amorfno telo.

DVOJNOST ČESTICA — TALAS I KVANTNA MEHANIKA

LJ. RISTOVSKI (Beograd)

Izlišno je govoriti o tome kako je 1922. godine primljena hipoteza Luja de Broljija o dvojnoj-čestično-talasnoj prirodi materije. Za mnoge njegove savremenike ona je bila neozbiljna i zato i nije bilo potrebno da se o njoj razmišlja. Srećom, bilo je onih koji tako nisu mislili. U suštini, de Brolji nije prvi uveo pojam dvojnosti u fiziku. On postoji još od 17. veka. Tada je Njutn pretpostavio da je svetlosni zrak, u stvari, skup čestica i tako postavio temelje takozvane geometrijske optike. Njegov savremenik Hajgens tvorac je talasne optike. On je pretpostavio da je svetlost talasne prirode i tako uspeo da objasni ono što geometrijska optika nije mogla (difrakcija i interferencija svetlosti), ali je istovremeno reprodukovao i sve rezultate koje je geometrijska optika dobila. Na taj način stvorene su i prihvaćene dve teorije o svetlosti, a sa njima je u fiziku uveden i pojam dvojnosti čestica-talas.

Dvojna priroda svetlosti je, na neki način, bila prihvaćena i to ni izbliza tako dramatično kao dvojna priroda materije. Međutim, uvek postoji neko ko često razmišljanja počinje sa ali ili zašto a, uz to, ima dovoljno i umne i psihičke snage da odgovore traži dok ih ne nađe. Jedan od njih bio je i de Brolji. Verujući u jedinstvo prirode, nije mogao da shvati zašto bi svetlost trebala da bude izuzetak, zašto samo ona ima dvojnu prirodu. Razmišljao je o tome dugo, pominje se čak punih 11 godina, i zaključio da ne postoji ni jedan razlog da to bude tako. Sa svojih 30 godina, koliko ih je tada imao, budući nobelovac Luj de Brolji imao je dovoljno hrabrosti i vere u sebe da iskaže hipotezu koja će ga učiniti besmrtnim: *Sva tela u prirodi imaju istovremeno i čestičnu i talasnu prirodu.*

Obratite pažnju, ne sve čestice (elektron, proton, . . .) nego sva tela imaju dvojnu prirodu. Pa tako, na primer, i naša planeta Zemlja. Iako astronomski objekt i ona ima svoju talasnu prirodu. Može da se posmatra i kao talas veoma male talasne dužine od oko 10^{-61} cm. Ali, nas interesuje elektron a ne Zemlja.

Da je elektron čestica, odnosno da ima čestičnu prirodu, dokazao je eksperimentalnim putem Dž. Dž. Tomson i za to dobio Nobelovu nagradu. Igrom slučaja, trideset godina kasnije njegov sin G.P. Tomson eksperimentalno utvrđuje efekat difrakcije elektrona, tako dokazuje talasnu prirodu elektrona i za to dobija Nobelovu nagradu. Prema tome, otac i sin Tomson su eksperimentalno dokazali dvojnu-čestično-talasnu prirodu elektrona.

Teoriji se može verovati ili ne verovati. Međutim, ako je eksperiment potvrdi, mesta sumnji više nema ma koliko ono što ona tvrdi izgleda neverovatno. Jer, ljudi prave svoje teorije i svoju logiku a priroda se ponaša onako kako se ponaša. Zato, iako i danas mnogima izgleda neprihvatljiva dvojna priroda materije ona je, ipak, takva. Onima koji su stvarali novu kvantnu fiziku to je bilo sasvim jasno. Prihvatili su dvojnu prirodu elektrona, ali su nastavili da razmišljaju o tome kako se on ponaša u atomu. Kao talas, kao čestica ili i kao talas i kao čestica, što je bilo najmanje verovatno. Odgovor je dobijen 1926. godine kada su se u razmaku od samo 4 meseca, a potpuno nezavisno, pojavile dve kvantne mehanike, koje su tada shvatane kao teorije

o kretanju elektrona (Danas je pojam Kvantne mehanike širi). To su bile matrična i talasna kvantna mehanika.

Polazna pretpostavka matrične kvantne mehanike je čestična priroda elektrona. To znači da se u njenim okvirima elektron posmatra isključivo kao čestica. Da bismo objasnili osnovne pretpostavke ove kvantne mehanike, počećemo od jedne, na izgled, daleke analogije. Posmatraćemo jedan jedini potez lovcem na šahovskoj tabli. Neka to bude potez, na primer, b2-h7. Lovac se sa polja b2 na polje h7 može pomeriti na proizvoljno mnogo načina, pri čemu ovde mislimo na put kojim se lovac pomera. Što se tiče pravila šahovske igre, uopšte nije važno kojim je putem lovac došao sa jednog na drugo polje. Išao on najkraćim ili nekim zaobilaznim putem rezultat je isti, jer pravilima šahovske igre nije potreban pojam trajektorije lovca, odnosno puta kojim se on premešta sa polja na polje. Sada je red da uspostavimo analogiju između elektrona u atomu i lovca na šahovskoj tabli. U tome nam mogu pomoći dobro poznati Borovi postulati, tačnije prvi Borov postulat. On tvrdi da u atomu postoje orbite po kojima dok elektron kruži, ne zrači energiju. Te orbite mi ćemo zvati stanjima elektrona. Stanje elektrona odgovara ovde polju na kome se nalazi lovac na šahovskoj tabli. Potezu lovca, odnosno njegovom prelasku sa jednog polja na drugo, odgovara prelaz elektrona iz jednog stanja u drugo, koji je, u skladu sa drugim Borovim postulatom, praćen emisijom ili apsorpcijom energije. Ali, prema matričnoj kvantnoj mehanici analogija je znatno dublja. Naime, pravila ponašanja elektrona u atomu slična su pravilima šahovske igre. To znači da uopšte nije važno kako elektron prolazi iz jednog stanja u drugo. Drugim rečima, i kada je reč o elektronu u atomu nepotreban je pojam trajektorije. Tvorac matrične kvantne mehanike Hajzenberg ustanovio je da nema smisla govoriti o trajektoriji $X(t)$, nego o skupu brojeva X_{pk}, čije vrednosti zavise samo od početnog i konačnog stanja elektrona koja su označena sa p i k. Brojevi X_{pk} nisu koordinate elektrona u atomu, nego ih, uslovno gledano, zamenjuju. Dok nam jednačina trajektorije $X(t)$ omogućava da u svakom trenutku odredimo položaj elektrona, dotle brojevi X_{pk} pokazuju samo iz kojeg je u koje stanje prešao elektron. Skup brojeva X_{pk}, uključujući sve njegove osobine, ima osobine jedne matematičke sheme brojeva, koja se zove matrica. Zato se Hajzenbergova kvantna mehanika zove matrična.

Tvorac talasne kvantne mehanike je Šredinger. Pošao je od pretpostavke da je elektron talasne prirode i od takozvane mehaničko-optičke analogije.

Pojam mehaničko-optičke analogije uveo je astronom Hamilton još 1825. godine. Da bismo objasnili o čemu je reč napravićemo jedan mali uvod.

Poznato je da se zrak svetlosti širi pravolinijski, pa se zato i predstavlja pravom linijom koja ide od izvora. Ova prava linija zove se trajektorija svetlosnog zraka i jedan je od osnovnih pojmova u geometrijskoj optici. Ovako definisana trajektorija svetlosnog zraka se ne razlikuje od trajektorije čestice koja se kreće pravolinijski, što i nije čudno jer se u okvirima geometrijske optike svetlost može posmatrati kao skup čestica koje se kreću pravolinijski. Međutim, ovo tvrđenje nije baš tačno, jer se zrak koji naiđe na malu prepreku ne ponaša kao čestica, bar ne na prvi pogled. Posle prepreke zrak se više ne prostire pravolinijski, nego zalazi u oblast geometrijske senke (pojava difrakcije), a ako se na njegov put postavi ekran dobija se skup svetlih i tamnih

traka (pojava interferencije). Ove pojave se relativno lako objašnjavaju Hajgensovom talasnom teorijom svetlosti na čemu se ovde nećemo zadržavati.

U talasnoj teoriji prostiranje zraka se objašnjava kao širenje talasa, slično širenju talasa na površini vode. Postavlja se pitanje kako onda objasniti činjenicu da ipak svetlosni zrak, odnosno pravolinijska trajektorija zraka, postoji. Odgovor na ovo pitanje dao je Frenel. Prema njemu, međusobnim slaganjem gase se svi talasi iz istog izvora (interferencija), izuzev onih koji se nalaze u uskom kanalu čiji je prečnik jednak polovini talasne dužine posmatrane svetlosti. Taj kanal je trajektorija zraka i zna se kako se ona u talasnoj optici nalazi. Potrebno je da se od izvora svetlosti povuče linija koja je normalna na talasni front talasa.

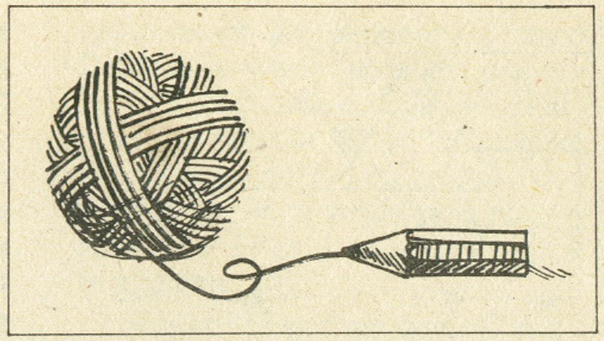
Gore pomenuti Hamilton želeo je da pokaže da analogija između trajekteorije čestice i zraka ima dublji smisao. Što je želeo to je i postigao. Pokazao je da se u mehanici kretanje čestice duž trajektorije može predstaviti i kao prostiranje nekog talasa, odnosno širenje talasnog fronta. Uspeo je i da jednačine kretanja u mehanici napiše u obliku koji je sličan jednačinama prostiranja svetlosti u geometrijskoj optici. To je mehaničko-optička analogija. Ponavljamo, do Šredingera ona je važila samo u okvirima geometrijske optike.

Šredinger je mehaničko-optičku analogiju proširio na celu optiku, tj. i na talasnu optiku. Pošao je od pretpostavke da se bilo koje kretanje bilo koje čestice može predstaviti kao širenje talasa, kao talasno kretanje. Ova pretpostavka ni iz čega ne sledi, ali mnogo toga iz nje sledi. Između ostalog i talasna kvantna mehanika, prema kojoj se elektron u atomu posmatra kao talas, a ne kao čestica. Iako sve ovo najverovatnije deluje maglovito, a tako izgleda i nekima koji se fizikom bave kao profesijom, ipak Šredinger je uspeo da svoje misli potvrdi i izrazi nediskutabilnim jezikom formula. Reč je o Šredingerovoj jednačini, koja se nije mogla (i ne može) izvesti iz nekih jednostavnijih zakona. Nju je trebalo pogoditi, a i sam Šredinger je priznao da mu nije jasno kako je to uspeo. Kao ni Hajzenberg nije koristio u svojoj teoriji pojam trajektorije, ali za razliku od njega uveo je jednu nemerljivu veličinu ψ funkciju o kojoj nešto više možete saznati u ovom broju. Hajzenberg je smatrao da u jednačinama kvatne mehanike mogu da se pojavljuju samo veličine koje se naposredno mere.

Pošto su obnarodovane matrična i talasna kvantna mehanika otpočele su žestoke rasprave između pobornika ovih teorija. Nisu dugo trajale, jer je sve presekao Šredinger kada je 1927. godine pokazao da su matrična i talasna kvantna mehanika matematički, a to znači i fizički, ekvivalentne. One samo na dva načina, podjednako dobra, opisuju jednu te istu fiziku atoma. Prema tome, tačno je da je elektron čestica, ali je tačno i to da je on talas. On i u atomu, jednostavno rečeno uvek, pokazuje svoju dvojnu prirodu.

Iz opšteg prikaza nasledne supstance proizlazi zaključak da će živa materija, još uvek ne izmičući »zakonima fizike« formulisanim do danas, verovatno povući za sobom »druge zakone fizike«, do sada nepoznate, koji će, ukoliko jedanput budu otkriveni, formirati integralni deo te nauke.

VELIKI EKSPERIMENTI



FRANK-HERCOV EKSPERIMENT

STEVAN ĐENIŽE (Beograd)

Svaki eksperiment u fizici se može smatrati epohalnim, jer je u vreme svog prvog izvođenja značio neposrednu potvrdu neke zakonitosti koja postoji u prirodi. Ipak, neki od eksperimenata zaslužuju posebnu pažnju u istoriji fizike, jer su svojim rezultatima omogućili da se neposredno dokažu dotad postulirane ili nepoznate zakonitosti. Takav je i eksperiment Franka i Herca.

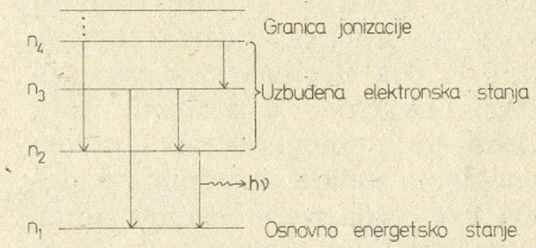
Frank i Herc su na neposredan način dokazali da su stacionarna energetska stanja u atomima diskretna i time u potpunosti potvrdili tek postavljenu (1913) Borovu sliku atoma. Kao što je poznato, Borov model atoma se zasniva na postulatima. Da se podsetimo: Da bi objasnio zakonitosti u spektru vodonika, Bor je postulirao postojanje stacionarnih energetskih stanja elektrona. U tim stanjima elektron se kreće brzinom v na rastojanju r od jezgra, tako da je moment impulsa jednak celobrojnom umnošku Plankove konstante h podeljenom sa 2π

$$mv\,r = n\frac{h}{2\pi}, \quad \text{gde je } n = 1,2,3,\ldots$$

Karakteristično elektromagnetno zračenje nastaje prelaskom elektrona sa viših energetskih stanja (veći kvantni broj n) na niža energetska stanja (manji kvantni broj) kao što je to prikazano na sl. 1. Energija emitovanog fotona iznosi

$$h\nu = hc/\lambda = E_2 - E_1$$
$$h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}\ \text{J s}$$
$$c = 3 \cdot 10^{8}\ \text{m/s}$$

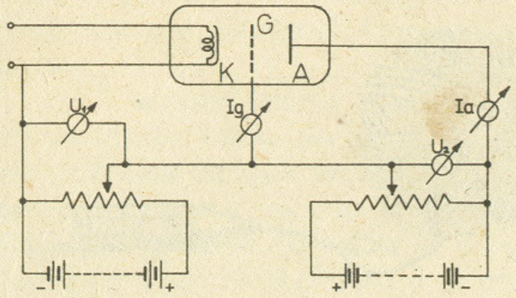
i kao što se vidi, predstavlja razliku energije između stacionarnih energetskih stanja.



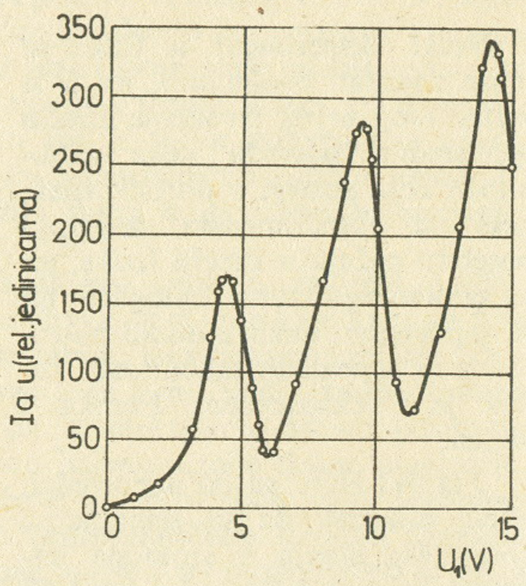
Frank i Herc su u svom eksperimentu uspeli da dokažu da se atomi mogu naći samo u strogo određenim energetskim stanjima. To znači da bi u sudarima sa elektronima atomi mogli preuzeti samo strogo određene diskretne vrednosti energije.

Shema njihovog eksperimenta prikazana je na sl. 2.

Elektroni koji izlaze iz usijane elektrode (katode K) ubrzavaju se u delu prostora gde se nalaze ispitivani atomi žive. Deo elektrona



emitovanih iz katode posle višestrukog sudara sa atomima žive prolaskom kroz slabo kočeće električno polje $U_2 = 0{,}5$ V, stići će do anode (A) samo onda kada je vrednost ubrzavajućeg potencijala U_1 veća od 0,5 V. Posmatrajući volt (U_1) ampersku (I_a) karakteristiku (sl. 3) primećuje se da ona u početku liči na sličnu karakteristiku vakuumske diode. Povećanjem ubrzavajućeg potencijala povećava se i vrednost kinetičke energije elektrona. U trenutku kada kinetička energija elektrona postiže vrednost koja je jednaka razlici energija između dva stacionarna energetska stanja elektrona u atomima žive, elektronu je omogućeno da u prvom narednom sudaru sa jednim od atoma žive preda svoju energiju atomu u neelastičnom sudaru i da izvrši pobuđivanje atoma žive. Elektroni, koji na taj način izgube svoju energiju, ne mogu više da stignu do anode, već dospevaju do jedne pozitivnije elektrode (G), ili se pripajaju na jedan, u atomima gasa uvek prisutan, pozitivan jon. Kao posledica svega toga javlja se pad vrednosti anodne struje I_a. Taj pad vrednosti struje u eksperimentu Franka i Herca javljao se na vrednosti ubrzavajućeg potencijala od $U_1 = 4{,}9$ V. Novi porast ubrzavajućeg napona dozvoljava elektronima da još ranije steknu dovoljnu energiju koja omogućava pojavu neelastičnog sudara sa atomima žive, tj. pobuđivanje tih atoma. Prvi neelastični sudari se odigravaju u delu prostora koji je još dosta udaljen od kočećeg polja pa su elektroni sposobni da steknu novu energiju za novo pobuđivanje. Pobuđivanje se, dakle, može odigrati nekoliko puta uzastopce u zavisnosti od vrednosti ubrzavajućeg napona. Na slici 3 se jasno vidi da



je do vrednosti $U_1 = 9{,}8$ V elektron izvršio dve, a do vrednosti $U_1 = 14{,}7$ V tri pobuđivanja. Uočljivo je da su vrednosti struje I_a na tim karakterističnim vrednostima napona sve veće. Ovo je i razumljivo, jer se radi o polju prostornog naelektrisanja, pa bi se struja, bez prisustva neelastičnih sudara, menjala po poznatoj karakteristici diode. Nasuprot očekivanju primećuje se da struja ne padne nikada na nultu vrednost. To se može objasniti samim procesom neelastičnog sudara, koji se uvek odigrava sa konačnom verovatnoćom. Objašnjenje ove pojave, međutim, ne utiče na bit eksperimenta i njegov rezultat, pa zato u detaljnije objašnjenje nećemo ni ulaziti.

Prvi kritični potencijal (4,9 V) predstavlja vrednost pri kojoj elektroni ubrzani do energije od 4,9 eV mogu izvršiti pobuđivanje elektrona u atomu žive iz osnovnog (n_1) u prvo pobuđeno (n_2) energetsko stanje (sl. 1). To znači da će pobuđeni atomi žive morati da emituju svoju energiju pobude u prostor u vidu jednog fotona energije 4,9 eV (po zakonu održanja energije). Talasna dužina fotona λ može da se izračuna iz poznate formule

$$\lambda = \frac{hc}{eU_1}$$

odakle se posle zamene poznatih vrednosti dobija

$$\lambda = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{4{,}9 \cdot 1{,}6\ 10^{-19}}\ [\mathrm{m}] \approx$$

$$\approx 2533\ \text{Å}.$$

Talasnu dužinu elektromagnetnog zračenja iz prostora gde se nalaze atomi žive uspeo je da izmeri Futone sa svojim saradnicima pomoću spektroskopa. Njihova merenja su pokazala da je tačna vrednost talasne dužine 2536,52 Å. Ova spektralna linija predstavlja tz. rezonantnu liniju i najintenzivnija je u spektru žive.

Svojim eksperimentom Frank i Herc su uspeli da dokažu postojanje samo prvog pobuđenog stanja atoma žive, dok su za nalaženje ostalih pobuđenih stanja ($n_3, n_4, n_5, \ldots$) morali da izvrše modifikaciju svog prvobitnog eksperimenta. U toj modifikovanoj verziji uspeli su da izmere i ostale energije pobude energetskih stanja u atomima žive.

Rezultati opisanog eksperimenta kvantitativno dokazuju tačnost Borove teorije. Na uverljivost dokaza ne utiče ni činjenica da je tačnost električnih merenja manja od spektroskopskih, jer je nasuprot manjoj tačnosti njihovih merenja velika opipljivost i neposrednost dokazivanja očigledna.

KAKO SE MOGU »VIDETI« NUKLEARNE ČESTICE?

RAK LAJOŠ (Beograd)

U udžbenicima fizike često nailazimo na fraze kao: »na osnovu eksperimenta je utvrđeno . . . « ili »eksperiment pokazuje« i slične. Šta se krije iza tih reči?

Kada govorimo o jezgru zamišljamo ga kao skup veoma sićušnih kuglica. Pri objašnjavanju neke pojave u mislima često oduzimamo i dodajemo čestice, stavljamo ih pod različite uslove. Ili kako teorijski fizičari kažu vršimo misaone eksperimente. Pri njihovom »izvođenju« nemamo nikakvih ograničenja. Međutim kada neko želi i u praksi da izvede eksperiment koji je zamislio često nailazi na velike pa i nerešive probleme. Osnovni uslov za vršenje bilo kakvog eksperimenta u nuklearnoj fizici jeste da se nekako utvrdi (detektuje) prisustvo nuklearnih čestica. Danas imamo takve uređaje (detektore) pomoću kojih možemo i okom »videti« kuda je prošla neka čestica. Samu česticu zapravo i ne vidimo (otuda navodnici u naslovu) ali vidimo njenu putanju. Pre nego što počnemo sa detaljnijim izlaganjem da vas podsetimo na jedno iskustvo iz svakodnevnog života.

Kada na nebu ugledate usku belu traku, onda znate da je tuda nedavno prošao mlazni avion mada niste videli avion a niste ni čuli zvuk njegovog motora. Ili, ako avion leti visoko pa se golim okom ne može videti, ipak ga odaje bela traka koju ostavlja za sobom. Vremenom taj trag postaje deblji, na pojedinim mestima isprekida se dok na kraju ne iščezne. Koliko dugo će se trag aviona videti zavisi od meteoroloških uslova (vetra, oblačnosti). Od veštine i iskustva posmatrača zavisi šta će saznati o avionu. Za većinu nas ti tragovi znače samo da je prošao avion, ali stručnjaci kao što su izviđači protivvazdušne odbrane iz tih tragova čitaju kao iz knjige. Oni mogu reći koliko je aviona, pre koliko vremena, kojom brzinom u kom pravcu je preletelo.

U nuklearnoj fizici situacija je donekle slična. Fizičari su razvili nekoliko postupaka kojima mogu da učine vidljivim putanje (tragove) nuklearnih čestica (mikročestica). Naučili su i to kako se iz tih tragova mogu saznati važni podaci o strukturi materije. Da ne bi suviše bukvalno shvatili sličnost između aviona i mikročestice da ukažemo na neke bitne razlike. Dimenzije nuklearnih čestica su reda veličine 10^{-13} cm (prečnik jezgra), a debljina traga koju ovakva čestica ostavlja je reda 10^{-4} cm (veličina zrna u fotonuklearnoj emulziji). Prema tome trag je milijardu puta (10^9) deblji od prečnika čestice. Ovome bi odgovaralo avion čiji bi trag bio deblji od rastojanja između dve najudaljenije tačke Jugoslavije.

Kako se mogu putanje čestica učiniti vidljivim? Postoji nekoliko načina, a izložićemo: fotonuklearnu emulziju, maglene, mehurove i varničke komore.

Prvi detektor u nuklearnoj fizici bila je fotografska ploča. Danas se za detekciju upotrebljavaju specijalne foto ploče takozvane fotonuklearne emulzije. One se od onih koje koriste fotografi donekle razlikuju. Osetljivi sloj i običnih i nuklearnih fotografskih ploča je sastavljen od sitnih kristala srebrobromida raspoređenih u želatinu. Međutim, osetljivi sloj nuklearne emulzije je znatno deblji (i do 100 puta) od obične. Osim toga kristali srebrobromida nuklearne emulzije su sitniji, a njihova procentualna količina je veća.

Posle razvijanja, emulzija se posmatra pomoću mikroskopa. Duž putanje čestice vidi se linija koja je sastavljena od niza tačaka.

Maglenu komoru konstruisao je engleski fizičar Wilson 1911. godine. On je za svoj pronalazak dobio Nobelovu nagradu.

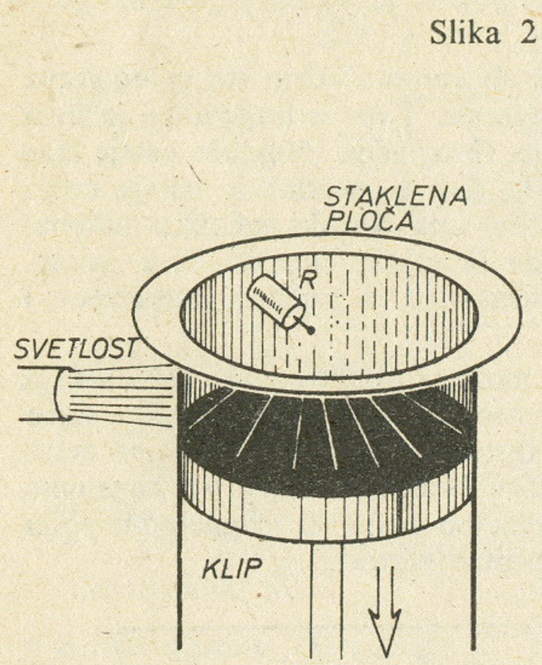
Maglu svi znamo. U ove jesenske i zimske dane ona ljudima zadaje velike probleme. Maglu čine sitne kapljice vode. Nastaje kada se u vazduhu nalazi velika količina vodene pare i ako se vazduh naglo ohladi. Tada para postaje zasićena i višak vode se izdvaja (kondenzuje) u obliku finih kapljica. Za nastajanje magle potrebno je da u vazduhu budu i sitne čestice prašine ili dima na kojima se voda kondenzuje. Njih zbog toga nazivamo *centrima kondenzacije*. Ako ih nema, neće se kondenzovati ni voda bez obzira što je para presićena.

Wilson je primetio da i joni (naelektrisani atomi) mogu da budu centri kondenzacije. Radioaktivni zraci u vazduhu stvaraju jone (jonizuju vazduh). Na primer α-čestica na svakom centimetru svoje putanje stvori 30 000 jonskih parova. Dakle duž 1 cm putanje nastaje 60 000 kapljica magle.

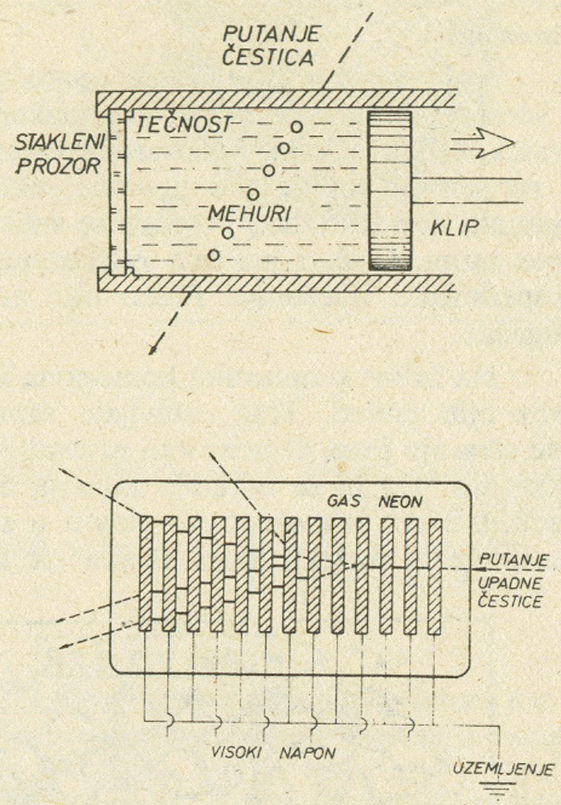
Da bi se Wilsonovo otkriće moglo iskoristiti za detekciju treba dobiti zasićenu paru. To se najlakše postiže pomoću uređaja koji je prikazan na slici 1.

Maglena komora se sastoji iz cilindričnog suda u kome se kreće klip. Ako se klip povuče na dole, vazduh u cilindru se naglo širi i zbog toga se hladi. U ohlađenom vazduhu vodena para postaje presićena i ako kroz komoru proleti čestica iz neke radioaktivne supstancije, duž njene putanje ostaje »vlakno od magle«. Ovakva komora može da detektuje samo kratko vreme: u toku povlačenja hlipa. Nakon toga klip treba vratiti u prvobitni položaj da bi komora mogla ponovo da detektuje.

Slika 2



Slika 1



Slika 3

Maglene komore sa pokretnim klipom nazivaju se *ekspanzionim*. Napravljena je i takva maglena komora koja može da radi neprekidno. Donji deo te komore se hladi suvim ledom (čvrstim ugljen dioksidom) temperature oko —55 °C, a gornji deo je na sobnoj temperaturi (oko 20 °C). U komori je smeša para vode i alkohola. Temperatura od gornjeg dela komore ka donjem je sve niža i niža (fizičari kažu da postoji gradijent temperature), tako da uvek postoji sloj gasne smeše u kome je para presićena. Prema tome, bez obzira na to u kom trenutku prolazi čestica, duž njene putanje će se formirati trag.

Američki fizičar Glaser je 1950. godine primetio da pri prolasku mikročestice kroz tečnost koja samo što nije počela da ključa, duž njene putanje nastaju mehurići. Mehurova komora je predstavljena na slici 2. Povlačenjem klipa pritisak u komori će opasti a time će se sniziti i temperatura ključanja tečnosti. Klip treba tako povući, da tečnost samo što ne počne da ključa. I pronalazač mehurove komore je dobio Nobelovu nagradu.

Dok se pronalaženje mehurove i maglene komore može vezati za ime pojedinca, *varnična homora* je rezultat dugogodišnjeg rada velikog broja fizičara. **Prve varnične komore su proradile tek 1959. godine.**

Varnična komora je napravljena od niza tankih metalnih pločica smeštenih na međusobnim rastojanjima od 1 mm. (slika 3). Komora se puni hemijski inertnim gasom-neonom. Ploče su neizmenično naelektrisane pozitivnim i negativnim naelektrisanjima. To se ostvaruje pomoću izvora visokog napona. Veličina napona se podešava tako da između ploča samo što ne preskaču varnice. Pri prolasku čestice kroz komoru duž njene putanje nastaju joni i tako neon postaje provodan. Zbog toga na mestima gde je prolazila čestica skaču varnice između ploča. Ova pojava je slična pojavi munje u atmosferi.

Kako se vrše istraživanja pomoću ovih komora? Ono što se odigrava u komori snima se pomoću fotografskog aparata. Time se tragovi čiji je život kratak, mogu očuvati beskonačno dugo na fotografiji. (Najduže ostaje trag u maglenoj komori, oko desetine sekundi, dok u mehurovoj ostaje svega milioniti deo sekunde!) Napravi se veliki broj snimaka (do nekoliko miliona) koje zatim, fizičari pažljivo razgledaju, da bi otkrili ono što ih u datom eksperimentu interesuje. Posao oko analiza slika je prilično mukotrpan i dugačak.

Na žalost u opisanim komorama ne može se »videti« svaka čestica koja kroz njih preleti. Trag ostavljaju samo naelektrisane čestice, pošto samo one stvaraju jone. O prisustvu neutralnih čestice tek posredno možemo nešto zaključiti. Da bi se odredilo koje su čestice pozitivno a koje su negativno naelektrisane, komoru treba staviti u magnetno polje. U magnetnom polju raznoimena naelektrisanja skreću na suprotne strane.

Ponegde se može pročitati da je poznatim Borovim postulatima prethodilo ovakvo razmišljanje: prema zakonima mehanike elektron mora da kruži da ne bi pao na jezgro. Međutim, prema zakonima elektrodinamike on pri tom mora da zrači energiju. To znači da će se sve sporije kretati i na kraju ipak pasti na jezgro. Ali, to se u stvarnosti ne događa, jer atom je stabilan. Stvarnost, bolje rečeno priroda, zahteva da se elektronu zabrani da padne na jezgro iako se to kosi sa dotle neosporenim zakonima elektrodinamike.

— Ali, pitali su ga, kako to-zabraniti? Zar između elektrona i jezgra ne deluju sile električne prirode?

— Da — bio je odgovor Bora.

— Te sile se mogu opisati zakonima elektrodinamike?

— Da, tačno je.

— U okvirima elektrodinamike može da se odredi i masa i naelektrisanje elektrona?

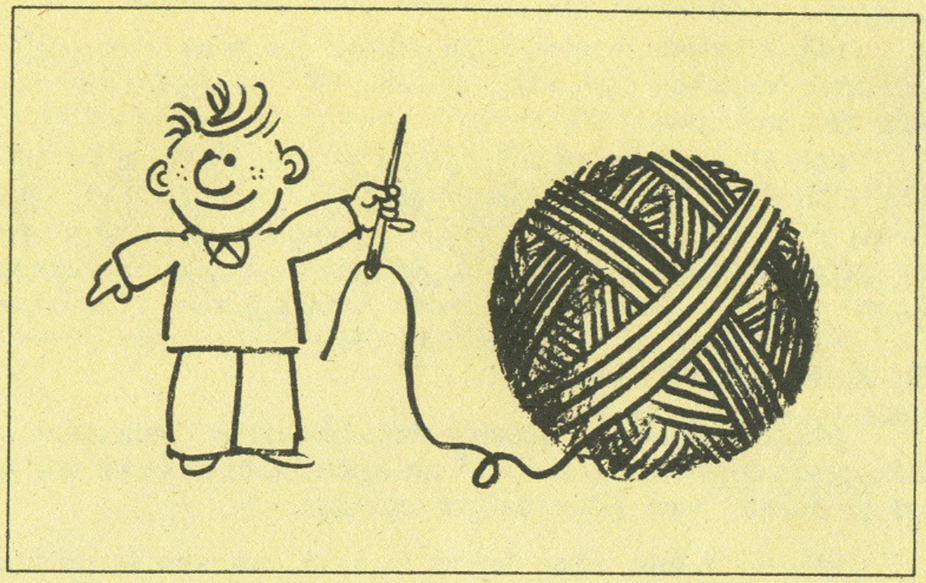
— Da.

— Prema tome i kretanje elektrona u atomu mora da se pokorava zakonima elektrodinamike?

— Ne, jer atom je ipak stabilan. Ma šta tvrdila elektrodinamika, elektron ne pada na jezgro.

Lj. R.

ZADACI



ODABRANI ZADACI

A/ Za učenike VI razreda

136. Odrediti silu atmosferskog pritiska na površinu stola, čija je površina 1,2 m^2. (Rezultat: 124 kN)

137. Koliki teret može da izdrži u vodi prazno bure zapremine 5 m^3 i težine 2000 N? (Rezultat: F=48 kN

B/ Za učenike VII razreda

138. Kolikom elektrostatičkom silom deluju jedna na drugu dve tačkaste količine elektriciteta od po jednog kulona kada se nalaze u vazduhu na međusobnom rastojanju r=1 m?

/Rezultat: $F=9 \cdot 10^9$ N)

139. Tri jednaka istoimena naelektrisanja q nalaze se na temenima ravnostranog trougla. Kakvo naelektrisanje q_1 treba staviti u centar ovog trougla da bi rezultujuća sila, koja deluje na svako naelektrisanje, bila jednaka nuli? /Rezultat: $q_1 = +q/\sqrt{3}/$

C/ Za učenike VIII razreda

140. Talasna dužina žute svetlosti u vakuumu iznosi 0,589 μm. Odrediti frekvenciju ove svetlosti

/Rezultat: $5{,}1 \cdot 10^{14}$ Hz/

141. Da li se menja frekvencija i talasna dužina svetlosti pri prelazu iz vakuuma u bilo koju sredinu?

/λ se menja, f se ne menja/

KONKURSNI ZADACI

A) Za učenike VI razreda

142. Atmosferski pritisak u prizemlju zgrade iznosi 753,5 mm živinog stuba a na njenom krovu 752,0 mm Hg. Odrediti približno visinu ove zgrade.

143. Površina manjeg klipa hidraulične prese iznosi 10 m^2 a većeg 100 cm^2. Na manji klip deluje sila od 400 N. Odrediti silu koja deluje na klip veće površine.

144. U cilindričnom sudu nalazi se živa do visine od 10 cm. Iznad žive nalivena je voda iste zapremine, koju zauzima i živa. Iznad vode nalivena je ista zapremina kerozina kao i vode. Odrediti ukupan pritisak kojim ove tečnosti deluju na dno suda. Za gustinu žive uzeti vrednost od 13 600 kg/m^3, kerozina 800 kg/m^3 a vode 1 000 kg/m^3.

B/ Za učenike VII razreda

145. Lik predmeta u izdubljenom ogledalu je 3 puta manji od predmeta. Ako predmet približimo za l=15 cm ogledalu, onda će lik biti 1,5 put manji od predmeta. Naći žižnu daljinu ogledala.

146. Kroz lupu žižne daljine f=6 cm posmatra se predmet čiji se lik vidi jasno i oštro na daljini jasnog vida d=25 cm (od lupe odnosno od oka posmatrača). Koliko je udaljen posmatrani predmet od optičkog centra lupe?

147. Naelektrisana čestica mase m nalazi se u homogenom električnom polju jačine E=20 N/C, koje potiče od naelektrisane ravne površine, i koje je usmereno vertikalno naviše. Ako je naelektrisanje čestice $\alpha=+01\ \mu C$, kolika treba da bude njena masa, da bi ona lebdela nad površinom?,

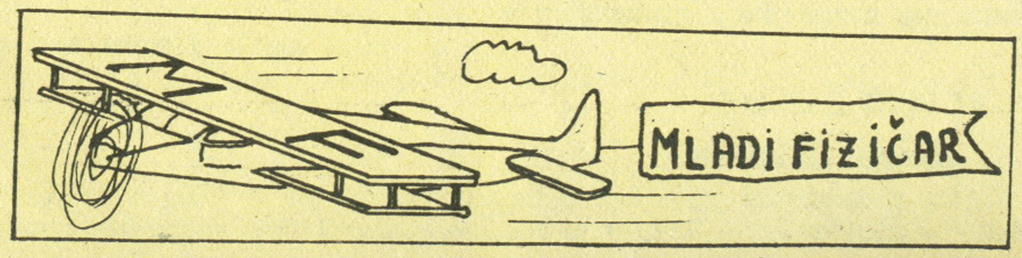
C/ Za učenike VIII razreda

148. Ribar na obali uočava da pluta njegove udice na vodi izvede 25 oscilacija za 10 sekundi, a da je razmak između dva brega talasa vode 1,6 m. Odrediti brzinu prostiranja talasa.

149. Za koliko se promeni talasna dužina ljubičaste svetlosti frekvence $7{,}5 \cdot 10^{14}$ Hz pri prelazu iz vode u vakuum, ako je brzina prostiranja ovog talasa u vodi $2{,}23 \cdot 10^8$ m/s?

150. Pomoću transformatora snižava se naizmenični napon od $U_1=220$ V $U_2=4$ V. Izračunati odnos navojaka na primaru i sekundaru. Kada se na sekundaru ovog transformatora priključi potrošač, a stepen korisnog dejstva transformatora iznosi približno 100%, u kom odnosu stoje jačine struja koje prolaze kroz kolo primara i sekundara?

151. Sa strane ogledala (sl. 1) stoji čovek A; drugi čovek B se približava ogledalu po normali koja prolazi kroz sredinu ogledala. Na kom rastojanju od ogledala će čovek B ugledati čoveka A u ogledalu.



UPUTSTVA ZA REŠAVANJE KONKURSNIH ZADATAKA

Rešite konkursne zadatke iz ovog broja *Mladog fizičara* i rešenja pošaljite. Interesantna rešenja i imena svih učesnika koji su sve zadatke (ili neke od njih) rešili tačno objavićemo u sledećem broju *Mladog fizičara*. Najuspešnijim rešavačima za svaki razred dodelićemo prigodne nagrade na kraju školske godine.

Svako rešenje (s rednim brojem zadataka i tekstom) treba obrazložiti na jednoj strani lista hartije. Rešenje treba čitko potpisati punim prezimenom i imenom navodeći razred, školu, mesto i svoju adresu. Navedite i ime i prezime nastavnika fizike.

Zadatke rešavajte samostalno. Slike crtajte precizno. Nečitljiva i neobrazložena rešenja nećemo uzimati u obzir.

Rešenja zadataka iz ovog broja pošaljite običnom poštom na sledeću adresu:

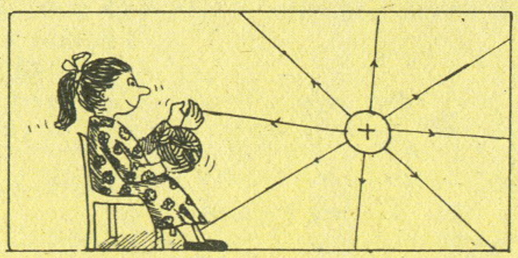
Mladi fizičar
(Konkursni zadaci iz fizike)
p.p. 791
1101 Beograd

Nagradni zadatak broj 13

Razlika potencijala između tačaka A i B u nekom kolu je U. Kada se te tačke spoje provodnikom otpora R, kroz njega protiče struja I. Kolika će struja teći, ako se umesto pomenutog veže provodnik sa otporom R/2?

U zadatku nije potrebno naglasiti o kakvom je kolu reč. Obrazložite ovo tvrđenje.

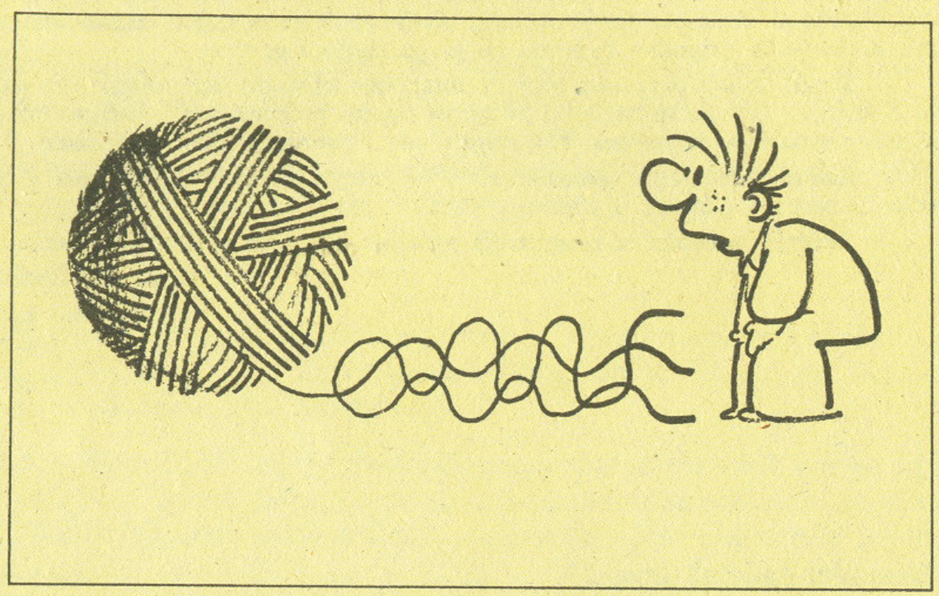
odabrao *Lj. Ristovski*



Pretpostavka da svetlost deluje određenim pritiskom na tela koja obasjava pojavila se još u 17. veku. Vrednost pritiska svetlosti nije bila poznata, pa su zato u vezi s njom kružile i mnoge neobične priče. Tako je neki Hartzeker 1696. godine tvrdio da je tok Dunava mnogo sporiji ujutru kada se Sunčevi zraci suprostavljaju njegovom kretanju, nego popodne kada mu oni »pomažu«. Inače, za vedrog dana na 1 cm^2 svetlost deluje silom od samo $0{,}82\ 10^{-13}$ kp. Makovo zrno deluje milion puta većom silom.

Lj. R.

TEST



A) Za učenike VI razreda

1. Hidrauličnim presama se postiže »ušteda« u
   a) radu. b) sili. c) pritisku.
2. Na Paskalovom zakonu se ne zasniva konstrukcija
   a) hidraulične prese. b) kočionog sistema automobila.
   c) hidrostatičkih terazija. d) lekarskog šprica (injekcije).
3. Kad telo pliva na tečnosti, sila potiska koja na njega deluje je
   a) manja od težine tela. b) jednaka težini tela.
   c) veća od težine tela.
4. Sila potiska koja deluje na telo potopljeno u tečnost ne zavisi od
   c) gustine tečnosti. b) gustine tela.
   c) zapremine tela. d) gravitacionog ubrzanja.
5. Ako na površini vode plivaju dve kugle istih masa načinjene od raznih materijala, kugla načinjena od materijala veće gustine istisnuće u odnosu na kuglu načinjenu od materijala manje gustine
   a) manju količinu vode. b) istu količinu vode.
   c) veću količinu vode.
6. Neko čvrsto telo ima 350 g u vazduhu, a 250 g u vodi. Njegova gustina je
   a) 2,5 g/cm³. b) 3 g/cm³. c) 3,5 g/cm³.
7. Masa prazne boce je 240 g. Masa boce napunjene vodom je 400 g. Ako je masa boce napunjene tečnošću nepoznate gustine 360 g, onda je gustina te tečnosti
   a) 0,75 g/cm³. b) 0,85 g/cm³. c) 0,95 g/cm³.
8. Najmanja jedinica pritiska je
   a) cmHg. b) cmH_2O. c) paskal.
9. Ako atmosferski pritisak očitan zimi na barometru raste u toku vremena, taj porast nagoveštava da će
   a) vreme postati hladnije. b) vreme postati toplije.
   c) pasti sneg.
10. Ako se cev koju je koristio Toričeli da bi izmerio atmosferski pritisak pomeri iz vertikalnog u kos položaj, zapremina žive u cevi će
    a) postati manja. b) ostati ista. c) postati veća.

B) Za učenike VII razreda

1. Vektorske veličine nisu
   a) sila, temperatura i vreme. b) masa, pritisak i temperatura.
   c) masa, vreme i temperatura. d) sila, pritisak i masa.
2. Moment sile ima dimenzije
   a) sile. b) rada. c) količine kretanja.
3. Konjska snaga je u odnosu na vat
   a) manja. b) ista. c) veća.
4. Pri kružnom kretanju materijalne tačke sa stalnom jačinom linijske (tangencijalne) brzine, centrifugalno ubrzanje
   a) opada sa kvadratom rastojanja od centra obrtanja.
   b) raste sa kvadratom rastojanja od centra obrtanja.
   c) opada sa rastojanjem od centra obrtanja.
   d) raste sa rastojanjem od centra obrtanja.
5. Period oscilovanja klatna ne zavisi od
   a) njegove dužine b) njegove mase. c) ubrzanja Zemljine teže.
6. Pri određenim fizičkim uslovima, u datoj sredini, brzina zvuka sa porastom učestanosti
   a) opada. b) ostaje ista. c) raste.
7. Zvučni talasi se najsporije prostiru kroz
   a) vakuum. b) gas. c) tečnost. d) čvrsto telo.
8. Džul je u odnosu na kaloriju brojno
   a) manji. b) isti. c) veći.
9. Sa porastom nadmorske visine temperatura ključanja vode
   a) opada. b) ostaje ista. c) raste.
10. Konstruktor parne mašine je
    a) Isak Njutn. b) Viljem Tomson (lord Kelvin).
    c) Džems Vat. d) Ervin Šredinger.

C) Za učenike VIII razreda

1. Masa elektrona je u odnosu na masu protona oko
   a) 1000 puta manja. b) 2000 puta manja. c) 3000 puta manja.
2. Prečnik atoma je reda veličine
   a) 10^{-6} m. b) 10^{-8} m. c) 10^{-10}m.
3. Izotopi imaju isti broj
   a) elektrona i protona. b) elektrona i neutrona.
   c) protona i neutrona.
4. Elektroneutralni nisu
   a) alfa i beta zraci. b) alfa i gama zraci.
   c) beta i gama zraci
5. Manji domet alfa-čestica u odnosu na beta-čestice istih enegrija objašnjava se pre svega
   a) većom masom alfa čestica. b) elektropozitivnošću alfa-čestica.
   c) većim naelektrisanjem alfa-čestica.
6. Najveću brzinu imaju
   a) alfa-zraci. b) beta-zraci. c) gama-zraci.
7. Praktično se smatra da je radioaktivni izotop »mrtav« po isteku
   a) pet vremena poluraspada. b) deset vremena poluraspada.
   c) petnaest vremena poluraspada.
8. Međunarodna jedinica radioaktivnosti je
   a) kiri. b) bekerel. c) rentgen.
9. Najrasprostranjeniji detektor zračenja je
   a) elektroskop. b) Vilsonova komora.
   c) spintaroskop. d) Gajger-Milerov brojač.
10. Savremene nuklearne elektrane principijelno su zasnovane na
    a) fuziji atomskih jezgara.
    b) fisiji atomskih jezgara.

Testove pripremio: *Dušan KOLEDIN*

ZADACI — PITANJA

55. Često se dešava da prozorska okna na zgradama u blizini ulica sa živim saobračajem dosadno zveckaju. Ova neprijatna pojava može da se spreči lepljenjem komadića plastelina na staklo.

Objasnite pojavu zveckanja i način sprečavanja.

56. Da li će se jednaki komadi isečenog namagnetisanog čeličnog štapa ponašati kao magneti? Ako hoće da li su jači oni koji su dobijeni iz sredine ili sa krajeva?

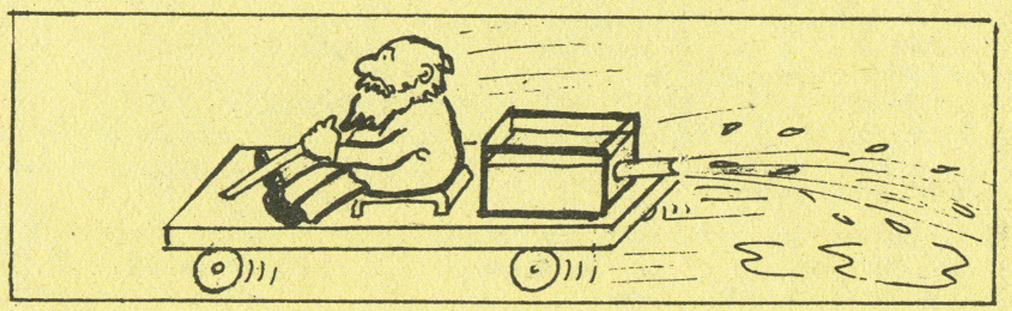
57. Ako se jači magnet približi časovniku nekoliko puta, desiće se da ovaj pokazuje netačno vreme. Posle nekoliko dana moguće je da časovnik opet počne tačno da radi. Kako se objašnjava ovakva pojava?

58. Minijaturni poluprovodnički radio aparat mnogi ljudi u običnom životu nazivaju **tranzistor.** Da li je to ispravno? Koji je pravilan naziv za ovaj radio prijemnik?

59. Ako ste posmatrali automobilski far, mogli ste zapaziti da je površina stakla sa unutrašnje strane sva izbrazdana.

Znate li zašto je far tako napravljen?

60. Kada televizor radi sa ekrana se dobija određena vidljiva svetlost. Znate li kojoj vrsti zračenja pripada ova svetlost?



ODGOVORI NA ZADATKE — PITANJA IZ BROJA 15

49. I bez brisanja se posle izvesnog vremena osuši vodom okvašeno telo čoveka. Voda je isparila i mi kažemo »suvi smo«. Leti to prija, ali kada je hladno može se lako nazebsti jer nam je još hladnije. Voda je nestala ispravanjem a isparavanje kao fizički proces praćeno je snižavanjem temperature na mestu gde se vrši.

Kako metil alkohol ima nižu tačku isparavanja, on brže isparava i lako snižava temperaturu bolesnika, na čineći njegovo telo duže vlažnim nego što bi bilo dozvoljeno.

50. Pri jačem zamahu kraj biča može da se kreće i brzinom većom od brzine zvuka. Tada nastaje probijanje zvučnog zida, što mi čujemo kao jak prasak.

51. Na hladnom negativu, unetom u hladnu prostoriju, nastala bi pojava kondenzacije vodene pare. Prisustvo vlage izazvalo bi štetne posledice za kvalitet negativa.

52. Pri proticanju struje kroz provodnik elektroni se ne kreću brzinom svetlosti. Po zakonima fizike takva brzina se ne može ni postići. Ako bi se elektron kretao brzinom čak i znatno manjom od brzine svetlosti, nastalo bi **veoma jako zagrevanje** provodnika usled stalnih sudara brzih provoonih elektrona sa jonima rešetke, što se ipak ne dešava.

Kada se kaže da se električna struja prostire brzinom svetlosti, onda se ne misli na brzinu kretanja samih elektrona već na brzinu prostiranja električnog polja koje ih primorava da se kreću u provodniku. Brzina elektrona u provodniku prema nekim podacima iznosi samo nekoliko milimetara u sekundi, dok se uticaj napona od jednih na druge prenosi brzinom svetlosti.

Kod neizmenične struje nosioci električne struje — slobodni elektroni osciluju oko svojih ravnotežnih položaja, ne premeštajući se na veća rastojanja.

53. Najveća količina toplote izdvajaće se na otporu $R_2=3$ oma.

Poznato nam je da je prema Džul-Lencovom zakonu izdvojena količina toplote Q srazmerna otporu provodnika, jačini struje na kvadrat i vremenu proticanja. Za isto vreme i i pri istoj jačini struje oslobođena toplota zavisi samo od otpora. Kako u datom slučaju imamo paralelnu vezu otpora, struje se razlikuju pa se o tome mora voditi računa.

Na krajevima dve paralelne grane imamo isti napon, pa je $I_{1,2}(R_1+R_2)=I_3R_3$. Odavde se lako zaključuje da struje u granama stoje u odnosu 2 : 1. Ako je, na primer, $I_{1,2}=2$ A, onda je $I_3=1$ A, a izvođvojene količine toplote su: $Q_1=2$, 4 J, $Q_2=3$, 4 J i $Q_3=10$, 1 J.

54. Pri prekidanju električnog kola, na primer, primarnog kola Rumkorf-ovog indikatora, usled pojave samoindukcije na prekidaču se javlja dovoljno visok napon, koji je u stanju da izazove električno pražnjenje u vazduhu između krajeva prekidača, tj. da proizvede električnu varnicu. Ako želimo da sprečimo varničenje, moramo nešto učiniti da napon pri prekidanju kola ne bude tako veliki. Jedno od rešenja je da paralelno vežemo kondenzator koji će primiti deo indukovanog naelektrisanja. Prekidač možemo takođe, smatrati kondenzatorom (razdvojeni delovi prekidača su obloge, a vazduh dielektrik kondenzatora), koji zajedno sa vezanim kondenzatorom povećava ukupni kapacitet ($C=C_1+C_2$). Kako indukovano naelektrisanje ostaje isto, $Q=C_1U_1$ i $Q=(C_1+C_2)U_2$, jasno je da će U_2 biti znatno niži napon ($U_2<U_1$).

REZULTATI NAGRADNOG KONKURSA

za rešavanje konkursnih zadataka u školskoj 1978/79 godini

za učenike VIII razreda

I nagrada

PETROVIĆ VLADAN, OŠ »Sava Kovačević«, Beograd
nastavnik: Dragan Smiljević

Urošević Radislav, OŠ »Karađorđe«, Topola
nastavnik: Milomir Mladenović

III nagrada

Jovanović Tatjana, OŠ »Kosta Stamenković«, Leskovac
nastavnik: Boško Milenković

Za učenike VIII razreda

I nagrada

Mohler Dalibor, OŠ »August Šenoa«, Zagreb
nastavnik: Milan Žugić

III nagrada

Tanasković Aleksandar, OŠ »Karađorđe«, Topola
nastavnik: Milomir Mladenović

Za učenike VI razreda

III nagrada

Ristić Nenad, Urošević Snežana, Cigić Biljana,
OŠ »Karađorđe«, Topola
nastavnik: Milomir Mladenović

Koričanac Goran, Jašović Nenad,
OŠ »Milan Milošević-Ćopo«, Mrčajevci

ZADATAK 3 E

Na datoj slici pokazan je raspoloživ pribor kojim se može ostavriti električno kolo i izvršiti odgovarajuće merenje.

1. Nacrtaj linije koje pokazuju kako treba povezati izvor struje, prekidač, ampermetar, sijalicu i reostat da bi se mogla regulisati i izmeriti jačina struje koja protiče kroz sijalicu.

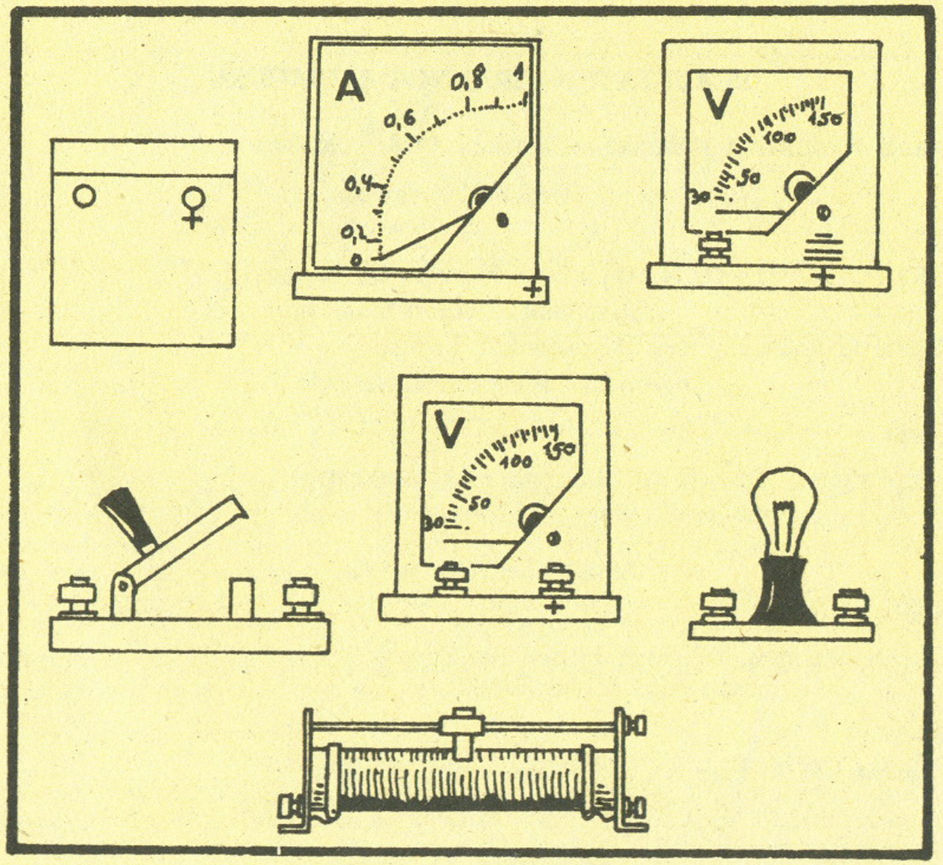
2. Isprekidanom linijom označi kako treba vezati voltmetar da bi se izmerio napon na sijalici odnosno na reostatu.

3. Označi slovima, A,B,C i D priključnice na sijalici i reostatu, polazeći od one sa najnižim potencijalom, a zatim napiši za koje dve od njih treba vezati voltmetar da bi se izmerio ukupni napon na sijalici i reostatu.

4. Odredi vrednost jednog podeljka na mernim instrumentima:

$Cx =$ ·····, $Cx_2 =$ ·····, $Cx_2 =$ ····· ,

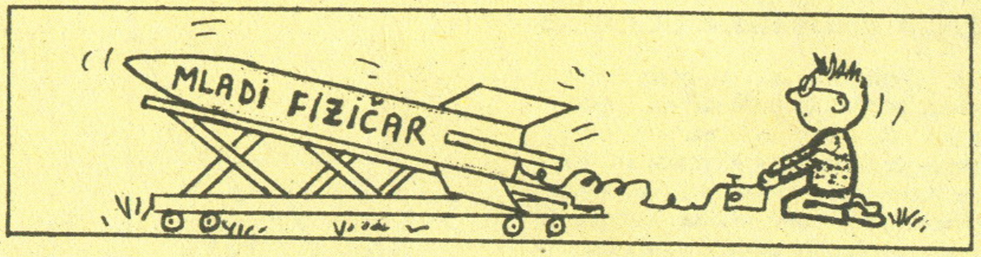
5. Označi slovima a,b,c,. mesta u kolu gde takođe može da se nalazi ampermetar.



Sećajući se vremena kada je stvarana kvantna mehanika, Ajnštajn je 1949. godine izjavio: »Svi moji pokušaji da se prilagodim novim rezultatima teorijske fizike doživeli su potpun neuspeh. Bilo je to kao da mi se tlo izmaklo ispod nogu- — nigde nisam video komad čvrstog tla na kome bih mogao nešto da gradim«.

Inače, mnogo ranije 1913. godine, govoreći o Borovim postuplatima Ajnštajn je rekao: »Ako je sve to tačno, onda je to kraj fizike kao nauke«.

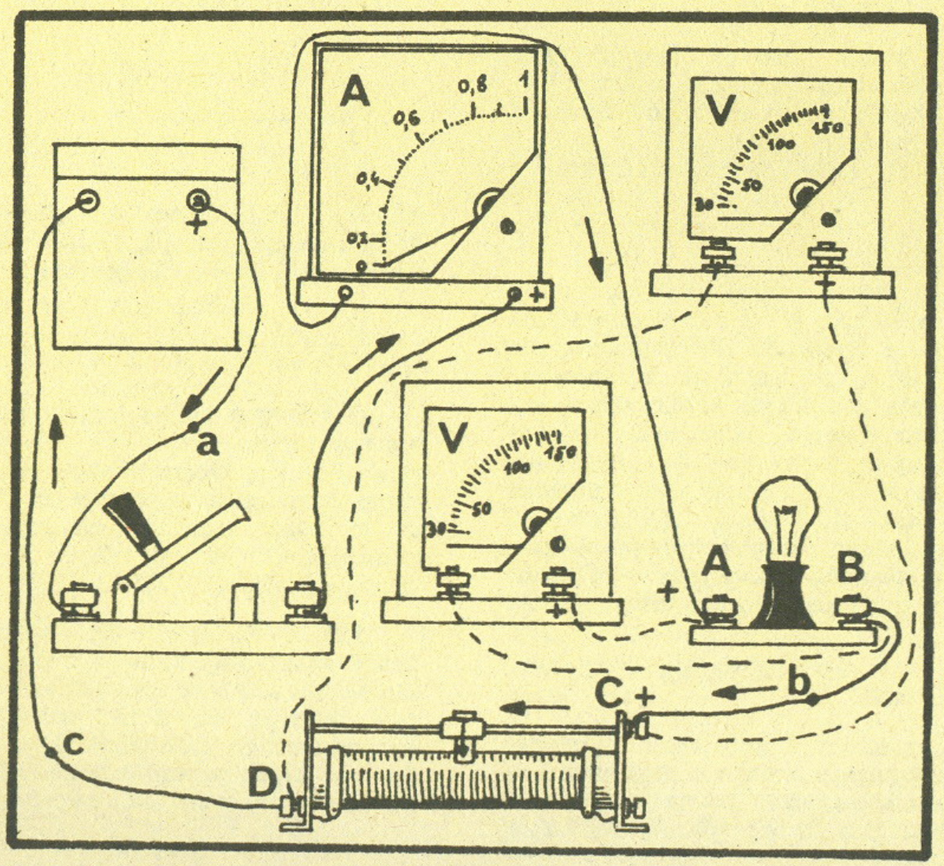
Lj. R.



REŠENJE ZADATKA 3E

3. $A-D$

4. $C_A = 0{,}02\,A$, $C_{V_1} = C_{V_2} = 5\,V$.



REŠENJA ZADATAKA IZ MF 15

126. Označimo sa V_o-brzinu reke, V_1-brzinu broda u odnosu na vodu i V- brzinu broda u odnosu na obalu. Očigledno je da brzina V zavisi od toga da li se brod kreće uzvodno ili nizvodno. U prvom slučaju, ova brzina jednaka je je odnosu pređenog puta i vremena:

$$V=s/t_2=100\ \text{km}/10\ h=10\ \text{km}/h,$$

a u drugom

$$V'=s/t_2=100\ \text{km}/4h=25\ \text{km/h}.$$

S druge strane, ove brzine broda u odnosu na obalu mogu da se predstave preko brzine reke i brzine broda u odnosu na vodu sledećim relacijama:

$V'=V_1+V_o$ (brod ide nizvodno)

i

$V=V_1-V_o$ (brod ide uzvodno)

Iz druge relacije sledi da je $V_1=V+V_o$. Ako ovaj izraz za V_1 zamenimo u prvu relaciju imamo: $V'=V+V_o+V_o=V+2V_o$, odnosno

$$V_o=(V'-V)/2=(25-10)/2\ \text{km}/h=$$
$$=7{,}5\ \text{km}/h$$

Dakle, brzina reke je $V_o=7{,}5$ km/h. Zamenimo li ovu vrednost u izraz $V=V_1-V_o$, dobijamo za brzinu broda u odnosu na vodu vrednost:

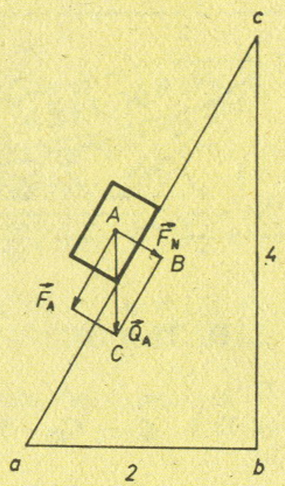
$V_1=V+V_o=(10+7{,}5)\ \text{km}/h=17{,}5\ \text{km}/h$

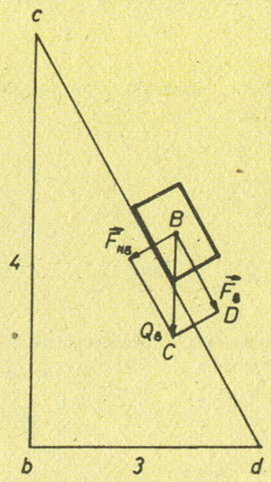
J.D.

127. Prema uslovu zadatka, ravnoteža između tela A i B biće uspostavljena ukoliko se izjednače sile usmerene niz strme ravni, tzv. aktivne komponente težina tela. Odredimo koliko iznosi aktivna komponenta težine tela A. Zato posmatrajmo samo levi deo dvostruke strme ravni (sl. 1). Iz sličnosti trouglova abc i ABC sledi da je: $F_A/Q_A=4/ac$. Geometrijskom konstrukcijom pravouglog trougla ahc nalazimo da je $ac=4{,}47$, tako da je aktivna komponenta težine tela A:

$$F_A=\frac{4}{4{,}47}\cdot Q_A=4\cdot 5\ N/4{,}47=4{,}47\ N$$

Kao što smo gore rekli, ravnoteža će se uspostaviti ukoliko postoji jednakost aktivnih komponenti težina tela A i B, odnosno ako je $F_A=F_B$. Posmatrajmo sada desni deo dvostruke strme ravni





(sl. 2). Postoji sličnost trouglova bcd i BCD, odnosno relacija $bd:bc=F_{NB}:F_B$ ili $3:4=F_{NB}:F_A$. Dalje sledi:

$$F_{NB}=\frac{3}{4}\cdot F_A=\frac{3}{4}\cdot 4{,}47\ N=3{,}35\ N.$$

Dobili smo koliko iznose obe komponente težine tela B ($F_B=F_A=4{,}47\ N$, $F_{NB}=3{,}35\ N$). Geometrijskom konstrukcijom pravouglog trougla BCD nalazimo da je težina tela B, koja uspostavlja ravnotežu sa težinom tela A na strmoj ravni, jednaka $Q_B=5{,}59\ N$.

128. a) Ravnoteža na poluzi (klackalici) se ostvaruje kada postoji jednakost momenata sila u odnosu na horizontalnu osu obrtanja. Sa desne strane deluje moment sile Q_2 i on iznosi $M_d=Q_2\cdot r_2$. Sa leve strane postoji moment sile Q_1 i sile koju pokazuje dinamometar:

$$Mx=Q_1r_1+F\cdot r_d.$$

Uslov ravnoteže $M_D=M_x$ daje

$$Q_1r_1+F\cdot r_d=Q_2r_2,$$

odnosno

$$F=\frac{Q_2r_2-Q_1r_1}{r_d}$$
$$=\frac{300\ N\cdot 4\ m-200\ N\cdot 2m}{1\ m}=800\ m.$$

Dinamometar će pokazivati silu od 800 N.

b) Iz uslova ravnoteže sledi:

$$r_2=\frac{Q_1r_1+F_2\cdot r_d}{Q_2}=$$
$$=\frac{200\ N\cdot 2\ m+140\ N\cdot 1\ m}{300\ N}=1{,}8\ m$$

da je udaljenost na kojoj treba da se nalazi dečak B u stanju ravnoteže $r_2=1{,}8$ m.

c) U ovom slučaju uslov ravnoteže nam daje

$$Q_2r_1+F\cdot r_d=Q_1r_2$$

gde je $r_1=2$ m, $r_d=1$ m, i $r_2=4$ m. Sila koju pokazuje dinamometar jednaka je:

$$F=\frac{Q_1r_2-Q_2r_1}{r_d}=$$
$$=\frac{200\ N\cdot 4\ m-300\ N\cdot 2\ m}{r_d}=200\ N.$$

129. Pri kaljenju (brzom hlađenju) dolazi do razmene toplotne energije između zagrejanog čeličnog alata i mašinskog ulja, pri čemu se alat hladi a ulje zagreva, sve do uspostavljanja toplotne ravnoteže. Količina toplote Q_1 koju oslobađa alat mase $m_1=0{,}090$ kg, specifične toplote $c_2=460$ J/kgK, pri hlađenju od temperature $T_1=1113\ K$ do temperature $T_s=343\ K$, pri kojoj se uspostavlja toplotna ravnoteža, iznosi:

$$Q_1=c_1m_1(T_1-T_s)$$

Ovu količinu toplote (ukoliko u razmeni ne učestvuje okolna sredina), na osnovu zakona o održanju energije, primilo je ulje mase m_2, specifične toplote $c_2=2100$ J/kgK i zagrejalo se od temperature $T_2=293\ K$ do T_s. Znači:

$$c_2m_2(T_s-T_2)=c_1m_1(T_1-T_s)$$

Odavde lako dobijamo da tražena masa mašinskog ulja iznosi:

$$m_2=m_1\frac{c_1(T_1-T_s)}{c_2(T_s-T_1)}=$$
$$=0{,}090\ \text{kg}\,\frac{460\ J/\text{kg}\,K\,(1113-343)\,K}{2100\ J/\text{kg}K(343-293)\ K}=$$
$$=0{,}304\ \text{kg}$$

Da konačna temperatura alata ne bi prešla temperaturu $T_s=343\ K$, masa mašinskog ulja mora biti manja ili jednaka 0,3 kg ($m_2\leq 0{,}3$ kg).

130. U trenutku udara čekića mase $m_1=12$ kg o ploču mase $m_2=0{,}20$ kg, celokupna potencijalna energija $E_p=mgh$, koju je posedovao čekić na visini $h=1{,}5$ m, u odnosu na ploču, prelazi u kinetičku energiju $E_{k1}=E_p=mgh$. Na osnovu uslova ovog zadatka, samo 40% kinetičke energije ($0{,}40\ E_k$) iskoristi se za zagrevanje ploče. Posle $n=50$ udara čekića o ploču, deo kinetičke energije koji je iskorišćen za zagrevanje ploče iznosi:

$$Q=0{,}40\ n\ E_{k1}=0{,}40\ n\ mgh$$

Pri tome se promenila temperatura ploče za ΔT. Ako sa $c_2=460$ J/kgK označimo specifičnu toplotu gvozdene ploče, sledi

$$m_2c_2\,\Delta T=Q=0{,}40\ n\ m_1\ g\ h$$

odakle je tražena promena temperature

$$\Delta T=\frac{0{,}40\,nm_1gh}{m_2c_2}=$$
$$=\frac{0{,}40\cdot 50\cdot 12\ \text{kg}\cdot 9{,}81\ m/s^2\cdot 1{,}5\ m}{0{,}20\ \text{kg}\cdot 460\ J/\text{kg}\,K}=$$
$$=38{,}4\,K\cong 38\,K.$$

131. Označimo sa $Q_1=m_1c_1(T_1-T_s)$ količinu toplote koju zagrejano bakarno telo mase $m_1=15{,}4$ kg, specifične toplote $c_1=280$ J/kgK, pri hlađenju do temperature $T_1=783$ K do temperature $T_s=280$ K, predaje glicerinu i ledu, odnosno vodi posle otapanja leda. Količina toplote koja je utrošena na topljenje leda, mase $m_3=5$ kg i toplote topljenja $\Lambda=340$ J/kg iznosi $Q_2=\Lambda\,m_3$. Da bi se voda, čija je specifična toplota $c_3=4{,}2$ kJ mase m_3, zagrejala od temperature $T_2=273$ K do temperature T_s, utroši se količina toplote $Q_3=m_s\,c_3\,(T_s-T_2)$. Najzad, količina toplote koja je potrebna da se zagreje

glicerin, mase $m_2=10$ kg i nepoznate specifične toplote c_2, zagreje od temperature T_2 do temperature T_s iznosi $Q_1=m_2 c_2 (T_s-T_2)$. Na osnovu zakona o održanju energije (količine toplotne energije) sledi da je

$$Q_1=Q_1+Q_2+Q_3$$

odakle se posle zamene odgovarajućih izraza i njihovih brojnih vrednosti dobija:

$$c_2\frac{Q_1+Q_2+Q_3}{m_2(T_s-T_2)}=$$

$$=\frac{m_1 c_1 (T_1-T_s)-\Lambda m_3-m_3 c_3 (T_s-T_2)}{m_2(T_s-T_z)}=$$

$$=2{,}46\ kJ/kgK.$$

132. Pri uključenju električne peći kroz bakarne provodnike protiče električna struja jačine $I=10$ A, što uslovljava povećanje vrednosti napona na bakarnim provodnicima za veličinu

$$\Delta U_1=RI=\rho\frac{LI}{S}=1{,}7\cdot10^{-8}\ \Omega$$

$$\frac{m\,2\cdot100\,m\cdot10\,A}{5\cdot10^{-6}\,m^2}=6{,}8\,V$$

Pri konstantnom naponu mreže, za istu vrednost mora opasti napon na krajevima upaljene sijalice, tj. — $\Delta U_2=6{,}8$ V Obratiti pažnju da je dužina provodnika. dva puta veća od rastojanja izvora od potrošača!

133. Snaga elektromotora tramvajskih vagona može se odrediti na osnovu datih podataka za vrednost jačine električne struje ($I=112$ A) i napon ($U=550$ V). Snaga iznosi

$$P_e=UI$$

S druge strane, korisna mehanička snaga iznosi

$$P_m=Fv$$

gde je sila vuče $F=3600$ N. Kako je poznat koeficijent korisnog dejstva elektromotora $\eta=0{,}70$, to se može uspostaviti veza između predhodnih veličina:

$$P_m=\eta P_e$$

odnosno

$$Fv=\eta UI$$

odakle je

$$v=\frac{\eta UI}{F}=\frac{0{,}70\cdot55\cdot V\cdot112\,A}{3600\,N}=11{,}98\ m/s\cong$$

$$\cong12\ m/s\quad\text{(ili 42 km/h).}$$

134. Energija, koja se izdvoji pri jednom pražnjenju, jednaka je proizvodu napona, jačine struje i vremena trajanja pražnjenja: $w=U\cdot I\cdot t$. Ukupna energija koja se izdvoji u toku jedne godine je

$$\Delta=N\cdot T\cdot w$$

gde je N-broj pražnjenja u jedinici vremena, a $T=365\cdot24\cdot360\ s=3153600\ s$ — vreme od godinu dana izraženo u sekundama. Dakle

$$W=N\cdot T\cdot U\cdot I\cdot t=100\ s^{-1}\cdot3153600\ s\cdot$$

$$\cdot10^9\ V\cdot20000\ A\cdot0{,}001\ s=6{,}3\cdot10^{19}\ \text{J}.$$

Ova energija je više od tri puta veća od godišnje proizvodnje električne energije u svetu.

135. Količina toplote potrebna da se voda mase m zagreje od temperature T_1 do temperature T_2 jednaka je $Q_1=c\cdot m\cdot(T_2-T_1)$, gde je c-specifična toplota vode (42 kJ/kgK). Masa vode u sudu jednaka je proizvodu zapremine suda i gustine vode: $m=\rho V$. Zapremina suda je $V=S\cdot H$, gde je S-površina prstena (sl. 3). Površina prstena data je preko poluprečnika obrascem

$$S=\pi\cdot(R^2-r^2).$$

Kako je duž d tangenta na manjem krugu, to je trougao OBD pravougli ($R^2-r^2=(d/2)^2$), pa je površina prstena $S=\pi d^2/4$. Tada je masa vode u sudu:

$$m=\rho\cdot V=\rho\cdot\pi\cdot H\cdot\frac{d^2}{4},$$

odnosno količina toplote Q_1:

$$Q_1=\frac{\pi}{4}\cdot\rho\cdot c\cdot H\cdot d^2\cdot(T_2-T_1).$$

Ovu količinu toplote voda treba da primi od grejača. Kako je koeficijent korisnog dejstva grejača μ, to grejač treba da oslobodi količinu toplote $Q_2=Q_1/\eta$. Količina toplote, koju oslobađa grejač, data je relacijom: $Q_2=U\cdot I\cdot t$, gde je t-vreme proticanja struje kroz grejač. Dalje sledi $Q_1/\eta=UIt$, odnosno

$$t=\frac{Q_1}{\eta\cdot U\cdot I}=\frac{\pi\cdot\rho\cdot c\cdot d^2\cdot(T_2-T_1)}{4\cdot\eta\cdot U\cdot I}=$$

$$=\frac{3{,}14\cdot10^3\,kg/m^3\cdot42\cdot10^3\,J/kgK\cdot0{,}3\,m\cdot\cdot0{,}15^2\,m^2\cdot(340-300)\,K}{4\cdot0{,}8\cdot150\,V\cdot2\,A}=$$

$$=4{,}22\cdot10^4\,s.$$

Dakle, vreme potrebno da se voda u sudu zagreje od temperature $T_1=300$ K do $T_2=340$K iznosi oko 11,7 časova.

Rešenje nagradnog zadatka broj 11.

Odgovor je potvrdan, ali pod uslovom da se u toku merenja temperature ampula drži vertikalno. U tom slučaju važe sledeće jednačine

$$P_1V_1=n_1KT;\quad P_2V_2=n_2KT$$

$$P_2=P_1+\frac{Q}{S}$$

gde se veličine sa oznakom 1 odnose na gas iznad kapljice žive, a veličine sa oznakom 2 na gas ispod nje. Q je težina kapljice žive, a S poprečni presek ampule.

Iz gornjih jednačina sledi da je

$$P_2V_2=\left(P_1+\frac{Q}{S}\right)V_2=\left(\frac{n_1KT}{V_1}+\frac{Q}{S}\right)V_2$$

Sa druge strane je

$$P_2V_2=n_2kT$$

Kombinovanjem zadnjih dveju jednačina dobija se da je

$$T=\frac{QV_2}{KS\left(n_1\frac{V_2}{V_1}+n_2\right)}=\frac{Ql_2}{K\left(n_1\frac{l_1}{l_2}+n_2\right)}$$

gde su l_1 i l_2 dužine delova ampule u kojima se nalaze gasovi. One se mogu meriti i direktno (ako se izgraduiše ampula).

Ako ampula stoji horizontalno, biće

$$T=\frac{PS(l_1+l_2)}{(u_1+u_2)K}$$

Ovde, a to je ono što ne valja, i pritisak zavisi od temperature.

Lj. Ristovski

Rešenje nagradnog zadatka broj 12.

Dok se nalazi u vodi, na lopticu deluju tri sile: sila zemljine teže mg, sila potiska F_p i sila trenja. Neposredno pre izletanja iz vode, energija loptice jednaka je

$$E=F_ph-mgh-W$$

gde je F_ph rad sile potiska, mgh rad koji se vrši nasuprot dejstva sile zemljine teže, dok je W deo energije koji se gubi usled trenja.

Ako sa V označimo zapreminu loptice, onda je

$$F=\rho Vg=\frac{4}{3}\pi\rho gR^3$$

gde je ρ gustina vode, a g ubrzanje sile Zemljine teže.

Uzevši u obzir ove jednačine dobijamo da je

$$W=\frac{4}{3}\pi\rho gR^3h-mgh-E$$

Pošto se nakon izletanja iz vode loptica penje do visine h_1, to je $E=mgh_1$, odnosno

$$W=\frac{4}{3}\pi\rho gR^3h-mg(h+h_1)=$$

$$=219\,510\ erg=2{,}2\cdot10^{-3}\,J$$

Lj. Ristovski

Za tačno rešenje nagradnog zadatka broj 10 žrebom je odlučeno da se nagrade sledeći učenici:

1. Petrović Ivanka, OŠ »A. Cesarec«, Bukovica
2. Perković Marica, OŠ »29 novembar«, Novi Šeher
3. Ostojić Vladimir, OŠ »O. Župančić«, Zemun
4. Simić Slobodan, OŠ »A. Mrazović«, Sombor
5. Malešević Stojan, OŠ »Bratstvo i jedinstvo«, Uljanik
6. Karović Dragana, OŠ »Karađorđe«, Topola
7. Jurić Jadranko, OŠ »R. Marijanac«, Đurđevak
8. Babić Duško, OŠ »Sava Kovačević« Beograd
9. Šurca Irena, OŠ »Janez Mrak«, Vrhnika
10. Simić Nataša, OŠ »S. Sinđelić«, Velikki Popović

Za tačno rešenje nagradnog zadatka broj 11 nagrađuje se

1. Petković Igor, OŠ »K. Stamenković«, Leskovac

Napomena: Stigla su tri identična, do u reč, rešenja od tri učenika iz iste škole. Smatrajući da dva od tih rešenja nisu rezultat samostalnog rada, komisija je žrebom odlučila da nagradi samo jednog učenika.

PROMENA UNUTRAŠNJE ENERGIJE

M. ĐBRALOVIĆ (Titovo Užice)

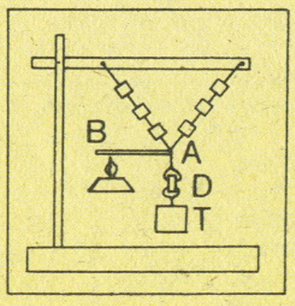
(JEDNOSTAVNI OGLEDI, PITANJA I ZADACI)

1. Ogled

Pribor: špiritusna lampa /ili sveća/, dve žice jednakih dužina i jednakih poprečnih preseka a od različitih supstancija, šest ili više navrtki /ili perli/, drvena letvica, parafin.

Postupak:

Pričvrstiti žice za letvicu, provući ih kroz navrtke /isti broj navrtki na jednoj i na drugoj žici/. Žice spojiti u jednoj tački /na slici: tačka A/, tako da ostane deo svake žice /na slici: deo AB/. Preostali deo jedne žice obaviti /uvrtanjem/ oko preostalog dela druge žice. Navrtke rasporediti tako da su njihova rastojanja na prvoj žici jednaka odgovarajućim rastojanjima na drugoj. Navrtke pričvrstiti za žice tako što se kane po jedna kap parafina. Pričvrstiti letvicu za stalak /ili je držati u ruci/. Zategnuti žice vešanjem tega T, pomoću žice, o tačku A. Kao toplotni izolator može da posluži dugme D.



Pitanja:

a/ Da li se mogu pomeriti navrtke samo na račun unutrašnje energije žica? Probajte to. zagrevanjem dela AB.

b/ Objasniti prenošenje unutrašnje energije kroz jednu žicu.

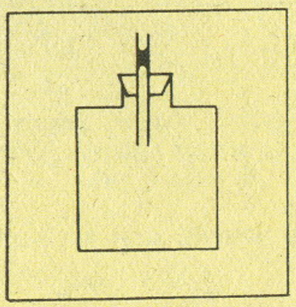
c/ Zašto su postavljene žice od različitih supstancija? Šta si primećuje pri vršenju ogleda?

d/ Da li se povećava unutrašnja energija tega T?

2. Ogled:

Pribor: staklena bočica, zapušač od plute, providna cevčica /od uloška hemijske olovke ili cevčica za voćni sok/, mastilo i stona lampa.

Postupak: Probušiti zapušač, pa kroz njega postaviti cevčicu. U nju nasuti malo mastila /u deo gde je zapušač/. Zapušačem zatvoriti bocu i zagrevati je pomoću sijalice stone lampe. Zagrevati prvo sa strane, pa onda odozdo. Ubaciti, zatim, u bočicu neko tamno telo /pesak, ugalj, vunenu tkaninu/, pa ponovo zagrevati.



Pitanja:

a/ Objasniti način prenošenja unutrašnje energije sa sijalice na vazduh u bočici.

b/ Zašto se brže poveća unutrašnja energija vazduha zagrevanjem odozdo?

c/ Zašto se mastilo u cevčici brže kreće ako se u bočicu ubaci tamno telo?

3. ogled /sa istim priborom kao za ogled 2/:

Postupak: Obeležiti položaj mastila pre zagrevanja. Zatvoriti prstom cevčicu, pa vršiti njeno zagrevanje. Prekinuti zagrevanje i otvoriti cevčicu i obeležiti novi položaj mastila .

Pitanja:

a/ Zašto je vazduh u bočici izvršio rad time što je pomerio mastilo?

b/ Koliki je izvršeni rad ako je masa mastila $m=0{,}1$ g i ako zanemarimo silu trenja /između mastila i cevčice/.

c/ Ako energija E, predata vazduhu u bočici, iznosi 0,02J koliko je povećanje njegove unutrašnje energije posle izvršenja rada? /Odgovor: $E=E_2-E_1-A=0{,}02\text{J}-F\cdot s$.

ELEKTRIČNA PRAŽNJENJA U CEVIMA SA RAZREĐENIM GASOVIMA

(»Zanimljivi ogledi«, II deo)

TOMISLAV PETROVIĆ (Beograd)

Od prvog svetlosnog izvora, zapaljenog smolastog drveta — luča, do savremene električne sijalice i fluoroscentne lampe, čovek je morao da prevali dug i složen put. Izvori svetlosti, uostalom kao i cela tehnika, stolećima su usavršavani da bismo ih imali onakve kakve danas koristimo.

Podsetimo se da je električna sijalica napravljena u drugoj polovini 19. veka i da je predstavljala jedno od značajnih dostignuća nauke i tehnike. Poslednjih decenija fasade zgrada prekrivaju raznobojne svetleće cevi, a fluorescentne lampe, čija je svetlost najpribližnija prirodnoj dnevnoj svetlosti, sve više potiskuju obične električne sijalice sa vlaknom.

Pokazaćemo dobijanje tzv. »hladne svetlosti« i pojave pražnjenja u gasnim cevima. Pre nego što opišemo i izvedemo oglede, pokušaćemo da odgovorimo na neka pitanja.

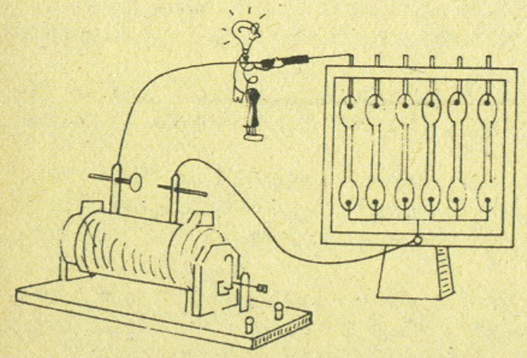
Kako i kada nastaje svetlost?

Iz iskustva znamo da svetlost daju usijana tela. Pri dovoljno visokoj temperaturi tela zrače (emituju) svetlost. Prvi svetlosni izvor čovek je sam stvorio onda kada je naučio da dobija vatru. Od sagorevanja buktinje drveta prešlo se na sagorevanje ulja, petroleja (lampe sa fitiljom), voska (voštane sveće), loja i drugog.

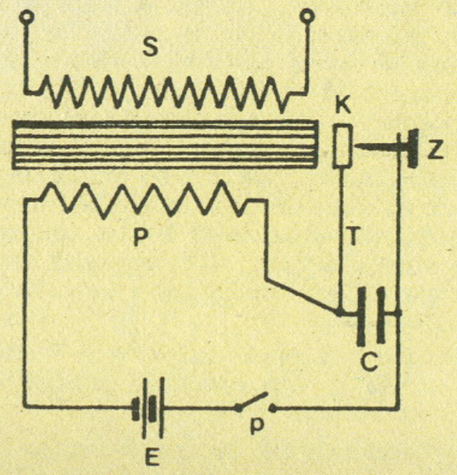
Buktinja daje svetlost procesom sagorevanja, tj. brzom oksidacijom, kada se razvija velika količina toplote. Leonardo da Vinči je još t 15. veku zapazio da se pri boljem sagorevanju dobija jača svetlost. Da bi poboljšao sagorevanje ulja koje se penje uz fitilj, došao je na ideju da iznad plamena postavi limenu cev i tako omogući veći priliv vazduha. Njegov izum u to vreme nije dobio širu primenu. Tek u drugoj polovini 18. veka neko se setio da limenu cev zameni staklenom i na taj način usavrši lampu kao svetlosni izvor.

Kod električne sijalice nema sagorevanja, ali čvrsto telo (volframova nit) postaje usijano usled razvijanja toplote pri proticanju struje.

Zagrevanje tela nije jedini način dobijanja svetlosti. Poznato je da neke ribe ispuštaju dosta jaku svetlost. U letnjim noćima mogu se videti u parku ili šumi svici koji povremeno ispuštaju lepu zelenu svetlost. Ako ovog insekta uhvatimo i držimo u ruci, videćemo da on uopšte nije topao, iako je svetlost koju daje dovoljno jaka. Takođe, rastvori nekih



Slika 1



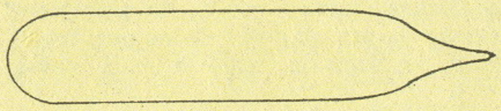
Slika 2

hemijskih supstanci svetle ne pokazujući nimalo povišenu temperaturu. Svetlost koja se dobija bez zagrevanja tela naziva se »hladnom svetlošću«.

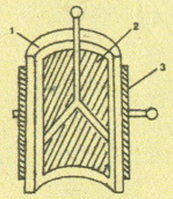
Ne upuštajući se strogo u objašnjenje mehanizama nastajanja svetlosti, možemo reći da je nastajanje svetlosti u vezi sa promenom energetskih stanja elektrona, jona, atoma ili molekula. Uzrok takvim promenama može biti temperatura, biohemijski proces, hemijski proces, jako električno polje.

Sredstvima kojima raspolažemo pokazaćemo dobijanje svetlosti pri električnom pražnjenju u razređenim gasovima i u tzv. fluorescentnim cevima.

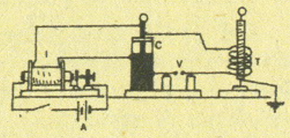
Gajsler-ove cevi. Na principu električnog pražnjenja u razređenim gasovima rade svetleće reklame. Svako slovo je ustvari jedna staklena cev sa dve elektrode »uronjene u razređeni gas (neon, helijum, vodonik, ugljendioksid i dr.).



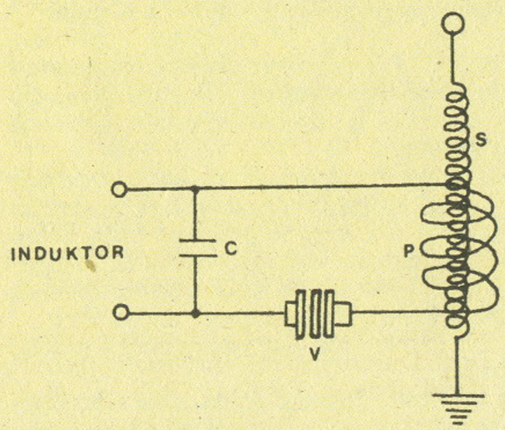
Slika 3



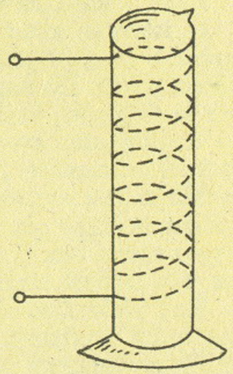
PRESEK LAJDENSKE BOCE
1–STAKLENI SUD(IZOLATOR)
2–METALNA OBLOGA
3–METALNA OBLOGA



Slika 5



Slika 4



Slika 6

Na sl. 1 pokazan je komplet od 6 cevi, napunjenih različitim gasovima, tako da svaka cev svetli drukčijom bojom. Komplet se vezuje za krajeve sekundarnog kalema Rumkorfovog induktora na način kako to slika pokazuje. Induktor, koji nam omogućava da elektrode cevi dobiju potreban visok napon, napaja se najčešće iz akumulatora ili ispravljača naponom od 12 V. Konstrukcija i princip rada induktora biće vam jasan, ako umete da »pročitate« principijelnu shemu (sl. 2).

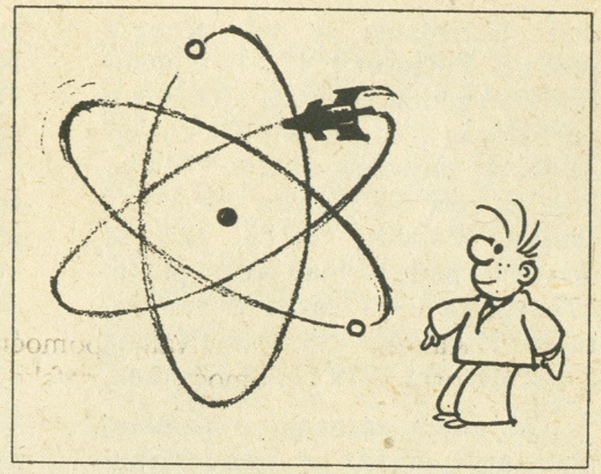
Naš naučnik Nikola Tesla je 1890. godine zadivio poznavaoce nauke i tehnike čitavog sveta, kada je pokazao da Gajsler-ove cevi mogu da svetle bez elektroda i direktne veze provodnikom sa izvorom visokog napona.

Na sl. 3 pokazana je Teslina cev ispunjena razređenim neonom. Kao što se vidi, ova cev nema elektrode, ali će ona ipak svetleti kada je približimo jednom kraju Teslinog transformatora, isto onako kao i neonska cev sa elektrodama pri napajanju iz Rumkorfovog induktora.

Da bismo razumeli zašto svetli Teslina cev, moraćemo upoznati rad Teslinog transformatora. Na sl. 4 pokazana je principijelna shema uređaja za proizvodnju visokofrek-

(Nastavak na trećoj korici)

FIZIKA DANAS



ŠTA SE DOGODILO U FIZICI TOKOM POSLEDNJE DECENIJE (IV)

MILAN S. DIMITRIJEVIĆ (Beograd)

Čovek se teško može oteti utisku nedostupnosti i nepromenljivosti posmatrajući noćno nebo posuto zvezdama. Ka nebu su tokom cele istorije čovečanstva bili upravljeni pogledi i sakupljeno znanje se polako uvećavalo. Gotovo neprimetno, u zadnjoj deceniji ušli smo u period prave eksplozije istraživanja i otkrića novih svetova, koji mnogi upoređuju sa vremenom kada su stanovnici Evrope krenuli na zapad, preko okeana, da bi upoznali celu Zemljinu kuglu. Ljudi su se iskrcali na Mesec, letovi kosmičkih brodova postali su osnovni metod istraživanja kako bliskih tako i dalekih tela Sunčevog sistema. Pred našim očima rađa se čitav novi kompleks nauka: fizika planetnih atmosfera, planetohemija, *k* i gama astronomija, infracrvena astronomija . . .

U zadnjem nastavku ovog pregleda pozabavićemo se nekim od najnovijih saznanja na polju astronomije, čiji je razvoj u protekloj deceniji bio tako buran da je teško odlučiti se šta da se prikaže na ograničenom prostoru. Pored nekih od najznačajnijih novosti iz našeg sunčevog sistema, pozabavićemo se novom vrstom nebeskih tela-pulsarima, za čije je otkriće astronom Antoni Hjuiš dobio nobelovu nagradu za fiziku 1974 godine. Na kraju ćemo videti šta je to mikrotalasno pozadinsko zračenje, čije je otkriće uvelo radio astronome Arnoa Penziasa i Roberta Vilsona u spisak nobelovaca 1978 godine.

Drug Avdo Đumrukčić je redovni profesor sarajevskog Elektrotehničkog fakulteta, sada u penziji. Još uvijek radi na Univerzitetu u Tuzli. Dugogodišnji je aktivista i predsednik, danas i sekretar Društva za širenje naučnih saznanja »Nikola Tesla« u SR Bosni i Hercegovini. Kao glavni inspektor za energetiku u svojoj republici imao je prilike da se u više navrata uveri u tvrdnju da je neznanje ipak — najskuplje. Zato i kaže:

»Znanje je veoma skupo i danas ga drugom veoma skupo plaćamo!« — aludirajući na nepovoljne uslove pod kojima uvozimo licence i patente.

Novo o starim planetama

U poslednjoj deceniji, poznavanje naše »najbliže okoline« — Sunčevog sistema, znatno se uvećalo. Čovek se iskrcao na Mesec a američki kosmički brodovi iz serije Mariner i Viking i sovjetski tipa Venera i Mars posetili su Merkur, Veneru i Mars. Danas najspektakularnije rezultate donose istraživanja dalekih oblasti Sunčevog sistema u kojima se sada nalaze komički brodovi Pionir 10, Pionir 11, Vojadžer 1 i Vojadžer 2. Prolaz svakog od njih pored Jupitera, kao i prolaz Pionira 11 pored Saturna predstavljao je čitavu malu revoluciju u nauci. Na primer prema rečima Džona Volfa, jednog od rukovodilaca grupe naučnika koji prate kretanje Pionira 11, njegov nedavni prolaz pored Saturna hiljadostruko je uvećao naše znanje o ovoj pla-

neti. Uzbuđenja se tek očekuju pošto će Vojadžer 1, 12 i 13 septembra 1980 godine proći na 130000 km od Saturna i na svega 4100 km od njegovog najvećeg satelita Titana, koji je veći od planeta Merkur i Pluton. Vojadžer 2 će, ako se njegov let bude odvijao prema planu, 27 avgusta 1981 proći pored Saturna, 31 januara 1986 pored Urana a 4 septembra 1989 pored Neptuna.

Od novih saznanja o dalekim planetama možda je najspektakukularnije otkriće prstenova oko Jupitera i Urana. Prstenovi oko Urana otkriveni su 10 marta 1977 kada je Uran pomračio jednu, golim okom nevidiljivu zvezdu. Otkriveno je 5 prstenova, koji su uzani u odnosu na Saturnove, slabog su sjaja i ne mogu se videti sa Zemlje pomoću teleskopa. Vojadžeri su otkrili prsten oko Jupitera koji je tako postao treća planeta sa prstenom. Prsten se nalazi na rastojanju od 128000 km od centra planete i debeo je oko 30 km a širok 8700 km. Izgleda da se sastoji od kamenih i ledenih komada veličine od nekoliko desetina do nekoliko stotina metara. Ovi komadi obiđu Jupiter za sedam časova. Delovi koji čine Saturnov prsten su mnogo manji i zato dobro odbijaju Sunčevu svetlost pa se prsten lepo vidi sa Zemlje. Jupiterov prsten se sastoji od većih delova i ne odbija toliko mnogo svetlosti prema Zemlji. On bi se pokazao u svoj svojoj raskoši kada bi se posmatranje vršilo iz dalekih spoljašnjih delova sunčevog sistema izvan Jupiterove orbite.

Pored prstena, Jupiter je danas bogatiji i za dva satelita tako da je njihov broj narastao na 14. Broj satelita u sunčevom sistemu uvećan je i otkrićem Plutonovog satelita. Njega je 22 jula 1978 godine otkrio Dž. Kristi. Satelit se nalazi na rastojanju od 17500 km od planete i smatra se da njegov poluprečnik iznosi 470—650 km. Ovo otkriće je omogućilo da se tačnije odredi veličina Plutona što je dovelo do potpuno neočekivanog rezultata. Poluprečnik planete procenjen je na 1500 km što je više nego dva puta manje od do sada prihvaćene procene. Prema tome, Pluton je najmanja planeta Sunčevog sistema, koja sa svojim satelitom čini dvojni sistem kompaktniji od sistema Zemlja-Mesec.

Pulsari

Naša shvatanja o kosmosu izvan granica Sunčevog sistema takođe su izmenjena u protekloj deceniji. Nebo je čovek vekovima gledao nepromenjeno, izuzev retkih događaja kao što su eksplozija nove ili supernove. Danas, kada se nebo posmatra pomoću radioteleskopa, infracrvenih ili rendgenskih prijemnika, ono pruža sliku koja se stalno menja, čak i u takvim delovima vremena kao što su milisekunde. Jedna nova vrsta nebeskih tela, čiji se intenzitet emisije na radio talasima menja sa periodom koji je često mnogo manji od jedne sekunde su pulsari.

Prvi pulsar je 28 novembra 1967 otkrio radio astronom iz Kembridža Antoni Hjuiš, a danas ih je već poznato više od stotine. Prema današnjem shvatanju, to su neutronske zvezde, u kojima je materija sabijena do takvih gustina, da je rastojanje između atoma jednako rastojanju između atomskih jezgara. Zato su atomi razbijeni i unutar takve zvezde nalazi se samo neutronska »kaša«. Neutronsku zvezdu

bi dobili kada bi Sunce sabili u kuglu prečnika 15—30 km. Kubni milimetar materije neutronske zvezde teži sto miliona tona a oubrzanje sile teže na njenoj površini je sto milijardi puta veće od Zemljinog. Površina pulsara je idealno ravna jer pri takvoj sili teže ni najveće »planine« ne mogu biti veće od nekoliko milimetara. Gravitaciono privlačenje neutronske zvezde je tako jako da telo koje pada na nju treba da pretvori u energiju i do 50 procenata svoje mase mirovanja. Pad prosečnog čitaoca na neutronsku zvezdu bio bi ravan eksploziji 200 vodoničnih bombi.

Neutronske zvezde su jedna od mogućih završnih faza u zvezdanoj evoluciji. Zvezde čija je masa manja od 1.2 mase Sunca, na kraju evolucije postaju beli patuljci koji zatim prelaze u crvene patuljke. Ako zvezda ima masu 1.2—1.6 masa Sunca postaće neutronska zvezda. Prilikom sažimanja ona će sačuvati svoj momenat okretanja, tako da će joj se period okretanja smanjiti na svega sekundu ili manje. Ako na njoj postoji izvor zračenja, nama se čini da ono pulsira sa periodom reda sekunde. Zvezde čija je masa veća od 1.6 Sunčevih masa sažmu se do takvih gustina da jačina gravitacije ne dozvoljava ni svetlosti da ih napusti. One postaju crne rupe.

Pozadinsko zračenje

Jedno od velikih astronomskih otkrića je otkriće mikrotalasnog pozadinskog zračenja Vasione, koje odgovara zračenju idealno crnog tela na temperaturi od 3 stepena iznad apsolutne nule. Na ovaj način određena je »temperatura svemira« i pružen posmatrački dokaz teoriji prema kojoj je celokupna materija u svemiru bila pre 15 milijardi godina zgusnuta na malom prostoru, ne većem od našeg Sunčevog sistema, Svemir se rodio u velikoj eksploziji »vatrene kugle« prvobitne materije i od tada se stalno širi.

Smatra se da je otkriveno pozadinsko zračenje »eho velikog praska«, odnosno zaostalo zračenje prvobitne »vatrene kugle«, koje se tokom vremena »ohladilo«, pošto se u toku širenja svemira broj fotona po jedinici zapremine smanjivao, a fotoni su gubili energiju. Sem toga pozadinsko zračenje određuje jedan koordinatni sistem u kome je ono isto u svim pravcima (izotropno). U odnosu na takav »apsolutni« koordinatni sistem naša galaksija, a samim tim i Zemlja, kreće se brzinom od 216000 km na čas prema sazvežđu Lava.

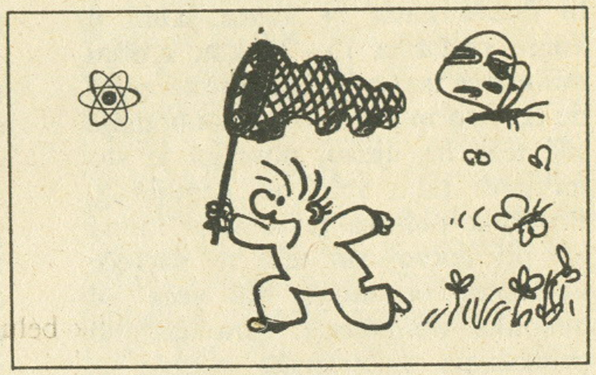
U protekloj deceniji čovek se odvojio od Zemlje i zakoračio u kosmos. Na tome putu fizika je odigrala jednu od odlučujućih uloga. Ona je podsticala dalji napredak a napredak je podsticao nju. Često je rešenje jednog problema zasnivalo novu nauku sa nizom otvorenih pitanja koja su čekala nove pionire ljudskog duha.

Pauli, koji se ubraja među najveće teorijske fizičare i čije je delo grandiozan doprinos savremenoj teorijskoj fizici, izjavio je 1925. godine: »Fizika se opet našla u slepoj ulici; u svakom slučaju ona je za mene preteška, i ja bih više voleo biti filmski komičar, ili nešto slično, i ništa ne slušati o fizici.«

Govorio je o kvantnoj fizici, ne slutećí koliki će biti njegov doprinos razvoju te fizike.

Lj. R.

FIZIKA I...



KAKO VIDIMO BOJE ?

DRAGANA POPOVIĆ (Beograd)

Od čega zavisi boja nekog tela ili tkanine? Od njegove prirode? Neka tela koja su bela pri dnevnoj svetlosti postaju obojena kada se osvetle nekim veštačkim izvorom svetlosti — kako? Najzad, zar vam se ne čini da boja tela »zavisi« i od posmatrača — neke osobe razlikuju i najsuptilnije nijanse, dok druge vide svet pretežno u crno-beloj kombinaciji.

Teoriju zapažanja boja postavili su još Jung i Helmholc u prošlom veku. Oni su pretpostavili da na mrežnjači postoje tri vrste organa, od kojih je svaki osetljiv na jednu od osnovnih boja: crvenu, zelenu i plavu. Kako je kasnije potvrđeno, u oku zaista postoje specijalizovane ćelije osetljive na svetlost; to su tzv. čepići i štapići, koji ustvari predstavljaju završetke nervnih vlakana u koje se grana očni živac. Pri tome su štapići osetljivi samo na svetlosni nadražaj, dok čepići mogu da razlikuju i svetlost određene talasne dužine, odnosno boje. Boja, preciznije rečeno osećaj boje, zavisi od više faktora: prirode tela, prirode svetlosnog izvora koji osvetljava dato telo u određenih fizioloških karakteristika našeg oka.

Kada svetlost padne na neko telo, ona se delom apsorbuje, a delom reflektuje (odbija) — tela koja apsorbuju svu svetlost izgledaju nam crna, dok tela koja reflektuju sve talasne dužine iz spektra u podjednakom stepenu izgledaju bela. »Crno« ustvari predstavlja odsustvo svetlosnog nadražaja u oku, »belo« nadražaj svetlosti u celini, bez izdvajanja pojedinih boja. Međutim, tela najčešće pokazuju osobinu *selektivne refleksije*, odnosno odbijaju sa svoje površine samo zrake određene talasne dužine, dok ostale apsorbuju. Do našeg oka stiže samo svetlost one talasne dužine (boje) koju telo odbija, pa nam tako telo koje odbija crvenu svetlost izaziva u oku osećaj »crvenog«, telo koje odbija zelenu svetlost izaziva osećaj »zelenog« itd. Ipak, najveći broj tela apsorbuje i odbija svetlost u čitavom opsegu talasnih dužina, u različitom stepenu u odnosu na pojedine talasne dužine, pa tako »vidimo« najrazličitije nijanse i kombinacije osnovnih boja spektra (osnovne boje spektra su, kako ih je još Njutn razvrstao: crvena, narandžasta, žuta, zelena, svetlo plava, tamno plava i ljubičasta).

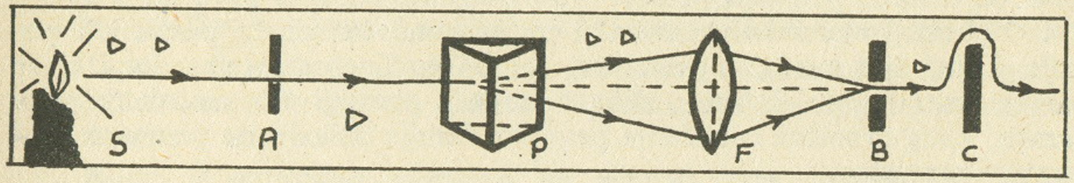
Providna tela, kao što su staklo, vazduh i voda, propuštaju sve talasne dužine spektra u istom stepenu i ne izazivaju osećaj boje. Međutim, ako obojimo staklo, ono će propuštati samo svetlost one boje kojom je obojeno, dok će sve druge boje spektra apsorbovati.

Ako telo osvetlimo svetlošću sa nekog izvora svetlosti čiji se spektar razlikuje od spektra sunčeve svetlosti, ono može i da »promeni« boju. Ustvari,

ono što se tom prilikom menja je osećaj boje. Na pr. telo koje je na dnevnom svetlu bilo plavo (znači odbijalo samo plavu svetlost) izgledaće crno ako se osvetli svetlošću bilo koje druge talasne dužine, jer apsorbuje sve boje spektra sem plave; nasuprot tome, belo telo (koje propušta i reflektuje sve boje sup-čevog spektra) će poprimiti boju one vetlosti kojom ga osvetljavamo, odnosno ako se osvetli plavom svetlošću biće plavo, ako se osvetli crvenom biće crveno itd.

Pored ovih fizičkih parametara, osećaj boje zavisi i od jačine nadražaja i tzv. spektralne osetljivosti oka na boje. Ako je nadražaj za sve tri osnovne boje jednakog intenziteta, oko »vidi« belu boju; ako je nadražaj za crveno intenzivniji, predmet »vidimo« u nekoj od nijansi ove boje. Takođe, oko nije podjednako osetljivo na sve boje spektra. Osetljivost je maksimalna za svetlost talasne dužine oko 0,55 μm (što odgovara prelazu između žute i zelene boje tj. nekoj nijansi žutozelenog) i opada idući ka većim i manjim talasnim dužinama u spektru (odnosno, ka crvenoj, na jednom i ljubičastoj boji, na drugom kraju spektra).

Neosetljivost pojedinih osoba na boje objašnjava se nedostatkom specifičnih ćelija za neku od tri osnovne boje spektra. Ljudi najčešće »ne vide« crvenu boju. Pojava neosetljivosti na neku od boja naziva se *daltonizam*, po engleskom hemičaru Daltonu, kod koga je ovaj nedostatak prvi put naučno ispitan. Zanimljivo je da je daltonizam mnogo češći kod muškaraca nego kod žena; kod žena je i uopšte osećaj za boje i razlikovanje nijansi mnogo jače izražen.



MILANKOVIĆEVA TEORIJA KLIMATSKIH PROMENA

M. POPOVIĆ (Beograd)

Milutin Milanković spada među naše najveće naučnike. Bavio se nebeskom mehanikom, klimatologijom, geofizikom i fizikom. Prošle godine proslavljena je kod nas i u celom svetu 100-godišnjica rođenja ovog velikog naučnika.

Geolozi su dugogodišnjim neumornim radom došli da zaključka da je u toku najmlađeg geološkog doba-kvartara (dakle u toku poslednjih 600 000 godina) došlo do velikih klimatskih promena na Zemlji. Smenjivala su se ledena i međuledena doba. Ona su ostavila duboke tragove na licu Zemlje. Za vreme ledenih doba, Severna Evropa, celo Skandinavsko poluostrvo, današnja Velika Britanija, delovi Nemačke i Rusije, pa i veliki deo Severne Amerike bili su pokriveni slojem snega i leda. Za vreme toplih perioda carstvo večitog snega se sužavalo, da bi posle hiljadugodišnje borbe bilo potisnuto na vrhove planina. Glečeri su se povlačili iz dolina u visine a na svojim pređašnjim krajevima ostavljali su navaljano kamenje i druge ostatke. Ove morene svedoče danas dokle se rasprostiralo carstvo leda. One govore takođe da su se

ta ledena doba ponovila u različitoj snazi i trajanju nekoliko puta u Evropi i Severnoj Americi, a ostaci čovečijeg oružja i ljudskih kostiju svedoče da je ljudski rod preživeo nekoliko ovakvih razdoblja hladnoće od kojih je svako trajalo više hiljada godina.

Ova otkrića geologa izazvala su pitanje: »Šta je bio uzrok tim velikim promenama klime?«

Neki astronomi došli su na misao da te promene klime objasne promenama karakteristika Zemljine putanje u njenom kretanju oko Sunca. Međutim, teorije bazirane na toj ideji nisu dale zadovoljavajuće objašnjenje.

Milankoviću se osnovna ideja učinila dobrom i odlučio se da na bazi te ideje izgradi savršeniju teoriju. Razmišljao je na ovaj način. Svojim zracima Sunce obasjava svoju porodicu, osunčava našu Zemlju i tako hrani i neguje njena organska bića. To osunčavanje pokorava se određenim zakonima. Služeći se njima može se izračunati količina toplote koju Sunčevi zraci donose našoj Zemlji i raspored te toplote po atmosferskom plaštu. Taj raspored menja se bez prestanka. Planete se okreću oko svojih osa, to prouzrokuje smenu dana i noći. Sem toga, one obilaze oko Sunca, što uslovljava godišnji tok toplote koju Sunce upućuje pojedinim delovima površine svake planete. Taj tok dolazi do jasnog izražaja u smeni godišnjih doba.

Tim pojavama, koje na našoj Zemlji posmatramo iz dana u dan i iz godine u godinu, nisu obuhvaćene sve posledice kretanja planeta, naročito ne naše Zemlje. Nebeska mehanika uči da zbog uzajamnog privlačenja između Zemlje i drugih planeta dolazi do vrlo male, ali u toku vekova primetne promene oblika i položaja putanje. Te postepene, vekovne promene nazivaju se u Nebeskoj mehanici sekularnim promenama elemenata planetskih putanja. Usled njih menja se postepeno nagib Zemljine ose prema ravni njene putanje, menjaju se dužine godišnjih doba i godišnji tok osunčanja naše Zemlje. Zbog promene osunčanja površine Zemlje dolazi i do promene temperature atmosfere.

Da bi se objasnilo smenjivanje ledenih i međuledenih doba u dalekoj prošlosti treba naći zavisnost osunčavanja Zemljine površine od parametara Zemljine putanje, kao i vezu između osunčanja Zemlje i temperature njene površine i atmosfere.

Na ovakav način Milutin Milanković je formulisao, na početku svoje profesorske i naučne karijere, problem na čijem će rešavanju raditi u toku celoga svog radnog veka.

Odmah posle Prvog svetskog rata Milanković je objavio, na francuskom jeziku, svoju prvu knjigu »Matematička teorija toplotnih pojava izazvanih Sunčevim zračenjem«. U tom delu Milanković je svojoj slici, koju smo upravo opisali, dao matematički oblik, odnosno izrazio je u obliku matematičkih jednačina. Dao je i numeričko rešenje tih jednačina za 130 hiljada godina unazad. U obrascima koji matematičkim jezikom opisuju kako se toplotni zraci raspoređuju po Zemljinom atmosferskom plaštu, kako se taj raspored menja u toku vremena izazivajući promene temperature u atmosferi i na zemljinoj površini, pojavljuju se tri astronomska elementa, ekscentricitet Zemljine eliptične putanje, nagib Zemljine ose i odstojanje perihela od prolećne tačke.

Za smenu ledenih doba bitne su ove tri promene elemenata Zemljinog kretanja:

1) Promena nagiba Zemljine ose u odnosu na ravan kretanja. Danas osa Zemljine rotacije čini ugao od 23° sa ravni putanje. Ali, ta vrednost se menja sa periodom od 41 000 godina između dve vrednosti. Na taj način Zemlja osciluje polako između položaja u kome je Severna hemisfera izložena više Sunčevim zracima i jednog drugog položaja u kome je ona mnogo manje izložena Sunčevim zracima.

2) Promene povezane sa precesionim kretanjem Zemljine ose (kretanje slično kretanju čigre). To kretanje ima dva perioda, jedan od 19000 godina i jedan od 23000 godina.

3) Promene parametara elipse po kojoj se Zemlja kreće. U toku od 95000 godina Zemljina putanja promeni oblik od jedne skoro kružne putanje do elipse čiji je ekscentricitet 1/297.

Ovu prvobitnu verziju svoje teorije Milanković je godinama usavršavao i doterivao. Osnovna ideja je sačuvana. Samo su unošene popravke koje su uticale na preciznost rezultata.

Već 1922 godine pojavio se među klimatolozima i geofizičarima interes za Milankovićevu teoriju. Nemački klimatolog svetskog glasa Kepen, poredeći krive promene klime, koje su dobili geolozi, sa Milankovićevim teorijskim krivama, je utvrdio nesumnjivo slaganje i zaključio da to saganje ne može biti slučajnost već da pokazuje da je astronomsko objašnjenje smene ledenih doba dobro. Zamolio je Milankovića da svoj računa sprovede za 600 000 godina unazad, što je Milanković i učinio. Ti Milankovićevi rezultati su već 1924 godine objavljeni u delu Kepena i Vegenera »Klimati Zemljine prošlosti«, a kasnije su široko korišćeni i citirani u naučnoj literaturi.

U toku sledećih dvadeset godina geofizičari i klimatolozi su iz godine u godinu studiranjem morena glečera i rečnih terasa prikupljali nove dokaze Milankovićeve teorije.

Kada je pouzdano utvrđeno da postoji veza između izračunatih promena temperature Zemljine površine, koje nastaju kao posledica astronomskih promena elemenata Zemljine putanje, i krivih na kojima je prikazana smena ledenih doba, zaključeno je da se vremenski intervali između minimuma na Milankovićevim krivama mogu izjednačiti sa odgovarajućim vremenskim intervalima na krivama geofizičara.

Tako je Milankovićeva teorija poslužila kao osnov za formiranje kalendara za geologiju i praistoriju. Do tada geologiji i praistoriji nije pošlo za rukom da događaje o kojima govore vežu sa apsolutnu vremensku skalu, već su samo uspele da, koliko-toliko, odrede red i uzastopnost tih događaja, da ih, u neku ruku, numerišu, zadovoljavajući se pri ocenjivanju vremenskih razmaka nesigurnim nagađanjima.

Sa usavršavanjem mernih metoda pojavile su se tačnije i preciznije metode za praćenje temperature u prošlosti. Tako je zadnjih godina Milanankovićeva teorija dobila nove potvrde pomoću metoda razvijenih zahvaljujući razvoju nuklearne fizike. Na osnovu sedimenata praistorijskih životinja u stenama Kergelanskih ostrva u Indijskom okeanu određena je temperatura mora u toku zadnjih 450 000 godina. Dobijeni rezultati u savršenoj su saglasnosti sa rezultatima našeg velikog naučnika.

MEDUNARODNI SISTEM MERNIH JEDINICA

DRAGANA POPOVIĆ (Beograd)

Još od davnina se javila potreba da se za određene fizičke veličine, s kojima se čovek svakodnevno susretao (kao što su dužina, masa odnosno težina i vreme) nađu pogodan način merenja i jedinice koje će date veličine brojno izraziti. Stare civilizacije razvile su različite sisteme mera i mernih jedinica, svaka za sebe, ali ne i potpuno bez uticaja jedna na drugu. Egipćani su merili dužinu malim laktom (0,45 m) i velikim laktom (0,52 m), masu tenom (oko 0,9 kg), a vreme časovima i danima; u Vavilonu su se upotrebljavale najrazličitije mere: za dužinu parasang (5822 m) lakat (540 m), stopa (0,324 m) i palac (0,027 m), za masu teški talant (oko 580 kg), laki talant (oko 290 kg), mina (oko 10 kg) i cikla (0,160 kg) i za vreme minut, čas, dan, mesec i godina. Međutim, razmena informacija i saznanja stalno je ukazivala na problem kako datu fizičku veličinu i njenu jedinicu jednostavno i precizno definisati, a sve to izraziti pomoću jednog jedinstvenog sistema jedinica.

»Metrički« sistem koji koristi naša civilizacija začet je 1791 godine, kada je Francuska akademija nauka usvojila metar za jedinicu dužine i definisala ga kao jedan četrdesetomilioniti deo zemljinog meridijana koji prolazi kroz Pariz. Od tog vremena rad na jednom opštem prihvatljivom mernom sistemu dobija sistematski karakter. Brojne komisije i komiteti pri Akademijama nauka predlažu različite varijante mernog sistema koji se uglavnom zasniva na tri osnovne fizičke veličine, sa kojima su se susreli još naši preci — dužini, masi i vremenu. Tako nastaju CGS sistem (cm,gr,sec) MKS sistem (m,kg,sec), tehnički siem (u kome umesto mase figuriše sila kao osnovna veličina) itd. Međutim, pojedini narodi se teško rastaju od svojih tradicionalnih mera, pa se srećemo sa raznim stopama, aršinima, jutrima, pudima, morskim i kopnenim miljama, jardima, funtama, galonima itd. U svoj toj zbrci i obilju mernih jedinica, italijanski fizičar Giorgi (Đorđi)) predlaže 1901 godine merni sistem zasnovan na metru, kilogramu, sekundi i jednoj električnoj jedinici, za koju se tek 1950 g. konačno uzima jedinica jačine električne struje — amper. Tako nastaje MKSA sistem. Ovaj sistem se vremenom proširuje, pojedine jedinice se preciznije definišu i najzad, 1960 godine u Parizu, na XI generalnoj konferenciji o merama i tegovima, usvaja se *Međunarodni sistem mernih jedinica* (Système International d'Unités, skraćeno SI). Uz izvesne izmene i dopune, Međunarodni sistem mernih jedinica je u konačnom obliku ustanovljen 1971 godine.

Međunarodni sistem jedinica (SI) usvojen je kao jedinstveni merni sistem za sve oblasti nauke, tehnike, proizvodnje i trgovine — to je rezultat dugogodišnjih napora da se precizno i jasno definišu fizičke veličine i jedinice i stvori jedan sveobuhvatni merni sistem.

* * *

Međunarooni sistem jedinica sastoji se od **osnovnih** i **izvedenih mernih jedinica.** U Tabeli I prikazano je sedam osnovnih fizičkih veličina i jedinica na kojima se zasniva SI. Pri tome su osnovne jedinice SI definisane pomoću standarda koji se smatraju konstantnim i veoma preciznim.

TABELA I — Osnovne merne SI jedinice

Fizička veličina		SI jedinica	
naziv	simbol	naziv	simbol
dužina	l	metar	m
masa	m	kilogram	kg
vreme	t	sekunda	s
jačina električne struje	I	amper	A
termodinamička temperatura	T	kelvin	K
intenzitet svetlosti	I_v	kandela	cd
količina supstancije	n	mol	mol

Sve ostale jedinice SI mogu se izvesti iz osnovnih jedinica pomoću prostih algebarskih operacija (množenja i deljenja), koje povezuju date fizičke veličine. Na primer, fizička veličina gustina se definiše kao masa po jedinici zapremine $\rho = m/V$, pa će jedinica gustine predstavljati količnik jedinice mase i jedinice zapremine, odnosno kg/m^3. Pri tome, u SI postoji za svaku fizičku veličinu samo jedna jedinstvena merna jedinica, bez obzira da li je je u pitanju osnovna ili izvedena jedinica. Neke od izvedenih jedinica imaju i poseban naziv: njutn za silu, paskal za pritisak, džul za rad, om za električni otpor itd.

U Tabeli II prikazan je izvestan broj izvedenih jedinica SI koje se najčešće sreću u fizici i prirodnim naukama.

TABELA II — Izvedene SI jedinice

Fizička veličina	Jedinica SI	Oznaka	Izražena preko osnovnih SI jedinica
površina S	kvadratni metar	m^2	—
zapremina V	kubni metar	m^3	—
gustina $\rho = m/V$	kilogram po metru kubnom	kg/m^3	—
frekvencija $\nu = 1/T$	herc	Hz	s^{-1}
sila $F = ma$	njutn	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
pritisak $p = F/S$	paskal	Pa	N/m^2
dinamička viskoznost η	paskal sekunda	$Pa \cdot s$	$(N \cdot s)/m^2$
rad A, energija E i količina toplote Q	džul	J	$N \cdot m$
snaga $P = A/t$	vat	W	J/s
toplotni kapacitet K i entropija S	džul po kelvinu	J/K	—
specifična toplota c_t	džul po kilogramu i kelvinu	$J/kg \cdot K$	—
gustina elek. struje $j = I/S$	amper po metru kvadratnom	A/m^2	—
napon U, potencijal V i elektromotorna sila E	volt	V	$W \cdot A^{-1}$
količina elektriciteta q	kulon	C	$A \cdot s$
jačina elek. polja E	volt po metru	V/m	N/C
elek. otpor $R = U/I$	om	Ω	VA^{-1}
elek. provodnost $G = 1/R$	simens	S	AV^{-1}
elek.kapacitativnost C	farad	F	$A \cdot s \cdot V^{-1}$
magnetski fluks Φ	veber	Wb	$V \cdot s$
induktivnost $L = \Delta\Phi/I$	henri	H	$Wb \cdot A^{-1}$
magnetna indukcija $B = \Phi/S$	tesla	T	Wb/m^2
jačina magn. polja H	amper po metru	A/m	—
magn. permeabilnost μ	henri po metru	H/m	—
svetlosni fluks Φ_s	lumen	lm	$cd \cdot s \cdot r$
aktivnost radioaktivnog izotopa $D = dN/dt$	bekerel	B_q	s^{-1}
jačina zračenja $I = E/ST$	vat po metru kv.	W/m^2	$J/(s \cdot m^2)$

Pri pisanju i upotrebi mernih jedinica postoje i određena pravila kojih se treba pridržavati:

— oznake jedinica pišu se malim slovima latinice, sem ukoliko su izvedene od vlastitih imena (na pr. N — njutn, J-džul),

— iza oznake jedinice ne stavlja se tačka,

— oznake jedinica ostaju nepromenjene u množini,

— proizvod dvaju ili više jedinica označava se tačkom ili razmakom između jedinica (na pr. N · m ili N m).

* * *

Često izmerenu fizičku veličinu nije pogodno izraziti pomoću odgovarajuće merne jedinice, jer je mnogo veća ili mnogo manja od te jedinice. Tada se koriste specijalne oznake za manje ili veće jedinice od osnovnih jedinica SI tzv. **prefiksi SI.** U Tabeli III navedeni su prefiksi SI.

Simboli prefiksa pišu se štampanim slovima latinice, osim oznake za mikro. Simbol prefiksa piše se bez razmaka sa oznakom merne jedinice (na pr. ns = 10^{-9} s). Za obrazovanje decimalnih mernih jedinica može da se upotrebi samo jedan prefiks (na pr. nm, a ne mμm).

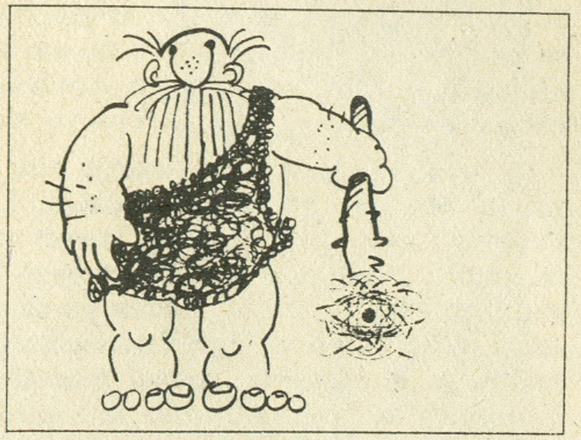
* * *

Vidimo dakle da SI jasno i strogo definiše po jednu mernu jedinicu za svaku fizičku veličinu, zbog čega moramo da postepeno izbacimo iz upotrebe neke jedinice koje su inače bile u širokoj primeni, kao na pr. angstrem i mikron za **dužinu,** din, pond i kilopond za **silu,** mmHg, fizička i tehnička atmosfera za **pritisak,** kalorija i erg za **energiju,** konjska snaga za **snagu,** poaz za **viskoznost,** kiri za **radioaktivnost,** rendgen za **dozu jonizujućeg zračenja** itd. Međutim, postoje neke vansistemske jedinice koje se mogu koristiti uporedo sa jedinicama SI. To su: ar i hektar za **površinu,** litar za **zapreminu,** tona i atomska jedinica mase za **masu,** minut, čas, dan, nedelja, mesec i godina za **vreme,** bar za **pritisak,** elektronvolt za **energiju,** voltamper za **snagu** i stepen celzijusa za **temperaturu.**

TABELA III — Prefiksi SI

Prefiks	Oznaka prefiksa ispred jedinice	Vrednost prefiksa tj. faktor kojim se množi jedinica
eksa	E	1 000 000 000 000 000 000 = 10^{18}
peta	P	1 000 000 000 000 000 = 10^{15}
tera	T	1 000 000 000 000 = 10^{12}
giga	G	1 000 000 000 = 10^{9}
mega	M	1 000 000 = 10^{6}
kilo	k	1 000 = 10^{3}
hekto	h	100 = 10^{2}
deka	da	10 = 10^{1}
deci	d	0.1 = 10^{-1}
centi	c	0.01 = 10^{-2}
mili	m	0,001 = 10^{-3}
mikro	μ	0.000 001 = 10^{-6}
nano	n	0.000 000 001 = 10^{-9}
piko	p	0.000 000 000 001 = 10^{-12}
femto	f	0.000 000 000 000 001 = 10^{-15}
ato	a	0.000 000 000 000 000 001 = 10^{-18}

IZ ISTORIJE



O RAZVOJU NAUČNOG METODA

(TEORIJSKI STADIJUM)

M. POPOVIĆ (Beograd)

Eksperimentisanje nije značajno samo zbog toga što daje niz saznanja i podataka već i zbog toga što je omogućilo pojavu trećeg stadijuma u razvoju metoda istraživanja, pojavu stadijuma stvaranja teorije.

Tvorcem teorijskog stadijuma u razvoju naučnog metoda smatra še Njutn, koji je živeo u XVII veku. Njutn je rođen iste godine kada je umro Galilej. U stvari, baš zahvaljujući tome što je Njutn nastavio Galilejevo delo, u smislu razvijanja teorije, Galilej se smatra ocem moderne fizike.

Teorijski stadijum se razlikuje od eksperimentalnog zato što koristi matematiku kao neophodno sredstvo i zato što sadrži elemente spekulacije. Spekulativnost teorijskog stadijuma znači da se pri gradnji teorije koriste ili uvode pretpostavke koje se na početku ne mogu dokazati i opravdati. Fizika je jedina nauka u kojoj je primenom matematike otvaren izuzetan uspeh. Baš zahvaljujući tome, možda, fizika se razvila brže nego druge nauke.

Podsticaji koji su doveli od teorijskog stadijuma lako se uočavaju. U etapi eksperimentisanja otkriveno je mnogo činjenica, nađena je međusobna zavisnost niza fizičkih veličina, dobijeni su empirijski zakoni. Ali relacije obelodanjene u eksperimentu su one koje su najočiglednije i sasvim je razumljivo što su naučnici odmah predpostavili da moraju postojati i neke skrivene relacije. Ako bi se otkrile te dodatne zavisnosti fizičkih veličina, očekivalo se da bi se moglo povezati više činjenica nego što je to moguće na osnovu eksperimenta. Na taj način poboljšalo bi se i povećalo razumevanje prirodnih pojava. Da bi se dakle išlo dalje od eksperimentalnog stadijuma bilo je neophodno da se uvedu pretpostavke više ili manje misaone, odnosno spekulativne prirode. U najvećem broju slučajeva te pretpostavke su isuviše složene da bi se mogle izvesti običnim razmišljanjem. Zato je bilo neophodno koristiti nešto suptilnije metode razmišljanja. Taj metod razmišljanja je nađen u matematičkom oruđu. Tako je dostignut treći stadijum u naučnom metodu.

Zahvaljući matematici otkriven je niz neočekivanih relacija i dobiveni su novi zakoni. Ti matematički zakoni se ne zovu više »empirijski« odnosno »iskustveni« zato što se način izvođenja tih zakona potpuno razlikuje od načina kojim su dobijeni zakoni u stadijumu eksperimentisanja.

Njutnov zakon o privlačenju tela je najlepši i najpoznatiji primer zakona dobijenog uz pomoć matematike. U Njutnovo vreme bili su poznati tzv. Keplerovi zakoni. Ovi zakoni govore o kretanju planeta oko Sunca. Posmatranjem kretanja planeta i merenjem vremena obilaska oko Sunca nađeno je da se planete kreću oko Sunca po elipsastim putanjama. Takođe je nađena relacija između vremena obilaska planeta i njihovog udaljenja od Sunca. Ti zakoni su dobijeni na osnovu posmatranja i merenja. Međutim, samo te činjenice nisu bile dovoljne da se odgovori na pitanje zašto se planete kreću oko Sunca baš po takvim putanjama. Na to pitanje je odgovor dao Njutn u svojoj matematičkoj teoriji o kretanju planeta oko Sunca. Naime,, Njutn je pretpostavio da između Sunca i svake planete i između svake dve planete deluje ista ona sila koja deluje između Zemlje i bilo koga tela na Zemlji. Na osnovu eksperimenata se zna da je ta sila srazmerna masi tela koja se privlače a obrnuto srazmerna njihovom rastojanju. Uz pomoć te pretpostavke i jednačina kretanja Njutn je pokazao da se tada poznate planete moraju kretati oko Sunca po putanjama koje je opisao Kepler u svojim zakonima. Tako je Njutn pokazao da je pretpostavka o gravitacionom privlačenju planeta i Sunca ispravna.

Teorija ne samo što objašnjava već uočene i opisane pojave već se pomoću teorije mogu otkriti i predvideti nove pojave. Kada je reč o astronomiji i astrofizici pomoću teorije se mogu otkriti nova tela u vasioni.

Lep primer na tu temu je otkriće planete Neptun. Krajem XVIII veka otkrivena je planeta Uran pretraživanjem neba pomoću jednog velikog teleskopa. Odmah posle otkrića Urana astronomi su počeli detaljno merenje njene putanje. Uočeno je da se putanja Urana ne poklapa u potpunosti sa putanjom koja se izračunava na osnovu Njutnove teorije primenjene na Sunčev sistem, koji čine tada poznate planete. Odmah je pretpostavljeno da odstupanje kretanja planete Uran od izračunate putanje dolazi zbog uticaja neke planete koja je nepoznata astronomima i koja se nalazi u blizini Urana, Astronom Verie je izračunao položaj i veličinu planete, koja bi mogla izazvati izmereni poremećaj putanje Urana. I zaista, iste godine (1846) otkrivena je planeta na položaju koji je bio predviđen. Planeta je nazvana Pluton. Taj događaj je jedan astronom pozdravio rečima: »Verie je video novu zvezdu na vrhu svoga pera«.

Njutnov zakon gravitacije nije samo objasnio kretanje planeta oko Sunca. Pokazano je, na primer, da su plima i oseka takođe posledica gravitacionog privlačenja. Reč je o privlačenju Zemlje i Meseca. Njutnova teorija gravitacije savršeno pokazuje kako dobra naučna teorija povezuje veću oblast činjenica i podataka nego što bi bilo moguće samo na osnovu eksperimenta.

POZVAN JE...

AVDO DJUMRUKČIĆ

— Druže profesore, već duže vreme radite u društvenim organizacijama na popularisanju nauke i naučnih saznanja. Šta nam o tome možete reći?

● Znate, radi se na popularisanju nauke i naučnih saznanja, ima i rezultata, ali ne bi se moglo reći da su to oni pravi rezultati koje bismo svi želeli.

Naime, pored popularisanja naučnih saznanja i podizanja tehničke kulture naših naroda, mi želimo da da onom delu naše mladosti koji se motivira naukom i tehnikom damo uslove za rad, daljni razvoj, eksperimentisanje i drugo. Stručni kabineti u školama daju mladim ljudima ono što mogu, ali to nije dovoljno.

Poznato je da je najisplatnija investicija u mlade i sposobne stručne kadrove, kadrove za nauku, stvaralaštvo i istraživanja, što uslovljava napredak jedne zemlje i naroda. Od davnina je poznato da nauka i ljudska moć idu skupa.

Danas, u našim uslovima, radni vek jednog stručnog čoveka i naučnika je, po pravilu i nažalost, previše kratak da bi postigao i ostvario željeno. Negde je nešto propušteno. Po mome mišljenju, to je bilo u mladosti.

— Možda ne samo u mladosti već i u organizaciji odgoja mladog naučnog kadra . . . . . !?

● Svakako! Sva ova razmišljanja navode me da našoj mladosti, našim fizičarima, matematičarima, hemičarima, biolozima i drugima koji su motivisani naukom i tehnikom moramo efikasnije i organizovanije nego dosad pomoći: materijalnim sredstvima, posebnim fondovima, društvenim i moralnim podstrekom za stvaralaštvom.

— Kakvu ulogu bi u svemu tome trebalo da ima popularizacija nauke?

● Istina, mnogo se govori o popularisanju nauke i tehnike, ali tu nešto nadostaje — nedostaje nešto bitno!

Vidite, negde je rečeno da uči onaj koji želi učiti. Ipak, i takvog koji želi učiti treba motivisati za učenjem. Mi imamo brojne mlade ljude koji žele da uče. Rezultati su vidljivi u mnogim disciplinama! Pa zašto ne bi bili i u nauci i u naučnim disciplinama!? A to se može postići!

Popularizacija nauke se ne sme svesti samo na, manje ili više, površno informisanje mladog čoveka o tokovima naučnog i tehničkog istraživanja. Popularizacijom nauke ga, dakle, treba i uvesti u te tokove, učiniti ga subjektom naučnog istraživanja.

Mladog čoveka treba naučiti šta i kako se nešto radi. Zatim u njemu razviti ž e l j u da o s t v a r i ono što je naučio. I na kraju, pokazati mu veštinu, odnosno t e h n i k u samog rada.

— *Znači li to da u ovim uslovima nije moguće realizovati jedan takav koncept popularizacije nauke u krilu pokreta »Hauka mladim«*?

● Pokret »Nauka mladima« kroz svoju uobičajenu praksu tek delimično opravdava svoj naziv. Uz svo poštovanje prema umeću pravljenja raznih detektora, radio-prijemnika i već pronađenih drugih, manje ili više interesantnih, strojeva ipak se ne sme zaboraviti da su to, pre svega, poznate naprave i da izrada istih tek malo doprinosi dočaravanju duha nauke koja je uvek bila, jeste i biće — stalno i dosledno suočavanje sa nepoznatim.

A to, odprilike, znači da bi zadatke koja se deci postavljaju trebalo i drukčije koncipirati tako da budu vrlo dobra simulacija suštine procesa naučnog istraživanja, vremenom, zašto da ne, i samo naučno istraživanje! Deca mogu mnogo više i zanimljivo je kako mi, stariji, to najčešće zaboravimo, premda smo i sami bili deca.

— *Kao dugogodišnji aktivist u Društvu za širenje naučnih saznanja »Nikola Tesla« možete biti jedan od najpozvanijih da kažete nešto o stvarnim dometima Društva . . . .*!?

● Pozvan jesam, a vidim da sam i prozvan. Moram priznati da se mi, iz »Tesle« u Bosni i Hercegovini, nismo baš proslavili. Razloga tome ima više i da ih sada ne bi nabrajali, pomenuću jedan od važnijih — nedostatak sredstava. Jedva smo sakupili para da repriziramo tek jedan manji broj filmova sa beogradskog festivala naučnog i tehničkog filma. Nad nečim bi smo se morali zamisliti! Publike je na projekcijama naučnih i tehničkih filmova bilo vrlo malo! Neću da paničim, ali čini mi se da taj podatak ne govori u prilog jedne ružičaste dijagnoze stanja popularizacije nauke u nas!

— *»Nikola Tesla« okuplja naučne radnike u cilju organizovanog širenja naučnih saznanja*! *Da li bi, po vašem mišljenju »Nikola Tesla« mogao nešto više da učini na otkrivanju i podržavanju naučnih talenata među mladima*?

● Pa to bi trebalo da bude jedna od osnovnih aktivnosti »Nikole Tesle«. Jednom uočen talenat, na jednom od mnogobrojnih takmičenja širom zemlje, trebalo bi podvrći stalnoj pažnji jednog od društava »Nikola Tesla«. U slučaju izuzetnog talenta Društvo bi moglo ispitati načine i mogućnosti bržeg školovanja, te bržeg sticanja određenog naučnog zvanja.

— *Jeste li, dosada, imali u ruci neki primerak «Mladog fizičara«*?

● Nisam. Primjerak koji ste mi poklonili je prvi koji ću pogledati. Ovako, od prve mi se dopao izgled naslovne strane. Za ostalo ću još videti!

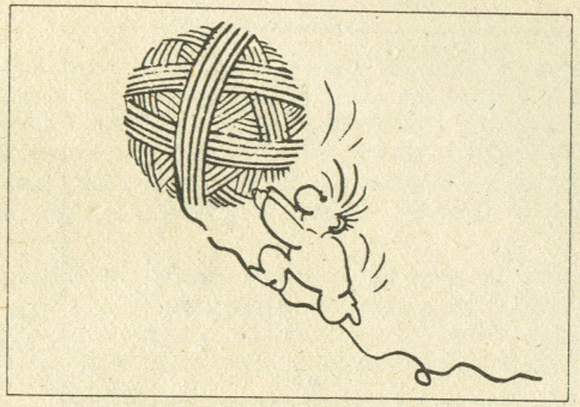
— *Onda, o »Mladom fizičaru« neki drugi put*!?

● Da, idući put, sa zadovoljstvom. Razgovori su potrebni!

Razgovor vodio:

BUDIMIR RADOJEVIĆ

POKUŠAJTE . . .



TOTALNA REFLEKSIJA

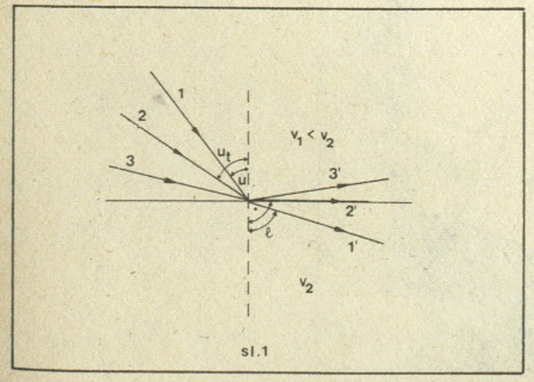
BRANKA MILOTIĆ (Rijeka)

Po nekim izlozima u našim gradovima (npr. kod fotografa ili časovničara) izložene su ukrasne vaze sa čudnim »cvećem« koje svetli. »Buket« ustvari čine savitljive niti od specijalnog stakla »fiberglas« nazvane svetlovodima. Ako se još na krajeve niti zavare raznobojne kuglice, »buket« će biti obojen i izgledati još raskošnije. Kada se »buket« zanjiše, svetlovodi se lelujaju kao klasje.

Znači li to da se svetlost ne širi pravolinijski kako nas uči prvi i osnovni zakon geometrijske optike? Da vidimo u čemu je tajna ovakvog širenja svetlosti.

Jedan od osnovnih zakona geometrijske optike govori da se svetlost na granici dve optički različite sredine prelama (slika 1). Zakon prelamanja definiše relativni indeks prelamanja jedne sredine u odnosu na drugu $n_{2/1}$ kao odnos brzina prostiranja svetlosti u prvoj (v_1) i drugoj sredini (v_2), odnosno kao odnos sinusa* upadnog ugla (u) i prelomnog ugla (l).

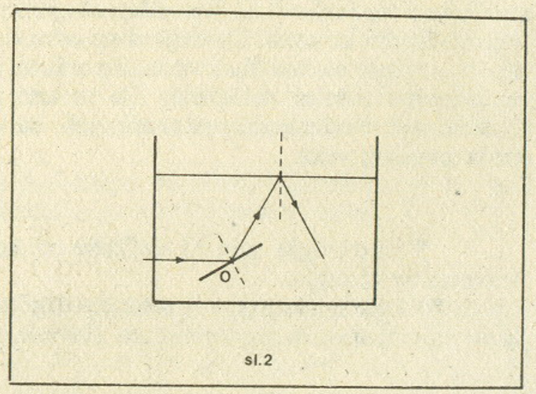
$$\frac{\sin u}{\sin l} = \frac{v_1}{v_2} = n_{2/1}$$



sl.1

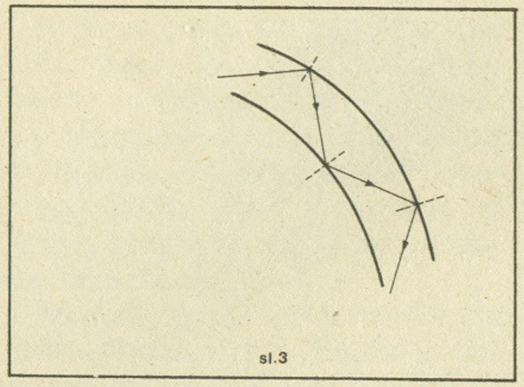
Ako zrak svetlosti prelazi iz optički gušće u optički ređu sredinu ($v_1 < v_2$), on se prelama od normale (zrak 1) tj. prelomni ugao veći je od upadnog ugla ($l > u$). Prelomni ugao može da iznosi najviše 90°, pri čemu se odgovarajući upadni ugao naziva ugao totalne refleksije u_t i manji je od 90° (zrak 2).

Ako je upadni ugao veći od ugla totalne refleksije (zrak 3), svetlosni zrak ne prelazi u drugu sredinu nego se odbija od granične površine. Ova pojava poznata je pod imenom *totalna refleksija*.

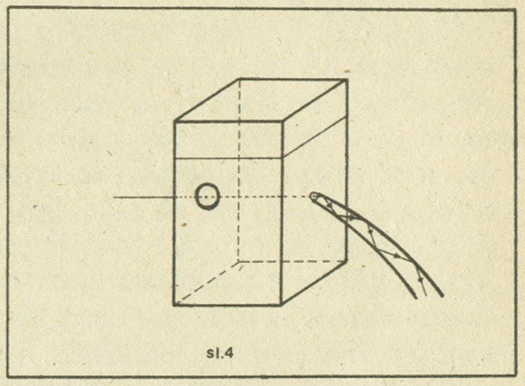


sl.2

Jednostavnu demonstraciju totalne refleksije možemo izvesti pomoću jedne staklene posude napunjene vodom i izvora svetlosti koji daje uzani svetlosni zrak, lasera na primer (slika 2). Ako zrak pustimo da padne normalno na vertikalan zid posude ($u = 0°$), on se ne prelama ($l = 0$). Ako se u posudi nalazi ogledalo O, okrenuto prema izvoru svetlosti, zrak se odbija od površine ogledala, a zatim prelama na granici voda-vazduh. Ako ogledalo okrenemo tako da upadni ugao pod kojim svetlosni zrak pada na površinu ogledala postane veći od ugla totalne refleksije u_t, zrak neće izaći iz vode nego će se samo odbiti od granične površine voda-vazduh.



sl.3



sl.4

Sada možemo da objasnimo zašto svetlosni zrak ne izlazi iz staklenih niti nego se širi duž njih, ma kako one bile savijene. Naime, ugao totalne refleksije za ovu vrstu stakla (fiberglas) je relativno mali, pa se savijanjem niti postiže da se svetlost ne širi pravolinijski (slika 3). Na taj način svetlosni zrak možemo saviti, odnosno usmeriti u željenom smeru. To je i razlog zbog čega se ovakve savitljive staklene niti nazivaju svetlovodima.

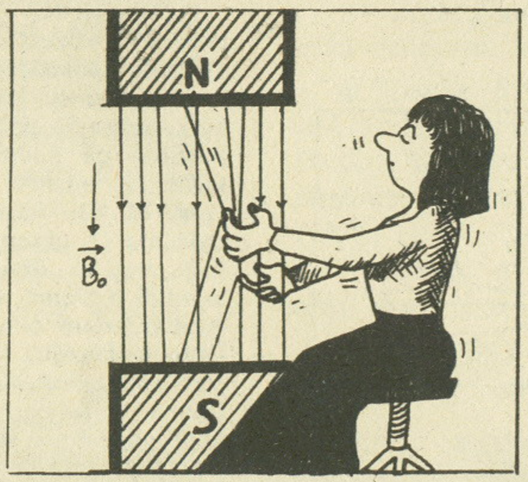
Atrakciju u mnogim gradovima predstavljaju i vodoskoci koji svetle, obojeni najrazličitijim bojama. Osvetljeni su odozdo, a svetlost se širi duž vodenog mlaza po principu totalne refleksije. To su tzv. Coledanovi vodoskoci, poznati još sa kraja prošlog veka.

Slično se može dobitii svetleći vodeni mlaz u obliku vodopada: uzmite običnu posudu čiji je jedan zid od stakla, znači poziran, dok se na suprotnom zidu nalazi otvor kroz koji voda iz posude može da ističe (slika 4). Ako osvetlite stakleni zid posude uzanim svetlosnim zrakom, iz otvora na suprotnom zidu isticaće svetleći mlaz.

Ovakvi svetlovodi našli su primenu i u medicini, na pr. u bronhoskopiji**. Naime, ako se specijalni bronhoskop od lako savitljivog »fiberglasa« uvede kroz dušnik do pluća bolesnika i osvetli, može se videti unutrašnji izgled pluća i izvršiti pregled. Tako se pojava totalne refleksije koristi i u humane svrhe.

* sinus ugla (sin u) definiše se kao odnos naspramne katete i hipotenuze kod pravouglog trougla.

** bronhoskopija — metoda direktnog pregleda organa za disanje pomoću specijalno konstruisanih instrumenata (bronhoskopa).



(Nastavak sa str. Z64)

fentnih (Teslinih) struja, a na sl. 5 spoljni izgled uređaja. Slovom V označen je vazdušni prekidač — varničnik, koji dozvoljava da struja iz induktora prolazi kroz primar P samo dotle dok traje varnica. Takvim prekidačem omogućeno je da se veliki broj puta u jedinici vremena prekida struja u primaru transformatora, što će, kao što znamo, izazvati pojavu indukcije u provooniku S, tj. u sekundaru Teslinog transformatora. Ustvari, u sekundaru će usled prekida primarne struje nastati ubrzano kretanje slobodnih elektrona s gornjeg ka donjem kraju i obratno.

Fizika je utvrdila da tamo gde se elektroni ubrzano kreću, tj. na opisani način osciuju, stvara se promenljivo električno polje, tzv. **vrtložno polje.** Ali, tamo gde postoji promenljivo električno polje, javlja se i promenljivo magnetno polje. Sa svoje strane, promenljivo magnetno polje stvara promenljivo električno polje, tako da ustvari imamo jedinstveno elektromagnetno polje.

Možemo zaključiti da Teslina cev svetli zato što je promenljivo magnetno polje stvorilo, u oblasti zauzetoj gasnom cevi, dovoljno jako promenljjvo električno polje koje vrši pobuđivanje atoma.

Fluorescentne cevi. Pomoću Teslinog transformatora možemo uočiti da u našim rukama svetli fluorescentna cev, ona koja se koristi za osvetljavanje, a u praksi pali mrežnim naponom (220 V) korišćenjem jednog posebnog uređaja, tzv. startera.

U fluorescentnim cevima odigravaju se dva procesa: pod uticajem električnog polja u mešavini gasa argona i živine pare vrši se električno pražnjenje pod sniženim pritiskom i proizvodi ultra ljubičasta svetlost. Kako je s unutrašnje strane staklena cev premazana cink-sulfidom (beličastim prahom) koji je luminofor, pod uticajem svetlosti pražnjenja nastaće pojava fluorescencije, tj. pobuđivaće se atomi luminofora, ali u takvom stanju neće ostajati dugo već će se gotovo odmah vraćati u osnovno stanje, emitujući svetlost veoma blisku po svojim osobinama dnevnoj svetlosti.

Svetleća menzura. Veoma lep svetlosni efekat može se postići i pri pražnjenju u vazduhu na atmosferskom pritisku. Na sl. 6 pokazana je »svetleća menzura« koja je napravljena na sledeći način. Od aluminijumske folije isečena je traka širine 5—10 mm i dužine 300—400 mm i pomoću selotejpa pričvršćena na staklenoj menzuri tako da obrazuje spiralu. Na traci se na svakih 10—15 mm načini žiletom tanak razrez koji prekida traku po širini. Za krajeve trake, pomoću selotejpa, učvrste se dve žice sa »bananama« radi povezivanja sa Rumkorf-ovim induktorom.

Pri dovođenju napona sa sekundara induktora na aluminijumsku traku, na mestima prekida trake (međuprostor) javlja se veoma lepo iskričavo pražnjenje, koje celoj menzuri daje blistav izgled.

PRAVILNA REŠENJA KONKURSNIH ZADATAKA IZ BROJA 14 DOSTAVILI SU:

1. OŠ »Karađorđe«, Topola (nastavnik fizike: Milomir Mladenović), Spasić Zoran, VI raz., 110, 111, 112; Đorđević Boban, VI raz., 110, 111, 112; Živanović Aleksandar VI raz., 110, 111, 112; Cvetanović Đejan, VI raz., 110, 111, 112; Ristić Nenad, VII raz., 113, 114, 115; Jevtić Olivera VII raz. 113, 114, 115; Radojević Radmila, VII raz., 113, 114, 115; Tanasijević Ljubiša, VII raz., 11Š, 114, 115; Ristović Nataša, VII raz., 113, 114, 115; Pantić Dragan, VII raz., 114, 115; Milovanović Ljiljana, VIII raz. 116, 117, 119; Mihailović (atjana, VIII raz., 118, 119.

2. OŠ »Gavrilo Princip«, Zemun (nastavnik fizike: Abramović Bogdan): Simić Kristina, VI raz., 110, 111; Bolović Marijana, VII raz., 113, 114, 115; Masnikosa Snežana, VII raz.; 113, 114, 115; Ćulibrk Milica, VII raz., 113, 114, 115.

3. OŠ »Kosta Stamenković«, Leskovac (nastavnik fizike: Boško Milenković), Stevanović Srcan, / 110, 111, 112, 113, 114, 115 /, 117, 118, 119; Drašković Goran, / 110 111, 112, 113, 114, 115 /, 117, 118, 119; Petković Igor, / 110, 111, 112, 113, 114, 115 /, 117 118, 119; Miljković Miodrag, / 110, 111, 112, 113, 114, 115 /, 118, 119; Stevanović Srđani / 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103;

(Nastavak u sledećem briju.)