## OBAVEŠTENJE UREDNIŠTVA

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

**PRILOZI KOJE NAM ŠALJETE**, osim rešenja zadataka, treba da budu otkucani sa dvostrukim proredom na hartiji formata A4 i ne treba da budu veći od 5 kucanih strana. Crteži moraju biti izrađeni tušem na posebnoj hartiji. Na odvojenom listu treba ispisati ime i prezime, zvanje i zanimanje, adresu i broj žiro računa, odnosno potpisnu izjavu da se ne poseduje žiro račun. **RUKOPISI SE NE VRAĆAJU**. Uređivački odbor zadržava pravo da rukopise rediguje i objavljuje redom koji ne zavisi od reda prispeća.

**MLADI FIZIČAR** izlazi četiri puta godišnje, a **GODIŠNJA PRETPLATA ZA SVA ČETIRI BROJA IZNOSI 66 DINARA**. Možete da postanete pretplatnici kada to poželite. Potrebno je samo da nas običnim pismom obavestite o broju kompleta na koje se pretplaćujete, da napišete svoju adresu i da istovremeno izvršite uplatu potrebne sume novca na žiro račun Društva matematičara, fizičara i astronoma SR Srbije,

**60806—678—10776**

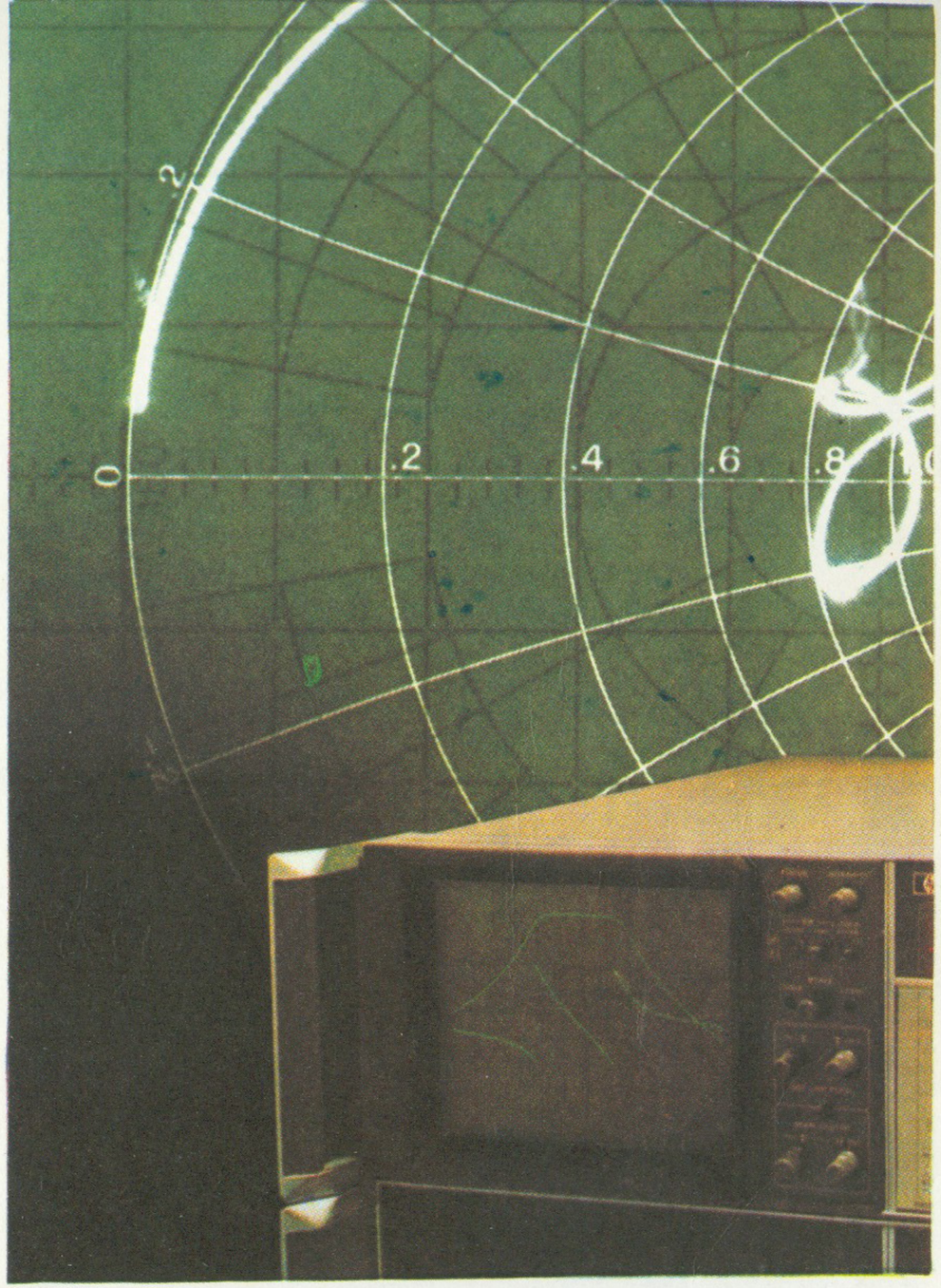
Beograd, sa obaveznom naznakom **za Mladi fizičar**.

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

**MOŽETE NARUČITI I KOMPLETE RANIJIH GODIŠTA**
Narudžbenice i priloge slati na adresu

Društvo matematičara, fizičara i astronoma SR Srbije
za časopis **Mladi fizičar**
**Knez Mihailova 35/IV, p.p. 791., 11001 Beograd.**
Sva ostala obaveštenja na telefon 011-638-263.

**Cena 16,50 DIN**




ČASOPIS
IZ FIZIKE
ZA UČENIKE

# MLADI FIZIČAR

20

BEOGRAD 1981

*DRUŠTVO MATEMATIČARA. FIZIČARA I ASTRONOMA SR SRBIJE*

**MLADI FIZIČAR**
*časopis*
*za one koji uče*
*i vole fiziku*
godina V
broj 20
(1980/81)
*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*

*Uređivački odbor*
Jadranka BOGAVAC
Svetozar BOŽIN
Milan DIMITRIJEVIĆ
Jablan DOJČILOVIĆ
Draško GRUJIĆ
Tomislav PETROVIĆ
Dragana POPOVIĆ
Budo RADOJEVIĆ
Zoran RADOVIĆ
Aleksandar SREĆKOVIĆ

SADRŽAJ:

*D. Koledin*: Muzikalnost Nilsa Bora ..... 1
*Lj. Ristovski*: Kvantni skok ..... 4
*Lj. i N. Nedeljković*: Pojam kvantnog merenja ..... 8
*S. Vojvodić*: Perenova potvrda atomističke pretpostavke .. 12
*I. Čadež*: Kako ispitujemo atome (II deo) ..... 16
*M. Dimitrijević*: Gravitacioni kolaps ..... 21
*M. Popović-Božić*: »Otkriće« jedne školjke ..... 24
*B. Urošević*: Putevi saznanja u fizici ..... 26
*M. Radonjić*: Geteovo učenje o bojama ..... 30
*V. Babović*: Puasonova svetla mrlja ..... 31
Zadaci ..... Z113
Rešenja zadataka ..... Z119
Spisak rešavača ..... Z128

Vinjete: N. Ubović

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

## *ŽIVOT I DELO*

NIELS BOHR

# MUZIKALNOST NILSA BORA

DUŠAN KOLEDIN (Beograd)

Isprva je Ajnštajn, komentarišući Borove postulate, govorio: »Ako je sve to tačno, onda je to — *kraj fizike*.« Kasnije se, ako ne korigovao, ono bar dopunio: »Bilo je to kao da tlo nestaje pod nogama i nigde se nije mogao sagledati teren na kome bi se dalo graditi. Meni je uvek izgledalo čudno da je ta nesigurna osnova, puna protivurečnosti, bila dovoljna da Boru, čoveku genijalne intuicije i prefinjenih osećanja, omogući iznalaženje osnovnih zakona spektralnih linija i elektronskih omotača atoma, uključujući i njihovo značenje za hemiju. To mi se i sada čini čudom. Najveća je to *muzikalnost u prostoru misli*.«

Neka nam bar uverenje da moć muzike nadoknađuje nemoć reči bude odbrana redova koji slede.

Poslednje decenije prošlog veka: prerano preminuli Maksvel počiva kraj sela Perton, Škotska; u laboratoriji Helmholcovog asistenta, Hajnriha Herca, uspešno se između električnog oscilatora i metalnog rezonatora talasaju elektromagnetski talasi; Bolcman, teorijski dokazujući Štefanov zakon o ukupnom zračenju apsolutno crnog tela, zaokrugljuje klasičnu kinetičku teoriju toplote; Bunzen i Kirhof otkrivaju da atomi mogu apsorbovati samo svetlost onih frekvencija koje inače i sami emituju; švajcarski nastavnik fizike Balmer izučava redosled spektralnih linija atoma vodonika i *samo* srećno pogođenim matematičkim izrazom kvantitativno opisuje njihov redosled; Rentgen zracima koji danas nose njegovo ime fotografiše skelet šake; Anri Bekerel otkriva da jedinjenja u kojima ima urana emituju neke nevidljive zrake koji prolaze kroz crnu hartiju, čak kroz zatvorenu fotografsku kasetu, a Marija Kiri, devojačko Sklodovska, otkriva do tada nepoznati element koji naziva polonijumom... Konačno, Maks Plank formuliše hipotezu o kvantima energije.

Nils Bor je rođen u Kopenhagenu 1885. godine, upravo kada je pomenuti Balmer srećno pogodio *formulu po kojoj seređaju spektralne linije atoma vodonika.* Otac Borov, Kristijan, bio je profesor fiziologije, što je moglo imati uticaja na sina, s obzirom na poznije Borovo interesovanje za mogućnosti prilaza fizičara biologiji. (Jedan od mlađih saradnika Nilsa Bora, Maks Delbrik, dobio je Nobelovu nagradu za medicinu 1969. godine). Drugi Kristijanov sin, Harald, takođe je intonirao »kućnu« atmosferu Borovih. Bio je, naime, izvrstan matematičar. Dvadesetšestogodišnji Nils Bor odbranio je u Kopenhagenu doktorsku disertaciju u kojoj je, sa stanovišta postojeće teorije elektrona, ispitivao električnu i termičku provodnost metala. Inače, te godine Raderford je objavio *planetarni model atoma.* Borova disertacija je prevedena na engleski, što je bio dobar argument za stipendiju i postdoktorske studije u Kembridžu i Mančesteru.

Te godine kao da se sva fizika stekla baš tamo, u Kembridžu i Mančesteru: u Kevendiš laboratoriji, Kembridž, Bor je slušao predavanja Dž. Dž. Tomsona koji je, nezavisno od Perena i na drugi način, odredio naelektrisanje i masu elektrona; potom je Bor prešao u Mančester, u laboratoriju Ernesta Raderforda, s kojim su na onim čuvenim eksperimentima rasejanja alfa-čestica na atomima sarađivali Gajger, Mozli, Čedvik, Marsden i dr. Naime, kada je Bor stigao u Mančester, Raderford je već izveo formulu za sudar dve naelektrisane čestice koju su brojni eksperimenti nedvosimsleno potvrdili. Planetarni model atoma takođe je već bio uobličen: oko pozitivno naelektrisanog jezgra, u kome je skoncentrisana gotovo celokupna masa atoma, kruže, kruže kruže... negativno naelektrisni elektroni. S druge strane, još je od Maksvela bilo poznato da naelektrisanja koja se kreću promenljivim brzinama zrače elektromagnetske talase. Međutim, dok »Maksvelova« naelektrisanja u pokretu zrače *svim* mogućim frekvencijama, Balmerova formula, u skladu sa eksperimentalnim podacima o spektrima, »bira« *strogo određene* učestanosti zračenja!?

Protivurečnost između Raderfordovog modela atoma i klasične elektrodinamike bila je evidentna: Na koji način se u atomima, osnovnim sastavnim delovima materije, krije izvorni mehanizam svih vidljivih pojava? Kako pomiriti klasičnu fiziku s hipotezom o kvantima energije i vezu načiniti šire operativnom od Plankovog računa energije zračenja crnog tela? Kakav je fizički sadržaj Balmerovog izraza po kome se strogo, uvek na isti način ređaju spektralne



linije atoma vodonika? Uostalom, zar nije cink uvek cink, vodonik uvek vodonik...? Zbog čega atomi elemenata pokazuju čudesnu postojanost svojih svojstava? Ko zna šta se sve još Bor pitao, pre nego što je 1913. godine objavio trodelni članak *O sastavu atoma i molekula* (On Constitution of Atoms and Molecules, Phil. Mag., vol. 26, /1/, /476/, /857/) s posulatima:

I) *Elektron kruži oko jezgra po stacionarnoj (kružnoj) orbiti, ne zračeći pri tome.*

II) *Elektron može da pređe sa jedne stacionarne orbite na drugu (sa nižom energijom), pri čemu zrači elektromagnetske talase frekvencije* $\nu$ *date formulom* $h\nu = E_n - E_m$, $n > m = 1, 2, \ldots$, *gde je h Plankova konstanta, a* $E_m$ *i* $E_n$ *su energije elektrona na nižoj i višoj orbiti.*

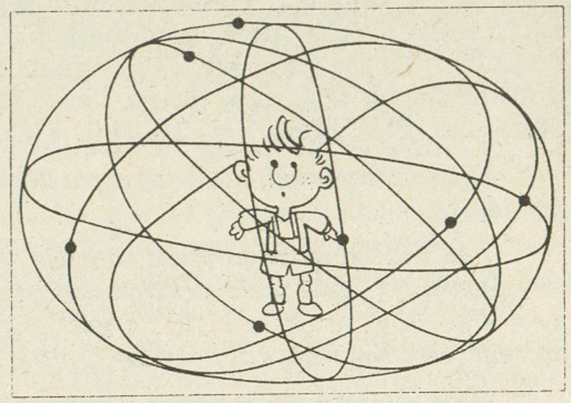
»Priroda ne čini skokove« — prevario se još Aristotel. I sam Raderford je isprva sumnjičavo vrteo glavom nad zahtevima mlađeg kolege. Ipak, prvi i odlučujući test nove teorije bilo je uspešno numeričko reprodukovanje tzv. Ridbergove konstante koja figurira u Balmerovoj formuli. Boru to nije bilo dovoljno: slobodan elektron u spoljašnjem električnom i magnetnom polju, na primer, na zadovoljavajući način se opisuje klasičnom elektrodinamikom; vezani, atomski elektron — ne; Ridbergovu konstantu mogućno je izračunati i metodama stare teorije... *Gde zapravo počinje kvantna, a prestaje klasična fizika?*

Logičko je pravilo da se nova, šira fizička teorija može iskazati nezavisno od teorije koja je uža i predstavlja samo njen deo ili granični slučaj. Ilustracije radi, relativistička mehanika može se formulisati iz svojih osnovnih principa, bez po zivanja na njutnovsku mehaniku koja je, u oblasti brzina mnogo manjih od brzine svetlosti, njen granični slučaj. Kvantna mehanika je, međutim, izuzetak: ona sadrži klasičnu mehaniku kao granični slučaj, ali se bez nje ne može zasnovati. Kvantna mehanika i klasična mehanika *korespondiraju.* Ta »prepiska« je punim sadržajem otelotvorena u aktu merenja, pri čemu se pod merenjem podrazumeva svaki proces uzajamnog delovanja klasičnog i kvantnog objekta. Duboki smisao merenja u kvantnoj mehanici opisao je Nils Bor.

Sve je to, razume se, bio samo izuzetno dobar početak. Bor je u Kopenhagenu 1918. godine osnovao Institut za teorijsku fiziku. Zapravo, i više od toga: ta je institucija danas poznata kao *Kopenhaška škola.* U njoj je i oko nje do tridesetih godina našeg veka uobličen moćan metod izučavanja sveta mikročestica — kvantna mehanika. Školu su, inače, u svojstvu »učenika« i »nastavnika« u isti mah, redovno ili povremeno, »pohađali« Zomerfeld, Erenfest, Hajzenberg, Born, Žordan, Gaudšmit, Ulenbek, Pauli, Dirak, Landau...

Kada su Nemci 1943. godine okupirali Dansku, Bor je čamcem prebegao u Švedsku. Ameriku, međutim, nije mogao da izbegne. Verovatno u Savezničkim arhivima postoje podaci o okolnostima pod kojima je Bor, zajedno sa Lizom Majtner i Frišom, preko Londona otputovao za Ameriku. Tek, zna se da je sa Vilerom uspešno razradio teoriju cepanja atomskog jezgra. Takođe se zna da su Hirošima i Nagasaki nesrećno poslužili za »eksperimentalni« poligon, a i da je Bor bio inicijator konferencije »Atomi za mir«, koja je 1955. godine održana u Ženevi.

Nils Bor je umro u Kopenhagenu, novembra 1962. godine.



## KVANTI SKOK

LJ. RISTOVSKI (Beograd)

Inertnost ljudskog duha najviše dolazi do izražaja u situacijama koje ispunjavaju zadovoljstvom i spokojstvom, kada svaki pokušaj da se postojeće stanje promeni nailazi na otpor, često nerazuman. Svaka nova ideja koja nagoveštava promenu, obično se zaustavlja pred zidom koji postavljaju zaslužni ili samozvani pojedinci, kojima je dato pravo, ili su ga samo uzurpirali da istupaju kao prvi zaštitnici postojećeg stanja. Nosiocima novih ideja, ako ne odustanu od njih, ostaje da često dugo žive u sredini koja ih smatra nastranim, ludacima ili slično. Ovo se naravno odnosi i na naučno stvaralaštvo. Najneplodniji periodi u njegovom razvoju nastaju nakon definitivnog razrešenja određenog šireg skupa problema, koje rezultira dobro sistematizovanim i razrađenim naučnim teorijama. Naravno, i opšte naučno mnenje, po nekom nepisanom zakonu, izdvaja svoje najveće autoritete koji istupaju kao najveći branioci postojećeg naučnog zdanja.

Stanje koje ispunjava zadovoljstvom u nauci kratko traje. Brzo se pokazuje da ne postoji nauka koja će razrešiti jednom za uvek sve postojeće probleme. Uvek su se pojavljivali i uvek će se pojavljivati problemi koji se ne uklapaju u postojeću sliku sveta. Njihov broj se iz dana u dan povećava, zadovoljstvo postojećim stanjem je sve manje, a sve su tiši i njegovi branioci. Skidaju se ludačke košulje i preispituju ideje do tada nastranih kritičara postojećeg stanja, a sa pažnjom se osluškuju i oni koji ranije nisu imali hrabrosti da se jave, ili su do novih ideja kasnije došli. Tako nastaje stanje koje stvaraoci mogu samo poželeti; vreme prijemčivo za sve šo je novo.

Ideja o kvantnom skoku, odnosno Borovi postulati, pojavili su se u za njih najbolje vreme. Postojalo je mnoštvo problema čijim je rešavanjem potvrđena ispravnost tadašnjih fizičkih teorija, a pre svega klasične elektrodinamike. Međutim, ta u suštini moćna fizička teorija nije mogla da objasni ponašanje elektrona u atomu, a to znači i relativno veliki broj eksperimentalnih rezultata dobijenih ispitivanjem atoma. Na nasreću, ona nije bila u stanju da odgovori i na osnovno pitanje: zašto elektron ne padne na jezgro, kada svaka naelektrisana čestica, pa i elektron, zrači energiju kada se kreće ubrzano (elektron u atomu kreće se



ubrzano, jer je svako kretanje po kružnoj putanji ubrzano)? Izgledalo je kao da priroda protivreči samoj sebi. Jer, pošavši od elek trona, Lorenc je uspeo da u potpunosti objasni veliki broj fizičkih pojava i da doslednije izvede osnovne zakone elektrodinamike, pa je izgledalo da je slika koju je klasična elektrodinamika stvorila o elektronu ispravna. Ali, ako se ona primeni na atom, dobija se netačan rezultat da elektron treba da padne na jezgro. Ova situacija je naučnike dovela do očaja i stvorila prostor i mogućnost za delovanje onima koji misle drukčije da se bez ikakvih problema iskažu i da pri tome budu i saslušani.

Nils Bor, kao i većina njegovih savremenika, znao je da priroda ne protivreči samoj sebi, ali je u to, za razliku od mnogih drugih, i čvrsto, verovao. Bilo je jasno da je elektron u atomu »nov elektron«. Nije bio u stanju da objasni zašto je to tako, ali je bio načisto sa tim da se on ne može uklopiti u postojeću sliku, i da mora nešto radikalno da se menja. I promenio je!

Borovi postulati daju odgovor na dva pitanja. Prvo je:

Kako objasniti stabilnost atoma, kada se zna da elektron zrači energiju, pa zato posle izvesnog vremena treba da padne na jezgro?

Bor je, praktično uzevši, rekao da elektronu treba zabraniti da padne na jezgro, jer se to ipak ne dešava. Ta zabrana izrečena je prvim postulatom:

*U atomu postoje stacionirane orbite na kojima se elektron kreće ne zračeći energiju.*

Drugo pitanje je:

Elektron u atomu ipak zrači. U prilog tome govore linijski spektri atoma. Kako objasniti to zračenje kada smo elektronu »zabranili« da zrači?

Odgovor bi bio da treba dopustiti elektronu da zrači, ali tako da spektar zračenja bude linijski. Ovo je učinjeno drugim postulatom.

*Elektron zrači samo prilikom preskakanja sa jedne stacionarne orbite na drugu, a frekvencija zračenja jednaka je* $\nu = \Delta E/h$, gde je $\Delta E$ razlika energija koje elektron ima na orbitama između kojih je izvršen skok, a $h$ je Plankova konstanta.

Ovo nije sve, jer prvi postulat zahteva odgovor na pitanje o načinu izbora stacionarnih orbita. Mora da postoji uslov kojim se od svih orbita elektrona u atomu izdvajaju one koje mogu biti stacionarne. Taj uslov postoji i prema njemu *elektron može da se nađe samo na orbitama čiji moment količine kretanja* $l = mvr$ *zadovoljava sledeći uslov kvantovanja*

$$mvr = n\hbar.$$

$m$ je masa elektrona, $v$ njegova brzina, a $r$ poluprečnik orbite, dok je $n$ ceo broj.

Borovi postulati, uključujući i dopunski uslov kvantovanja, ostali bi proizvoljne tvorevine da nisu bile eksperimentalno potvrđene. Oni su bili toliko neprihvatljivi za Borove savremenike, da je njihova eksperimentalna potvrda odjeknula kao pravo čudo.

Polazeći od svojih postulata, Bor je dobio rezultate koji određuju poluprečnike stacionarnih orbita i energije elektrona na tim orbitama. obe veličine su kvantovane i date su relacijama

$$r_n = \frac{\hbar^2}{me^2} \cdot n^2; \qquad E_n = -\frac{me^4}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}.$$

Dalje, iz već pomenute relacije između frekvencija zračenja i energija elektrona na orbitama između kojih je izvršen kvantni skok

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{E_k - E_n}{h}$$

dobio je formulu

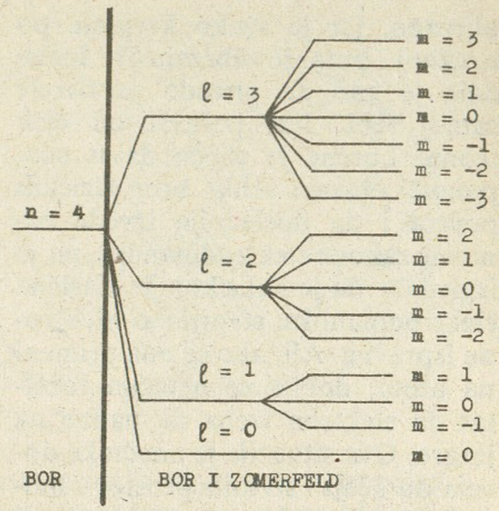
$$\nu = \frac{me^4}{4\pi\hbar^3}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right)$$

kojom je određena frekvencija zračenja iz Balmerove serije linijskog spektra atoma vodonika. Pošavši od ove formule dobio je da je Ridbergova konstanta jednaka

$$R = \frac{me^4}{4\pi c\hbar^3}.$$

Kada je izračunao njenu brojnu vrednost, dobio je začuđujuće dobro slaganje sa vrednošću dobijenom eksperimentalnim putem.

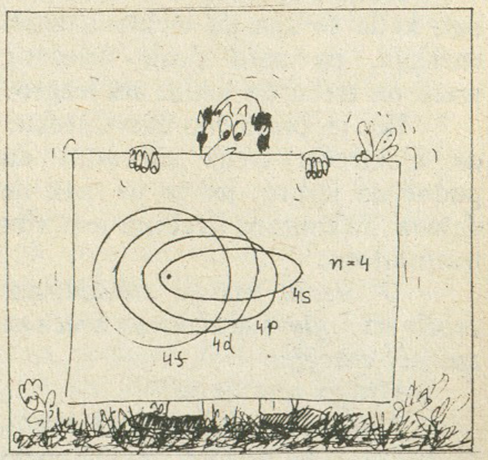
Slika 1. na najbolji način pokazuje šta se desilo sa Borovom teorijom koja je objasnila nekoliko dotle neobjašnjenih eksperimentalnih rezultata, što je vrlo važno, ali je pružila i mogućnost da se vrlo duboko prodre u dotle nepoznat svet atomskih pojava. Prvo je Zomerfeld učinio ogroman korak napred, naizgled formalnom modifikacijom Borovih postulata. Pretpostavio je da se elektroni u atomu, poput planeta u Sunčevom sistemu, ne kreću po kružnim (ili ne samo po kružnim) nego po elipsoidnim putanjama. Pri tome, jednoj vrednosti tzv. glavnog kvantnog broja $n$ odgovara upravo toiko različitih elipsi. Sve te elipse imaju istu veliku poluosu (vidi sl. 2), a razlikuju im se male poluose, što znači da su različite spljoštenosti. Elipse su postavljene tako da




Slika 1

se jezgro nalazi u jednom od fokusa. Elektron na bilo kojoj od tih elipsi ima istu energiju $E_n$, ali svakoj elipsi odgovara druga vrednost tzv. *orbitalnog kvantnog broja l*. Znači, za kvantovanje orbita uvodi se novi orbitalni kvantni broj koji ima celobrojne brojne vrednosti $l = 0, 1, 2, \ldots, n\text{-}1$ (ukupno $n$ vrednosti).

Kasnije je pokazano, učinili su to Bor i Zomerfeld, da mora i ova slika da se menja. Zbog nekih relativističkih efekata, koji ranije




Slika 2



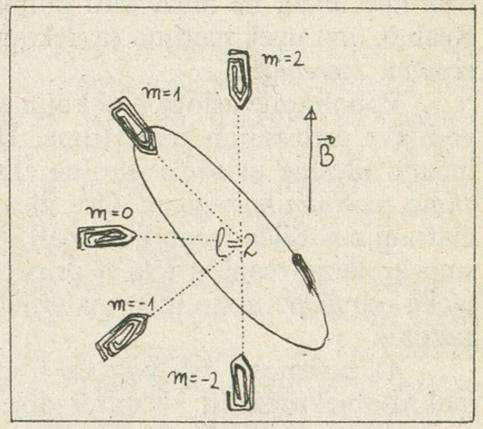
nisu uzimani u obzir, energije elektrona na različitim elipsama, iako je n isto, međusobno će se razlikovati. Na molbu Zomerfelda Pašen je ovo tvrđenje eksperimentalno proverio i potvrdio. Uočio je da se svaka linija u linijskom spektru, dobijena prelazom elektrona sa orbite na orbitu, sastoji od skupa gusto zbijenih linija. To je tzv. fina struktura spektralnih linija. To znači da se prelaz sa nivoa $n_1$ na nivo $n_2$ može ostvariti na više načina, koji odgovaraju prelazima elektrona sa elipsi koji odgovaraju orbiti $n_1$ na elipse koje odgovaraju orbiti $n_2$. Kaže se da se linija koja odgovara prelazu sa orbite $n_2$ na orbitu $n_1$ cepa u onoliko linija (fina struktura) koliko postoji mogućih prelaza sa jednog skupa elipsi na drugi.

Slika se komplikuje ako se atom postavi u magntno polje, jer u njemu dolazi do novog cepanja sada već pocepanih spektralnih linija. Pokazano je da ravan orbite elektrona ne može zauzeti proizvoljnu orijentaciju u odnosu na pravac magnetnog polja (sl. 3). To važi za svaku od elipsiodnih orbita koje odgovaraju datom $n$. Orbita (elipsa) koja odgovara vrednosti $l$ orbitalnog kvantnog broja može imati $2l + 1$ kvantovanih orijentacija u prostoru. Svakoj orijentaciji odgovara određena vrednost tzv. magnetnog kvantnog broja $m$ koji, kako rekosmo ima $2l + 1$ različitih vrednosti $m = -l, -l + 1, \ldots, -1, 0, 1, \ldots, l - 1, l$.

Tako u magnetnom polju dolazi do cepanja svakog podnivoa $E_{ne}$ na novih $2l + 1$ podnivoa $E_{njm}$.

Mi ćemo se ovde zaustaviti, jer sve ovo postaje i pomalo zamorno i ni izbliza nije više tako lepo i pregledno kako je izgledala Borova teorija u svojoj prvobitnoj formulaciji. Nećemo mnogo propusti, jer treba samo dodati još cepanje nivoa usled *spina*. Umesto toga izvršićemo rekapitulaciju osnovnih pojmova.

Posli smo od kvantnog broja $n$, uvedenog dopunskim Borovim uslovom kvantovanja momenta količine kretanja. Kvantni broj $n$ zove se glavni kvantni broj. On poprima samo celobrojne vrednosti 1, 2, 3,... Svakoj vrednosti glavnog kvantnog broja odgovara isto toliko vrednosti orbitalnog kvantnog broja, kojim se izdvajaju dopuštene elipsoidne orbite u atomu. Orbitalni kvantni broj ima sledeće vrednosti $l = 0, 1, 2, \ldots, n-1$ (ukupno n vrednosti). Uobičajeno je da se svakoj vrednosti orbitalnog kvantnog broja pripisuje određeno slovo. Vrednosti $l = 0$ slovo $s$, vrednosti $l = 1$ slovo $p$, vrednosti $l = 2$ slovo $d$ itd. Energetski nivo, koji se određuje vrednostima glavnog kvantnog broja $n$ i orbitalnog kvantnog broja $l$, označava se uz pomoć tih slova. Tako 3 d odgovara nivou $E_{32}$ ($n = 3$, $l = 2$).




Slika 3

# POJAM KVANTNOG MERENJA

LJ. i N. NEDELJKOVIĆ (Beograd)

1.

Merenje je proces dobijanja informacije o vrednosti neke fizičke veličine datog fizičkog objekta. Ono se uvek odvija u uslovima »dodira«, fizičkog kontakta, odnosno interakcije objekta i mernih instrumenata iza kojih se nalazi čovek sa svojim čulima i svojom svešću. Skup fizičkog objekta, mernih instrumenata, čovekovih čula i njegove svesti nazvaćemo *mernim lancem*. Tada se slikovito može reći da se kroz njega prenosi željena informacija sa njegovog početka (objekta) na njegov kraj (svest).

U slučaju kada je fizički objekt uobičajenih dimenzija, odnosno približno jednak dimenzijama naših instrumenata i ljudskog tela, kažemo da imamo *klasično merenje*. Tako je merenje temperature nekog rela pomoću termometra jedan primer ovakvog merenja.

Ukoliko se umesto uobičajenog, »klasičnog makro-tela« na početku mernog lanca nalazi neki mikro-objekt, koji se često naziva i kvantnim objektom (molekul, atom, atomsko jezgro,. . .), relativna srazmernost veličina elemenata mernog lanca se narušava. Najosetljiviji deo lanca na tu promenu je onaj u kome se »spaja« objekt i merni instrument. Naime, upravo ovde se moraju obezbediti takve fizičke pojave, koje, da bi uopšte mogle biti registrovane u makro-uređaju, moraju sa gledišta mikro-sveta imati dimenzije pravih katastrofa. Merenje, na primer, energije kvantne čestice pomoću tzv. nuklearnih detektora je praćeno ovakvim pojavama. Merenje fizičkih veličina mikro-objekata nazivamo *kvantnim merenjem*.

2.

Bez obzira na to da li je reč o klasičnom ili kvantnom merenju, ono se u suštini uvek odvija pod vrlo komplikovanim fizičkim okolnostima. Svi elementi mernog lanca se manje ili više menjaju u toku vremena, i to ili zbog promene fizičkih uslova u spoljšnjoj sredini, ili zbog promena i grešaka svojstvenih njima samima. Ponavljanje merenja na istom objektu i sa istim instrumentima nikad ne može dati potpuno iste vrednosti merene fizičke veličine. Realno, »mi uvek merimo sa nekom greškom«. Ovakva merenja ćemo nazvati *realnim merenjima*.

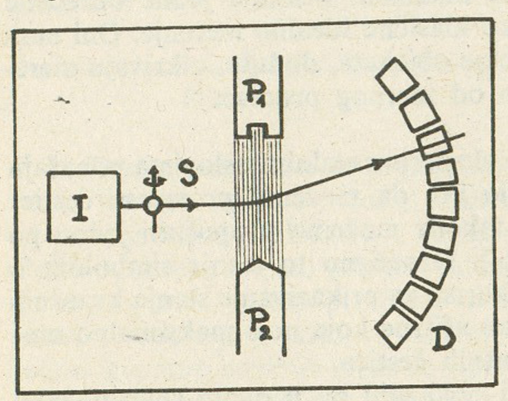
Poboljšanje uslova pod kojima se merenje vrši i poboljšanje instrumenata vodi sve preciznijim rezultatima. U graničnom slučaju možemo zamisliti da imamo idealne uslove i idealne eksperimente. Tako shvaćena merenja nazivamo *idealnim merenjima*. Ova idealizacija biće nam dragocena u daljim razmatranjima. Slično smo postupali i na najelementarnijim nivoima fizike, kada smo kretanje realnog tela u prostoru zamišljali kao kretanje bezdimenzione tačke određene mase (tzv. materijalne tačke) i time lakše dospeli do željenih zakona.

U zavisnosti od toga da li smatramo da idealna merenja vršimo nad makro-objektima ili kvantni objektima, razlikovaćemo *klasična idealna merenja* i *kvantna idealna merenja*.

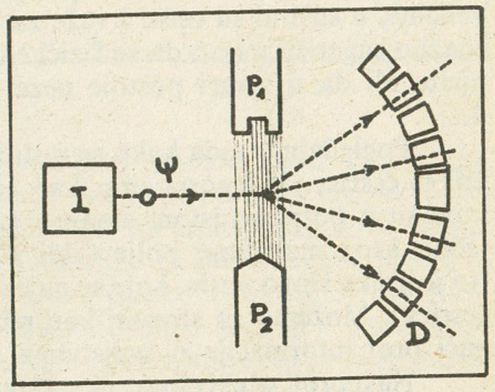


3.

Pređimo sada na detaljnije razmatranje idealnog merenja neke određene klasične veličine. Da ne bismo sa datim mernim uređajem ponavljali merenje na uvek istom klasičnom objektu, zamislimo da imamo mogućnost da na neki način proizvodimo vrlo veliki broj potpuno istih klasičnih objakata. Ovakva situacija ne menja ništa na suštini merenja, ali je sa eksperimentalnog stanovišta praktičnija. Neka ti objekti, na primer, budu potpuno iste naelektrisane kuglice koje se na potpuno isti način vrte oko sopstvenih osa, i koje se jedna po jedna mogu izbacivati iz nekog »izvora« I (sl. 1.a.) Označimo skup osobina ovakvih čestica, tj. njihovo *stanje* sa S. Ovaj znak možemo shvatiti kao reč, kao »šifru« koja nosi maksimalno mogući broj podataka koji se uopšte mogu dobiti u vezi datih tela.




Slika 1. a

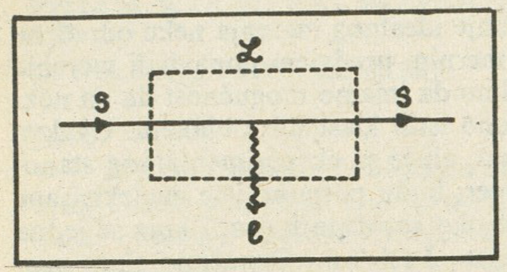



Slika 1. b

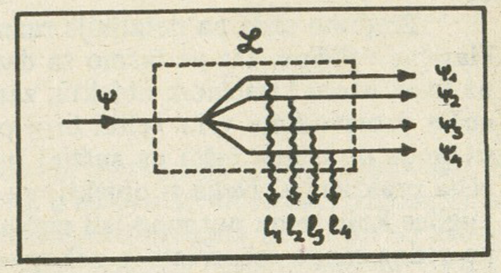
Pretpostavimo da smo se odlučili da ispitamo kojom se brzinom one vrte oko svojih osa, odnosno da izmerimo njihov »stepen rotacije«. Označićemo tu fizičku veličinu sa **j**. Jedan od načina koji to omogućuje (koji nije najjednostavniji, ali koji je dragocen za poređenje sa sličnom situacijom u slučaju kvantnih merenja) bazira se na sledećoj fizičkoj pojavi: Ako se rotirajuće naelektrisane kuglice propuštaju kroz određeno magnetno polje, koje proizvode polovi magneta specijalnog oblika $P_1$ i $P_2$ (vidi sl. 1.a.), one će skretati od prvobitnog pravca u zavisnosti od toga kolika im je vrednost veličine *l*. Dakle, mereći ugao skretanja, odnosno konstatujući kroz koji je od detektora D prošla čestica, mi u suštini merimo **j**.

Eksperiment u ovom slučaju pokazuje ono što se i može očekivati. Naime, pošto su sve kuglice u istom stanju S, propuštanjem svake od njih kroz magnetno polje uvek ćemo imati skretanje za isti ugao, tj. izmerena vrednost **j** je uvek ista. Osim toga, osobine kuglica se neće promeniti prolazeći kroz magnetno polje; to znači da će i posle merenja biti u stanju S. Drugim rečima, merni uređaj sa sl. 1.a. je izvukao informaciju o vrednosti fizičke veličine »potpuno bezbolno«, bez ikakvog narušavanja stanja čestica.

Prema tome, suština klasičnog idealnog merenja date fizičke veličine se može prikazati *shemom* sa sl. 2.a., koju treba ovako shvatiti: U merni uređaj (gde spadaju polovi magneta, magnetno polje i detetkori sa sl. 1.a.) »ulazi« stanje S, i »izlazi« nepromenjenog »oblika«, »emitujući« pritom uvek isti podatak (naznačen vertikalnom talasastom linijom) o vrednosti izmerene fizičke veličine *l*.




Slika 2. a




Slika 2. b

Ovi zaključci, izvedeni pažljivijom analizom merenja jedne određene veličine, u suštini su opšti i važe za svako klasično idealno merenje. Oni nam snažno sugerišu misao da se fizičke osobine objekata, doduše, otkrivaju merenjem, ali da u stvari postoje nezavisno od mernog procesa.

4.

Pogledajmo sada kako se u sličnim eksperimentalnim uslovima ponašaju mikro-česrice. Pretpostavimo kao i malo pre da možemo proizvesti čestice koje su u potpuno istom stanju i koje takođe možemo propuštati jednu po jednu kroz magnetno polje (vidi sl. 1.b.). Označimo to stanje simbolom $\psi$ (to je grčko slovo »psi«, koje se najčešće koristi za prikazivanje stanja kvantnih česrica). Možemo ga shvatiti kao reč, kao »šifru« koja nosi maksimalno mogući broj informacija o svojstvima kvantnih čestica.

Nasuprot očekivanju, eksperimenti pokazuju da u ovom slučaju, iako su sve kvantne čestice u istom stanju $\psi$ pre ulaska u merni uređaj, imamo različite uglove skretanja (vidi sl. 1.b.). Dakle, pored toga što otkrivamo da se ovakve čestice u magnetnom polju ponašaju kao da vrše neku rotaciju oko sopstvene ose, konstatujemo i da imaju *različite* vrednosti $l_1$, $l_2$, $l_3$, $l_4$ fizičke veličine koja bi takve specifične »rotacije« mogla da karakteriše.

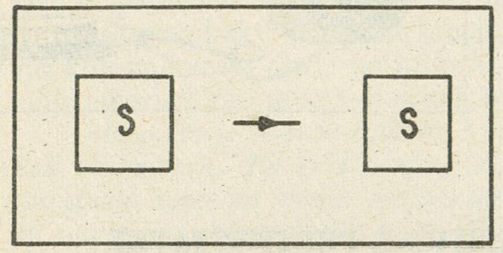
Pored toga, u eksperimentu se ne može uočiti nikakva zakonistost po kojoj data čestica uzima jednu od gornjih vrednosti. Drugim rečima, čestica uleće u jednu od mogućih izlaznih putanja sasvim slučajno i nepredvidljivo, odnosno, uopšte nije moguće unapred zaključiti kroz koji će od detektora D ona proleteti.

Najzad, ispostavlja se da prolazak svake od čestica kroz proces merenja menja njihova prvobitna stanja. Merenje na neki način nepovratno ostavlja trag na skupu čestice koje smo nazvali stanjem $\psi$, i čestica više neće imati sva ona svojstva koja je dotada imala. Nova stanja $\psi_1$, $\psi_2$, $\psi_3$, $\psi_4$ u kojima se čestice posle merenja nalaze određena su jedino izmerenim vrednostima fizičke veličine $l_1$, $l_2$, $l_3$, $l_4$. (Odnosno, ako je izmerena vrednost $l_1$, onda je novo stanje čestice $\psi_1$, i td.)

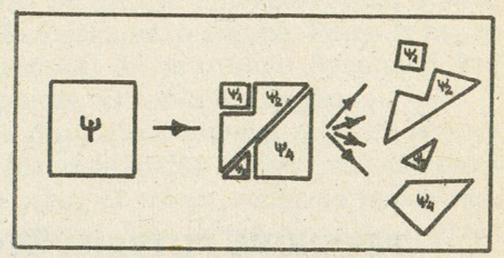
Prema tome, navedeni eksperimentalni podaci pokazuju da se suština procesa kvantnog idealnog merenja može slikovito prikazati *shemom* sa sl. 2.b., koju treba shvatiti kao i analognu shemu klasičnog idealnog merenja. Dakle, stanje $\psi$ ulazi u merni uređaj gde se opredeljuje za jednu od četiri moguće izlazne putanje, odašiljući pritom odgovarajuću informaciju (prikazanu jednom od talasastih vertikalnih linija) o brojnoj vrednosti merene fizičke veličine. Ali, proces prolaska stanja kroz uređaj S može se preciznije



shvatiti i kao modifikacija koja se odvija u dve etape. U prvoj etapi početno stanje $\psi$ se »raspada« na delove $\psi_1$, $\psi_2$, $\psi_3$, $\psi_4$; vidi sl. 3.b. U drugoj etapi svi delovi osim onog koji izlazi iz merne aparature se »uništavaju«! »Preživljava« samo onaj deo koji je uspeo da emituje informaciju o vrednosti merene veličine.




Slika 3. a

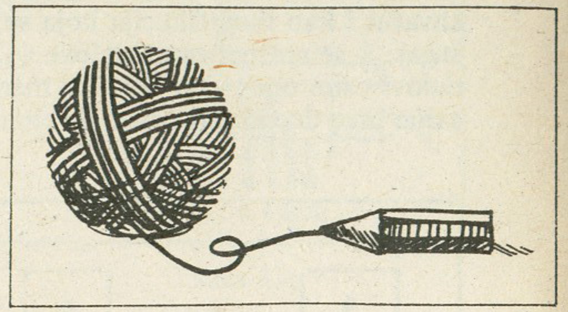



Slika 3. b

Prema tome, kao da je početno stanje $\psi$ latentno bilo jedan skup stanja, jedan »paket« koji se u toku prolaska kroz merni pribor, i u interakciji sa njim, »raspao« i »redukovao« na samo jedan deo, na samo jedno novo stanje. Pošto se stanje $\psi$ često naziva i talasnom funkcijom ili čak talasnim paketom, to se i opisana pojava promena stanja kvantne čestice u toku merenja može nazvati *redukcijom talasnog paketa.* Da ovaj neobični fenomen karakteriše jedno kvantno merenje može se videti ako se na analogan način prikaže mirna sudbina klasičnog stanja u procesu klasičnog merenja (sl. 3.a.).

Navedena shema kvantnog merenja, iako izvedena iz pažljivije analize jednog eksperimenta je opšta i suštinski karakteriše kvantna merenja. Prema tome, važe sledeći fundamentalni zaključci: *Kvantno merenje se u opštem slučaju ne može obaviti bez drastične promene kvantnog stanja. Ova promena je skokovita, nepredvidljiva i nepovratna. Jedino u takvom procesu može biti izvučena informacija o brojnoj vrednosti određene fizičke veličine pojedinačnog kvantnog objekta.* Paradoksalno govoreći, možemo se i ovako izraziti: *Kao da kvantna čestica pre merenja, iako je u precizno određenom kvantnom stanju, nema određene vrednosti neke fizičke veličine, odnosno određenu osobinu. Kao da je ta fizička osobina samo »latentna«, samo »potencijalno moguća«. Kao da ona »postaje stvarna«, kao da se »stvara« u toku samog mernog procesa. Kao da određena fizička osobina nije svojstvo samih kvantnih objekata, nego posledica snažnog delovanja makro-delova mernog lanca na njih.* Ove tvrdnje na izvestan način možemo uporediti sa tvrdnjom da sam proces osvetljavanja belom svetlošću nekog predmeta iz uobičajenog iskustva koji se nalazi, na primer, u mračnoj sobi, ovome daje tačno određenu boju.

Navedeni neobični zaključci bili su i još su uvek i danas, pola veka posle stvaranja nauke o mikro-česticama, veliki intelektualni izazov. Tema vezana za kvantna merenja spada u najteže i još po mnogo čemu otvorene probleme ove oblasti fizike.

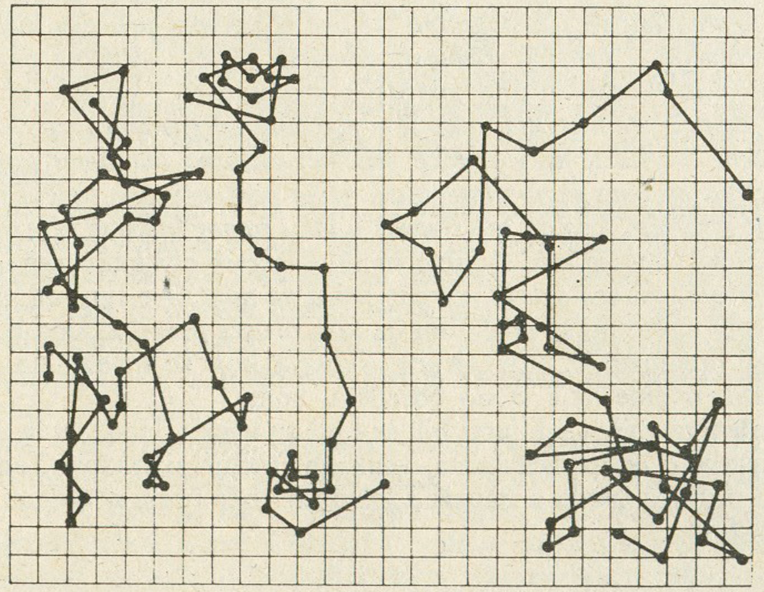


## PERENOVA POTVRDA ATOMISTIČKE PRETPOSTAVKE

SREĆKO VOJVODIĆ (Beograd)

Prelom u sporu oko postojanja atoma dugujemo Žanu Perenu. Serijom radova, izvdenih 1908. i 1909. i objavljenih 1909. godine, on je pokazao da se jedna od ranije poznata pojava (Braunovo kretanje) ne može objasniti drukčije nego kao posledica kretanja stvarno postojećih molekula.

Botaničar Braun zapazio je još 1827. godine da se sićušne čvrste čestice (polen) u tečnosti neprekidno kreću bez ikakvog reda, haotično. Ovo kretanje ne može biti posledica strujanja tečnosti pošto svako strujanje prilično brzo prestaje čim se prekine spoljne delovanje (uzburkavanje) tečnosti. Uzimanje u obzir dejstva teže i Arhimedovog potiska može ukazati samo na vertikalno kretanje pomenutih čestica (nagore ili nadole).



Putanje čestica pri Braunovom kretanju (Perrin, Oeuvers Scientifiques, Paris, 1950, p. 218, p. 218, Fig. 25.)



Braunovo otkriće imalo je slabog odjeka među fizičarima. Oni malobrojni koji su mu posvetili svoja proučavanja skoro bez izuzetka zaključivali su da je pojava molekulske prirode, tj. da se Braunovo kretanje odvija pod dejstvom udara molekula koji se haotično kreću. D bi se pojava ispoljila, čestice moraju biti dovoljno sitne. U protivnom, udari velikog broja molekula na raznim stranama jedne čestice međusobno se potiru i makroskopska čestica ne pokazuje nikakvo haotično kretanje. Razmišljajući o ovome, Peren je napravio kopernikanski obrt: naslutio je mogućnost da se upravo Braunovo kretanje iskoristi kao dokaz molekulske hipoteze. O tome on je pisao:

»*Ono što je stvarno čudesno i novo u Braunovom kretanju to je što ono nikad ne prestaje. Na prvi pogled to izgleda protivrečno našem svakodnevnom iskustvu u kome mi imamo posla s trenem. Ako, na primer, nalijemo vodu u sud, mi smatramo obaveznim da kroz neko, ne mnogo dugo vreme, kretanje ,u kome tečnost učestvuje, iščezne. Proanaliziraćemo, međutim, na koji se način postiže ova prividna ravnoteža. U početku su brzine svih čestica vode približno jednake i istog smera. Ovaj se red narušava čim smo neke od čestica, udarivši o zidove suda, odskoče u raznim pravcima sa izmenjenim brzinama da bi se odmah sudarile s drugim česticama tečnosti koje će ih odbiti u drugim pravcima. Na taj način, nekoliko trenutaka posle pada svi delovi vode još su u kretanju ali je sada već neophodno posmatrati dovoljno malu količinu tečnosti da bi brzine u različitim njenim tačkama bile približno jednake (po vrednosti) i jednako upravljene. Ovo se lako vidi ako se u tečnosti baci nekoliko zrnaca cvetnog praha koja će početi sve neuređenije i neuređenije da se kreću, jedna u odnosu na drugu.*

*Hoće li se beskonačno produžiti ovaj proces smanjivanja uređenosti?*

*. . .Očigledno, ne može se ne doći do sledećeg zaključka:*

*Pošto razlaganje usmerenosti kretanja u tečnosti ne traje beskonačno nego je ograničeno spontanim vaspostavljenjem reda, same se tečnosti moraju sastojati od zrnaca, tj. od molekula koji mogu da se kreću jedni u odnosu na druge u svim mogućim pravcima, ali unutar kojih je prenos kretanja nemoguć. Kada takvi molekuli ne bi postojali, ne bi bilo moguće ni na koji način distići granicu povećavanja neuređenosti kretanja.*« (Iz članka u Annales de Chimie et de Physique **18** 1—114 (1909).)

Da bi jedna hipoteza postala teorija, ona mora dobiti potvrdu, proverjivu u praksi. Svoje napore Peren j usmerio ka dobijanju takve potvrde.

Ukoliko se pođe od molekulske hipoteze, iz matematičkog opisa pojava u gasovima i razblaženim rastvorima sledi zaključak da je temperatura srazmerna prosečnoj kinetičkoj energiji (polovina proizvoda mase i kvadrata brzine, $mv^2/2$) molekula. Ako kinetičku energiju označimo sa W, imamo

$$T = \frac{2}{3}\frac{N_A}{R}W.$$

U ovoj formuli R označava univerzalnu gasnu konstantu, a $N_A$ Avogardov broj koji prikazuje koliko molekula ima u jednom molu bilo koje supstance. (Molom se naziva uvek ista količina neke supstance koja, nezavisno od uslova, hemijski reaguje sa takođe stalnim količinama drugih supstanci. Zapremina jednog mola bilo kog gasa ista je pri određenom pritisku i temperaturi). Pošto pri izvođenju gornje formule nigde nije ograničena veličina molekula koji učestvuju u toplotnom kretanju, to je ona primenljiva i na čestice koje se sas-

toje od više nolekula, pa tako i na one čije se Braunovo kretanje zapaža. Na pomenutom mestu, Peren o tome piše:

»*Ukratko, mi na svaki način dolazimo do zaključka da je srednja energija premeštanja molekula jednaka srednjoj energiji zrnaca emulzije. Prema tome, ako nađemo način izračunavanja energije zrnaca na osnovu merljivih veličina, na taj način ćemo moći da proverimo našu teoriju. Pošto odgovarajući eksperimenti budu izvršeni, moguća su samo dva slučaja. Prvo, može se ispostaviti da se dobijeni brojevi znatno razlikuju od onih koje predskazuje gore izložena kinetička teorija. Ako se još oni budu razlikovali u zavisnosti od veličine ispitivanih zrnaca emulzije, verodostojnost kinetičke teorije se smanjuje i pitanje uzroka Braunovog kretanja ostaje otvoreno. Drugo, ovi brojevi mogu se, do na red veličine, slagati s predskazanima. U tom slučaju, mi ne samo da imamo pravo da molekulsku teoriju tog kretanja smatramo dokazanom, nego i da naše eksperimente smatramo za u naše vreme dovoljno tačan metod određivanja deličine molekula.*«

Peren je izračunao da se koncentracija (tj. broj čestica po jedinici zapremine) ovako razlikuje na raznim visinama u nekom sudu ispunjenom tečnošću. Razlika koncentracije između visine H i H + h (h je mnogo manje od H) srazmerna je: razlici visina h, zapremini pojedine čestice, razlici specifičnih težina (težina po jedinici zapremine) čestica i tečnosti u kojoj one plivaju, kao i samoj koncentraciji na visini H, a obrnuto srazmerna njihovoj srednjoj kinetičkoj energiji. Sada je eksperimntalno trebalo odrediti koncentracije čestica u tečnosti na dve visine, znajući veličinu i specifičnu težinu čestica, kao i tečnosti, i temperaturu. Tada samo ostaje da se primeni ogre opisana formula i izračuna Avogardov broj.

Obavljanje eksperimenta, ovako jednostavno prikazanog, pokazalo se izuzetno teškim. Prvu etapu predstavljao je izbor radnog materijala. Posle mnogo proba izabrana je jedna smola koja se upotrebljava za izradu boja i lakova. U nizu pogodnih osobina izdvajao se pravilan loptast oblik čestica koje su se mogle načiniti od ove smole. U drugoj etapi trebalo je izdvojiti dovoljnu količinu čestica određenog prečnika. Peren je primenio postupak centrifugalnog razdvajanja. Njegova suština je u sledećem. Epruveta se napuni emulzijom vode i česticama smole, raznih prečnika. Potom se stavi u centrifugu i podvrgne brzom obrtanju. Po dejstvom centrifugalne sile, tj. veštačke teže koja deluje ka dnu epruvete i po vrednosti višestruko premašuje Zemljinu težu, čestice se talože, i to utoliko brže ukoliko su krupnije. Posle nekog vremena proces se zaustavlja i odliva emulzija iznad taloga. U njoj sada sitnije čestice preovlađuju nad krupnima. Zatim se ovakvom emulzijom puni epruveta i postupak se ponavlja. Posle nekoliko ciklusa, u emulziji više nema čestica sa prečnikom iznad neke vrednosti. U nastavku, izvodi se niz ciklusa suprotnog odabiranja. Sada se, naime, izdvajaju talozi pri čemu svaki naredni ciklus ostavlja u talogu sve krupnije čestice. Na kraju celog postupka dobijaju se čestice sa prečnicima u nekom uskom intervalu vrednosti, dakle praktično homogena emulzija.

Naredni korak bio je posvećen određivanju gustine čestica. Prvo je iz pripremljene emulzije uparavanjem otklanjana sva voda, a zatim je na uobičajeni način određivana gustina preostale smole. Pošto se moglo sumnjati da gustina homogene smole nije sasvim jednaka gustini smole usitnjene u čestice



(zbog delovanja površinskih sila), Peren je sproveo i kontrolni postupak. Uzeo je iste zapremine vode i emulzije, pod istim spoljnim uslovima, i izmerio im mase. Zatim je emulziju upario, pa izmerio masu preostale smole. Iz tih podataka dobio je kontrolnu vrednost koja se izvrsno poklopila sa prvom.

Tada je došlo na red prebrojavanje čestica. Kap emulzije stavljana je u naročiti mikroskopski sud, isti onaj koji su upotrebljava za analizu krvi. Taj sud je, u stvari, vrlo plitko i ravno udubljenje na staklenoj pločici. Sud se pokriva kako emulzija ne bi isparavala, i sve postavlja strogo vodoravno. Ovaj preparat se posmatra mikroskopom uz korišćenje takvog objektiva koji daje oštru sliku samo jednog veoma tankog sloja emulzije (jedan hiljaditi deo milimetra, što je sto puta manje od dubine suda). Budući da čestice učestvuju u Braunovom kretanju, nije ih moguće prebrojavati neposrednim posmatranjem, već se moraju praviti fotografski snimci. I ovo je bilo moguće samo za čestice, prečnika većeg od pola hiljaditog dela milimetra (0,5 μm). Za sitnije se morao delimično menjati postupak. U zoni oštre slike postavljana je neprozirna folija sa samo jednim otvorom, probušenim iglom. U tom malom krugu čestice su prebrojavane okom. Pošto se čestice neprestano kreću, brojevi koji se dobijaju pri ponovljenim merenjima uvek se razlikuju. Naravno, pri povećanju broja merenja, srednja vrednost rezultata se sve tačnije određuje. Pokazalo se da je potrebno nekoliko *hiljada* merenja za postizanje koliko-toliko prihvatljive tačnosti.

I da dalje ne dužimo. Dosadašnje izlaganje vas je, verovatno, sasvim zamorilo. A, šta mislite, kako li je tek bilo Perenu i njegovim saradnicima?! Sa ne manjom pedantnošću i strpljenjem bacio se on na određivanje prečnika čestica. Opet mnogostruka ponavljanja, opet nezavisni metodi — radi uzajamne kontrole.

Analizirano je šest različitih emulzija. Prebrojano je dvadesetak hiljada čestica. Za sve njih sprovedeni su odgovarajući proračuni. I rezultati su pokazali:

— razlike u masama čestica: do 40 puta;
— razlike specifičnih težina: do 5 puta;
— razlike u brzinama menjanja koncentracije čestica sa visinom: do 30 puta.

A razlike dobijenih vrednosti Avogardovog broja: za *jednu sedminu*. Peren je, moramo priznati, s punim pravom zaključio:

»*Uveren sam da um, slobodan od predrasuda, nije sposoban da opovrgne izuzetnu raznovrsnost pojava koje se, tim više, svode na isti rezultat... i ja mislim da će od sada teško braniti neprijateljski odnos prema molekulskoj hipotezi, ma i najmanje razumnim argumentima, pošto je ona odbacila, jednu za drugom, sve optužbe...*«

## KAKO ISPITUJEMO ATOME (II DEO)

ISTOK ČADEŽ (Beograd)

Da bi se atomske čestice (atomi i milekuli) najkompletnije mogli ispitivati elektronskim udarom, odn. bombardovanjem elektronima, potrebno je posmatrati jednostruke sudare elektrona sa pojedinačnim izolovanim česticama mete. U tom slučaju saznajemo o česticama u svojim neporemećenim stanjima. Da bi ovakvi *binarni sudari* mogli da se izučavaju, potrebno je eksperiment vršiti u visokom vakuumu i o tom eksperimentalnom preduslovu će biti reči u ovom nastavku.

---

Osnovne čestice koje čine gas jesu atomi ili molekuli, zavisno od vrste gasa. Za atome, molekule, nestabilne delove molekula — radikale, kao i jone svih pobrojanih čestica, često koristimo zajednički naziv — atomske čestice.

Molekule mogu činiti dva ili više atoma, te ih zovemo dvoatomski ili višeatomski. Za višeatomske (troatomske, četvoroatomske itd.) molekule veoma je značajno da imaju određen oblik. Ovaj oblik se obično menja kada se molekulski elektronski omotač pobudi, što znatno otežava ispitivanja ovakvih molekula, ali s druge strane, daje i dodatnu lepotu i bogatstvo molekularnim pojavama.

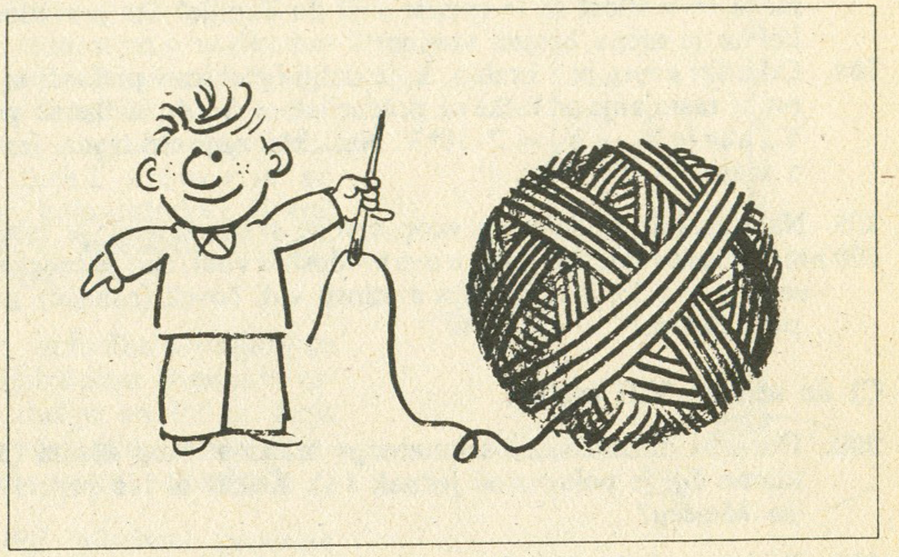
---

Izučavanje binarnih elektron-atomskih sudara moguće je vršiti ako elektron-projektil u toku svog kretanja od mesta polaska (mesta formiranja elektronskog snopa) do mesta sakupljanja (kolektora elektrona ili drugog detektora) ima veoma malu verovatnoću da se sudari s česticom mete, tj. treba da »vidi« veoma prazan prostor. Ako ovo ne bi bilo tako, ako bi se većina elektrona sudarala sa metom, onda bi i verovatnoća da se neki od elektrona sudari dva i više puta takođe bila velika. Potrebno je, dakle, da izučavani sudar bude dovoljno *redak događaj*, kako bi elektron nakon sudara »nosio« što »čišću« informaciju o čestici sa kojom se sudario. Posmatrani elektron-projektil treba da bude u sličnoj situaciji kao kraljica na kraju šahovske partije u kojoj su protivnici izmenili većinu figura. U toj situaciji kraljica »vidi« u skoro svim pravcima ivicu šahovske table (zid vakuumske komore) i samo u nekom od pravaca drugu figuru (atomsku česticu).

Usled velike brzine, kojom s atomi i molekuli gasa pod normalnim uslovima kreću, uticaj Zemljine teže na to kretanje može uglavnom da se zanemari. Atomi ili molekuli gasa se, dakle, u našoj slici kreću pravolinijski i pravac kretanja skokovito menjaju samo pri sudaru sa drugim česticama gasa ili zidovima suda u kome se nalaze. Ukoliko zamislimo da smo se na neki čudesan način smanjili do dimenzija atoma i da posedujemo takođe čudesnu moć da vidimo atome oko nas, onda nam je prilično jasno kada će međusobni sudari atoma biti relativno redak događaj: ako oko sebe vidimo uglavnom samo zidove suda u kome se nalazimo, a samo ponegde neki od atoma gasa, onda će se svaki atom u toku svog kretanja češće sudarati sa zidovima komore nego sa drugim atomima. Ukoliko je pak gustina atoma takva da oko sebe vidimo samo druge atome, dok zidove komore veoma malo ili uopšte ne vidimo, onda

**(Nastavak na 17. strani)**

## *ZADACI ZADACI ZADACI ZADACI ZADACI*



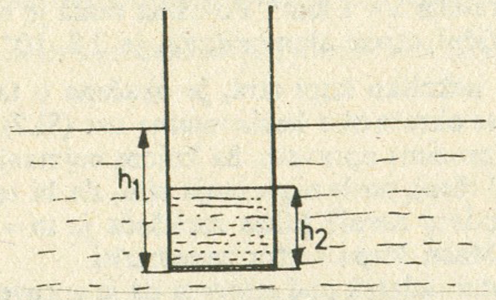
### KONKURSNI ZADACI

**A) Za učenike VI razreda**

**200.** Odrediti veličinu sile potiska koja deluje na telo u obliku lopte prečnika 30 cm kada se ono nalazi u vazduhu. Koliko puta je ova sila manja od sile potiska koja deluje na isto telo kada se ono nalazi u vodi?

**201.** Težina nekog tela u vazduhu iznosi 100 N. Kada se dato telo potopi u alkohol, čija je gustina 800 kg/m$^3$, težina tela isnosi 70 N. Odrediti gustinu datog tela.

**202.** Na donji kraj otvorene cevi, čiji je presek 10 cm$^2$, prislonjena je tanka pločica mase 1,36 kg tako da hermetički zatvara cev. Kada se cev sa pločicom potopi u vodu do dubine $h_1 = 1{,}5$ m hidrostatički pritisak datog stuba vode neće dozvoliti da pločica otpadne. Ako u cev lagano sipamo živu desiće se da će u jednom trenutku pločica otpasti. Odrediti visinu stuba žive $h_2$ (Sl.1) koji pločica može držati.




**Slika 1**

**B) Za učenike VII razreda**

**203.** Neka zvezda je udaljena od Zemlje 4,3 svetlosne godine. Za koliko vremena će svetlost sa te zvezde stići do Zemlje? Šta je svetlosna godina i kolika je njena brojna vrednost?

**204.** Odrediti energiju i brzinu, koje dobija elektron prešavši u električnom polju rastojanje od tačke sa potencijalom $V_1$ do tačke sa potencijalom, $V_2$, ako je $V_2 - V_1 = 2 \cdot 10^6$ V. Naelektrisanje elektrona je $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C a masa $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg.

**205.** Na površinu vode pada snop crvene svetlosti čija je talasna dužina 700 nm. Odrediti talasnu dužinu ove svetlosti u vodi, ako je indeks prelamanja vode n = 1,33. Kakvu boju svetlosti vidi čovek (ronilac) koji se nalazi pod vodom?

**C) Za učenike VIII razreda**

**206.** Odrediti dužinu tzv. »sekundnog« matematičkog klanta (matematičko klatno čiji je poluperiod jednak 1 s). Koliki bi bio period ovog klatna na Mesecu?

**207.** Primarno kolo transformatora je priključeno na napon $U_1 = 220$ V. Napon na krajevima sekundara je $U_2 = 20$ V, njgov ukupi otpor $r = 1\Omega$ a jačina struje u njemu $I_2 = 2$ A. Odrediti koeficijent transformacije k i koeficijent korisnog dejstva k transformatora. Gubitke u primarnom kolu zanemariti.

**208.** Odrediti brzinu prostiranja zvuka u vodi, ako zvučni izvor, koji osciluje periodom od 0,002 s, pobuđuje u vodi talase talasne dužine od 2,9 m.

**209.** Na primarni kalem transformatora, koji ima 400 navojaka, priključen je napon od 220 V. Pri tome se na krajevima sekundarnog kalema indukuje napon od 120 V. Odrediti broj navojaka sekundarnog kalema, ako znamo da gubici snage iznose 3,8%.

**D) za učenike I razreda zajedničkih osnova usmerenog obrazovanja**

**210.** Magneta indukcija homogenog magnetnog polja raste proporcionalno vremenu: $B = k\ t$, gde je $k = 10$ T/s konstanta proporcionalnosti. Kolika se količina toplote izdvoji u ramu oblika kvadrata čija je strana $a = 1$ m za vreme $\Delta t = t_2 - t_1 = 2$ s? Ram je izrađen od aluminijuma poprečnog preseka $S = 1$ mm². Površina rama je normalna na magnetno polje. (Specifični otpor alumonijuma je $2{,}9 \cdot 10^{-8}\ \Omega$m).

**211.** Epruveta, sa nekoliko kapi etra, je okačena o tanak štap dužine 1 m, koji može da se okreće oko horizontalne ose (Sl.2). Ova osa je normalna na pravac koji zauzima epruveta. Sa kojom najmanjom brzinom treba da izleti zapušač (čep), posle zagrevanja etra, da bi epruveta napravila pun obrt u vertikalnoj ravni? Masa zapušača je m = 20 g, a masa epruvete M = 100 g. Masu štapa i etra zanemariti.

**212,** Rešiti prethodni zadatak pod uslovom da je epruveta umesto o štap okačena o tanak, neistegljiv i zanemarljivo težak konac.

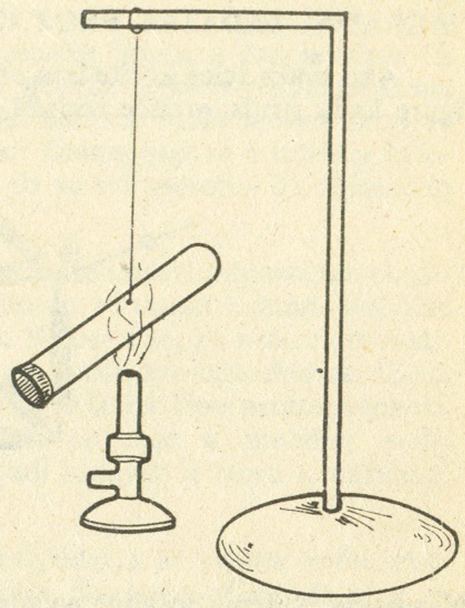


**E) za učenike II razreda zajedničkih osnova usmerenog obrazovanja**

**213.** Snop jednostruko naelktrisanih jona silicijuma, čiji je maseni broj 28, uleće u homogeno magntno polje indukcije 0,18 T i kreće se po krugu poluprečnika 21 cm. Odrediti kinetičku energiju ovih jona.

**214.** Atom vodonika osvetljava se ultraljubičasom svetlošću talasne dužine od 100 m. Koje će se spektralne linije pojaviti u spektru vodonika?

**215.** Odrediti relativnu promenu talasne dužine vidljive svetlost i ($\lambda = 500$ nm) i *h*-zraka ($\gamma = 5$ nm), pri kompotnovom efektu, za ugao rasejanja od 90°.



Slika 2

**Jablan Dojčilović**
**Aleksndar Srećković**

## UPUTSTVA ZA REŠAVANJE KONKURSNIH ZADATAKA

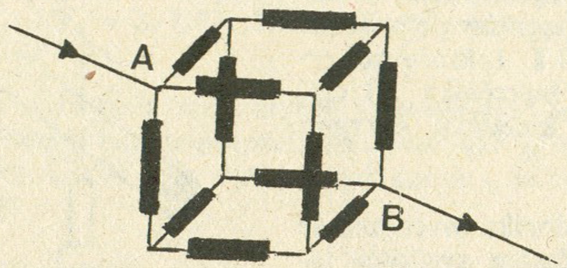
Rešite konkursne zadatke iz ovog boja *Mladog fizičara* i rešenja pošaljite. Interesantna rešenja i imena svih učesnika koji su sve zadatke (ili neke o njih) rešili tačno objavićemo u sledećem broju *Mladog fizičara*. Najuspešnijim rešavačima za svaki razred dodelićemo prigodne nagrade na kraju školske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

Svako rešenje (s rednim brojem zadatka i tekstom) treba obrazložiti na jednoj srani lista hartije. Rešenje treba čitko potpisati punim prezimenom i imenom navodeći razred, školu, mesto i svoju adresu. Navedite i ime i prezime nastavnika fizike. Ove podatke uneti u kupon.

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

## NAGRADNI ZADATAK BROJ 17

Ako svaka ivica kocke ima otpor od jednog oma, koliki je otpor čitave figure kada struja protiče između tačaka A i B (vidi sliku)?




**Odabrao: D. Koleđin**

**Napomena** Rešenje pošaljite na adresu Društvo matematičara, fizičara i astronoma SR Srbije (nagradni zadatak iz fizike). p.p. 791, 11001 Beograd. Na samom radu i kuponu ispišite svoje ime i prezime, razred, naziv škole, svoju adresu i ime i prezime svog nastavnika fizike. Za tačno rešenje ovog zadatka biće nagrađeno 10 učenika. Po potrebi odlučiće žreb.

---

Čest je slučaj da čitaoci koji šalju rešenja konkursnih zadataka, rešenje nagradnog zadatka ili odgovore na zadatke pitanja izostavljaju neke tražene, a često i neophodne podatke. Najčešće nedostaje ime i prezime predmetnog nastavnika, a često naziv škole i adresa rešavača. Zbog toga je redakcija »Mladog fizičara« odlučila da odštampa poseban kupon u koji treba uneti tražene podatke. **Uz rešenje konkursnih zadataka, rešenje nagradnog zadatka ili odgovore na zadatke pitanja obavezno priložiti i čitko popunjen kupon,** koji treba izrezati. Kupon će uvek biti odštampan tako da se njegovim isecanjem ne oštećuje ni tekst ni slika.

**KUPON**

UČENIK .....

ŠKOLA I RAZRED .....

NASTAVNIK .....

ADRESA UČENIKA .....



## ZADACI PITANJA

A. Zamislite da se nalazite na levoj obali manjeg jezera, a dan je takav da vetar duva sa desne na levu obalu. Treba da pređete na desnu obalu, ali imate samo jednu jedrilicu, ili čamac sa jedrom, bez motora. Kako možete preći na desnu obalu, iako vam vetar duva u pramac? Onima koji se u jedrenje razumeju to veoma lako uspeva, ali to ne znači da su svi sposobni da objasne to svoje umeće.

B. Ako planirate da na leto idete na more, izvedite sledeći jednostavan eksperiment. Uđite u vodu koja je dublja nego što ste vi visoki i stanite vojnički mirno. Skupite noge i ruke postavite uz telo. Ne bojte se, jer nećete potonuti. Ako malo izdignete glavu, tačnije istegnete vrat, moći ćete slobodno da dišete. Možete i da legnete na površinu vode i raširite sve četiri. Opet nećete potonuti. Znači, izvedimo očigledni zaključak, čovek ne tone u morskoj vodi. Odgovorite: kako to da se ipak mnogo ljudi udavilo u moru i, naravno, potonulo?

C. Lubenicu možete ohladiti i ako nemate ni frižider, a ni hladnu vodu. Potrebno je da dan bude sunčan i da je što topliji. Šta treba učiniti da biste to postigli i objasnite o čemu je reč?

*Odabrao:* **LJ. Ristovski**

---

## TOPLA PREPORUKA

**»Vasiona«** je časopis za satronomiju, koji izdaje astronomsko društvo »Ruđer Bošković« iz Beograda. Prvi broj časopisa izašao je 1953. godine, i od tada neprekidno izlazi u četiri broja godišnje. Članke pišu ugledni svetski i jugoslovenski akademici, doktori i magistri, a takođe i drugi mladi stručnjaci.

Pored stručnih članaka, časopis sadrži i članke namenjene početnicima, koji omogućuju sticanje osnovnih znanja o pojedinim nebeskim telima i pojavama. Prilozi školskoj nastavi namenjeni su osnovcima, srednjoškolcima i studentima astronomije, u kojima se detaljnije obrađuju pojedine oblasti. Uz ovakve članke redovno se daju i zadaci sa rešenjima i zadaci namenjeni vežbi i proveri usvojenog znanja.

Sve informacije u vezi sa pretplatom na časopis mogu se dobiti na telefon **(011) 624—605),** ili na adresu: **11000 Beograd. Kalemegdan, Narodna opservatorija.**

## ZADATAK 6E

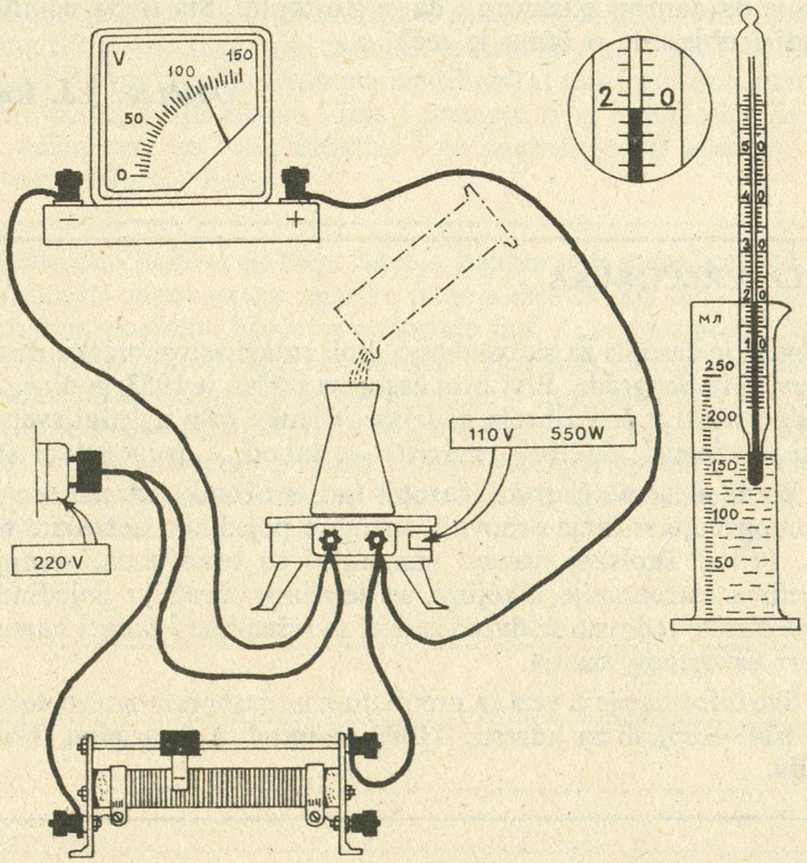
1) Na slici je pokazan potreban pribor i elekrtična blok-shema za ostvarenje jednog eksperimenta na temu „Red električne struje.“ Kao što se vidi, određena másа vode naspe se u stakleni sud koji se zatim zagreva na rešou.

2) Ako se 50% električne energije iskorišćava za zagrevanje vode u sudu, odrediti vreme za koje će temperatura vode dostići 50°C.

Koliku električnu energiju je za to vreme utrošio rešo?

3) Kakva je uloga upotrebljenog otpornika?

Pri upotrebi otpornika (reostata) uvek se vodi računa o njegovoj „snazi“, pod kojom se podrazumeva njegova sposobnost da propusti obređenu jačinu struje a da pri tome ne bude oštećen. Maksimalna struja koja sme da teče kroz otpornik, naznačena je na svakom otporniku. Imajući u vidu uslove našeg eksperimenta, odredite koji od navedenih otpornika treba upotrebiti: A (2000 Ω, 0,1 A), B (2000 Ω, 0,2 A) C (1000 Ω, 3 A), D (30 Ω, 5 A), E (15 Ω, 10 A).




NAPOMENA

**Rešavanjem ZADATKA E lakše ćete ovladati eksperimentalnim radom u oblasti elektromagnetizma. Svoja rešenja, za koja crteži mogu biti rađeni slobodnom rukom, pošaljite na adresu: Mladi fizičar (ZADACI E), pp 791, Knez Mihajlova 35/IV. Rešenja zadataka 5E i 6E objavićemo u sledećem broju.)**



## REŠENJE NAGRADNOG ZADATKA BROJ 16

Otpor (R) parčeta bakarne žice čija je dužina (l) jednaka visìni učionice mogućno je odrediti na osnovu Omovog zakona, formirajući kolo struje sa činjeno od nje, voltmetra (vezanog paralno) i ampermetra (vezanog serijski) Naime, na voltmetru se očitava napon V, a na ampermetru jačina struje I. Otuda je

$$R = \frac{V}{I} = \rho \frac{l}{S},$$

gde je S poprečni presek bakarne žice, a ρ je specifični otpor bakra. S druge strane, masu bakra žice izmerenu na terazijama mogućno je izraziti preko dužine l, poprečnog preseka S i gustine bakra D, naime,

$$m = D l S$$

Množeći dve poslednje jednačine (levu stranu s levom, desnu s desnom), dobijamo

$$\frac{mV}{I} = \rho D l^2.$$

**Odatle je**

$$l = \sqrt{\frac{mV}{\rho D I}}.$$

Veličine m, V i I su određene eksperimentalno, a za iznalaženje veličina ρ i D poslužiće tablice.

Na isti način je potrebno odrediti i druge dve dimenzije učionice — dužinu i širinu, nakon čega se zapremina dobija množenjem sve tri dimenzije

## ODGOVORI NA ZADATKE PITANJA IZ BROJA 19

A. Odgovor na postavljeno pitanje nije, kako možda izgleda na prvi pogled, ni malo jednostavan. Postoji više razloga zbog kojih nam buka drugog voza izgleda znatno veća od buke voza u kome se nalazimo:

Oba izvora, i voz koji nailazi i naš voz, stvaraju buku u prostoru ispod vagona, tačnije ispod nivoa poda vagona. Zvuk voza u kome se nalazimo, ukoliko se u njegovoj blizini u posmatranom trenutku ne nalazi neka čvrsta prepreka (zid, stena ili kuća pore pruge), do nas dopire »prolazeći« kroz pod vagona (materijal od koga je izrađen pod igra ulogu prenosioca), ili kroz prozor i druge otvore zahvaljujući pojavi difrakcije zvučnih talasa. Pri datim dimenzijama prepreke, talas će slabije difraktovati ako mu je manja talasna dužina. Zato je intenzitet zvučnih talasa velikih talasnih dužina (dublji tonovi) veći od intenziteta talasa krat kih talasnih dužina (visoki tonovi). Međutim, buka voza koji nailazi ima na putu do nas

znatno manje prepreke. Zvučni talasi dopiru kroz prozor. Njihov intenzitet je praktično neizmenjen, a čuju se podjednako dobro zvučni talasi svih talasnih dužina. To je prvi razlog zbog koga je buka ovog voza veća i neprijatnija.

Pored ovoga, kada se voz koji nailazi i voz u kome se nalazimo nađu jedan pored drugog, zvučni talasi oba voza se višestruko reflektuju (odbijaju) od vertikalnih strana vagona i nakon tih refleksija ulaze koz prozor vagona uvećavajući ionako veliku buku.

Treći razlog je psihološke (ili fiziološke) prirode. Naime, čula veoma brzo reaguju na promenu intenziteta zvuka, dok se na zvuk stalnog intenziteta posle izvesnog vremena navikavaju. Na ovo najbolje ukazuje činjenica da trenutak nakon mimoilaženja sa poslednjim vagonom drugog voza, doživaljavamo kao trenutak iznenađujuće ugodne tišine, iako to nije ni izbliza tako.

B. Pre nego što odgovorimo na pitanje, podsetimo se šta se dešava pri klizanju.

Stojeći na klizaljkama, delujemo svojom težinom na relativno malu površinu leda. Pošto je odnosom sile i površine određen pritisak ($p = F/S$), to znači da na led delujmo velikim pritiskom, to većim što je površina klizaljki (o koju se oslanjamo) manja. Zbog toga menjamo tačku topljenja leda na kome se nalazimo, tačnije led počinje da se topi na višoj temperaturi. Tako se led ispod klizaljki topi a klizaljke se nalaze na tankom sloju vode koji znatno umanjuje trenje pri kretanju.

Ako se krećemo po rapavoj ledenoj ploči, osalanjamo se nogama ili klizaljkama na manju površinu, nego kada se krećemo po glatkoj ledenoj ploči. U stvari, oslanjamo se samo na vrhove ispupčenja na ledenoj ploči, pa zato na nju (na ta ispupčenja) delujemo većim pritiskom. Led se lakše topi a otpor kretanju je mali, tj. rapava ledena ploča je klizavija.

C. Stub plamena koji se nalazi u staklu greje se znatno jače od vazduha koji je izvan stakla. Jako zagrejan vazduh se brzo kreće uvis, a u donji deo stakla uvlače se nove količine vazduha. Tako se u staklu uspostavlja intenzivno strujanje vazduha, čime se obezbeđuje dobro snabdevanje kiseonikom. Veće prisustvo kiseonika obezbeđuje bolje sagorevanje, veći plamen.

## REŠENJE KONKURSNIH ZADATAKA

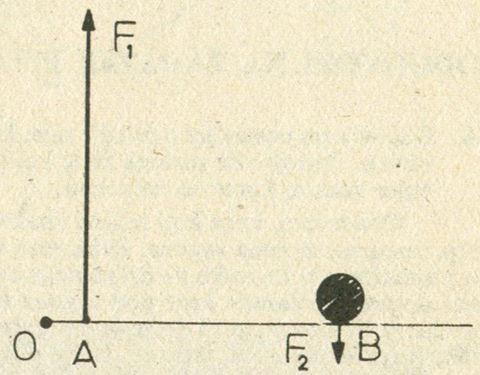
**184.** Poznato nam je da je pritisak brojno jednak sili koja normalno deluje na jedinicu površine. U ovom zadatku sila $F = 10\ N$ deluje preko površine $S = 0{,}01\ cm^2 = 0{,}000001\ m^2 = 10^{-6}\ m^2$ na podlogu. Pritisak na podlogu iznosi

$$p = \frac{F}{S} = \frac{10\ N}{10^{-6}\ m^2} = 10^7\ Pa = 10\ MPa$$

Treba primetiti da se ovako ogroman pritisak postiže relativno malom silom ali ukoliko on deluje na vrlo malu površinu.

A. S.

**185.** U ovom zadatku imamo interesantan primer poluge kod čovečijeg tela. Čovek drži ili diže teret na principu poluge. Na Sl. 1 šematski su prikazani sila težine kugle $F_2 = 80\ N$ i sila zatezanja mišića $F_1$. Odgovarajuće napadne tačke sila su B i A. Tačka O, koja označava položaj lakta, je osa obrtanja poluge. U ovom slučaju je krak sile duž $\overline{OA} = 4\ cm$ a krak tereta duž $OB = 32\ cm$. Poluga je u ravnoteži kada je moment sile $F_1 \cdot \overline{OA}$ jednak momentu tereta $F_2 \cdot OB$:




Slika 1



$$F_1 \cdot \overline{OA} = F_2 \cdot \overline{OB}$$

odakle dobijamo da je

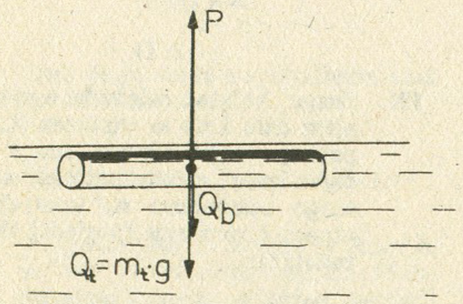
$$F_1 = F_2 \cdot \frac{\overline{OB}}{\overline{OA}} = 80\ N \frac{0{,}32\ m}{0{,}04\ m} = 640\ N.$$

Znači, sila zatezanja mišića je u ovom slučaju 8 puta veća od težine kugle.

A. S.

**186.** Pokušajmo da zadatak rešimo u nešto opštijem obliku, postavljajući sebi pitanje: Kolika je najveća masa $m_t$ tela koje balvan, zapremine $V_b$ i gustine $\rho_b$ može držati na vodi? Da bi pratili tok rešavanja zadatka pogledajmo sliku S1. Na slici je predstavljen graničan slučaj, kada je usled težine tela balvan celom zapreminom potopljen u vodu dok se telo nalazi u vazduhu. Na balvan deluju sila težine tela $Q_t$, sila sopstvene težine $Q_b$ i, nasuprot njima, sila potiska P. Znači, vertikalno naniže deluje rezultujuća sila R, jednaka algebarskom zbiru sila $Q_t$ $Q_b$:

$$R = Q_t + Q_b$$




Slika 2

Da bi balvan držao dato telo na vodi uslov je da sila potiska bude veća ili u graničnom slučaju jednaka rezultanti sila težine tela i težine balvana:

$$P \geqq R \quad \ldots\ldots(1)$$

Poznato nam je da je potisak jednak težini istisnute tečnosti, a u konkretnom slučaju, težini vode istisnute balvanom zapremine $V_b$:

$$P = \rho_0 V_b g \quad \ldots\ldots(2)$$

gde smo sa $\rho_0$ označili gustinu vode. S druge strane, da bi znali veličinu rezultantne sile R potrebno je odrediti masu balvana $m_b$:

$$m_b = \rho_b V_b$$

gde je $\rho_b$ — gustina drveta od kojeg je balvan napravljen. Sada imamo dovoljno podataka za određivanje rezultante R:

$$R = m_t g + m_b g = (m_t + \rho_b V_b) g \quad \ldots\ldots(3)$$

Smenom dobijenih izraza za P i R iz (2) i (3) u uslov (1) dobijamo da će balvan držati telo na vodi pod uslovom da je

$$\rho_0 V_b \geqq m_t + \rho_b V_b$$

odnosno

$$m_t \leqq (\rho_0 - \rho_b) V_b \quad \ldots\ldots(4)$$

Zamenom brojnih vrednosti, za veličine date za konkretni slučaj, u desnu stranu uslova (4) dobijamo:

$$m_t \leqslant (\rho_0 - \rho_b) V_b = \left(1000 \frac{kg}{m^3} - 440 \frac{kg}{m^3}\right) \cdot 0{,}5\ m^3 = 280\ kg.$$

Znači, dati balvan može držati na vodi telo čija je masa manja, ili u graničnom slučaju jednaka masi od 280 kg. Čovek mse od 70 kg može stajati na datom balvanu bez brige da će čak i okvasiti noge, jer će se u vodi nalaziti samo deo zapremine balvana.

A. S.

**187.** Na osnovu relacije koja povezuje pređeni put kod slobodnog padanja $h = gt^2/2$ nalazi se da je kamen pao sa visine $h = 176{,}58\ m$. Brzina v u tački koja se nalazi na sredini puta iznosi $v = \sqrt{gh}$. Na osnovu ovog imamo da je kinetička energija kamena jednaka

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot mgh = 1{,}732\ kJ$$

smanjenju njegove potencijalne ener-

gije, nastalom spuštanjem kamena sa visine h na visinu h/2.

J. D.

**188.** U oba kalorimetra se oslobode jednake količine toplote $Q = mc_v\Delta t$ i $Q = mc_x\Delta t_1$, gde je m— masa vode, odnosno tečnosti, $c_v$ — specifična toplota nepoznate tečnosti, $\Delta t$ — promena temperature vode, $\Delta t_1$ — promena temperature tečnosti. Možemo pisati $mc_v\Delta t = mc_x\Delta t_1$. Odavde sledi:

$$c_x = c_v \cdot \frac{\Delta t}{\Delta t_1} = 4200\ \text{J/kgK} \cdot \frac{5\ \text{K}}{8\ \text{K}} = 2{,}625\ \text{kJ/kgK}.$$

Gornja razmatranja važe pod pretpostavkom da su toplotni kapaciteti oba kalorimetra jednaki.

J. D.

**189.** U trenutku udara o podlogu, kugla ima samo kinetičku energiju. Pošto je kugla bačena početnom brzinom $v_0$ vertikalno naviše, to znači da joj je saopštena kinetička energija $E_{ko} = \frac{1}{2} mv_0^2$. Pretpostavljajući da nema gubitaka energije, što znači da se otpor vazduha može zanemariti, možemo zaključiti da će kugla pasti na podlogu sa istom kinetičkom energijom $E_{k0}$ sa kojom je krenula sa nje. Neka su kinetičke energije kugle neposredno posle prvog, drugog i trećeg udara $E_{k1}$, $E_{k2}$ i $E_{k3}$ respektivno. Pošto se, prema uslovu zadatka, posle svakog udara o podlogu izgubi 10% kinetičke energije, onda možemo pisati:

$$E_{k3} = \frac{9}{10} \cdot E_{k2},\quad E_{k2} \frac{9}{10} \cdot k_1 \text{ i } E_{k1} = \frac{9}{10} \cdot E_{k0},$$

odnosno

$$E_{k3} = \frac{9}{10} E_{k2} = \frac{9 \cdot 9}{100} E_{k1} = \frac{9 \cdot 9 \cdot 9}{1000} E_{k0} = \left(\frac{9}{10}\right)^3 E_{k0}.$$

Obeležimo brzinu kugle neposredno posle trećeg udara sa $v_3$. Tada je

$$mv_3^2 = \left(\frac{9}{10}\right)^3 \cdot mv_0^2,$$

odnosno $v_3^2 = (9/10)^3 \cdot v_0^2$.

Visinu do koje će kulga odskočiti posle trećeg udara o podlogu izračunavamo iz formule $v_3 = \sqrt{gh}$. Sledi

$$h = v_3^2/2g = \frac{(9/10)^3 \cdot v_0^2}{2 \cdot g} = 5{,}35\ \text{m}.$$

J. D.

**190.** Ekvivalentna otpornost paralalno vezanih strujnih izvora iznosi $r/3 = 0{,}1\ \Omega$, tako da je ukupna otpornost u kolu $R = r/3 + R = 2\Omega$. Kroz celo kolo protiče struja jačine $I_0 = E/R$, dok je jačina struje kroz pojedini strujni izvor tri puta manja od ove $I = I_0/3 = E/3R_e = 0{,}33$ A (iz razloga što su sva tri izvora identična odnosno što su im jednake i elektromotorne sile i otpornosti). Stepen korisnog dejstva $\eta$ datog sistema jednak je odnosu »korisnog« rada (izdvojenoj količini toplote na otporniku R) i rada koji za isto vreme izvrše strujni izvori. Koristan rad iznosi $RI^2 \cdot t$, a rad strujnih izvora $(RI^2 + rI^2/3)t$ tako da je:

$$\eta = \frac{R}{R + r/3} = 0{,}95$$

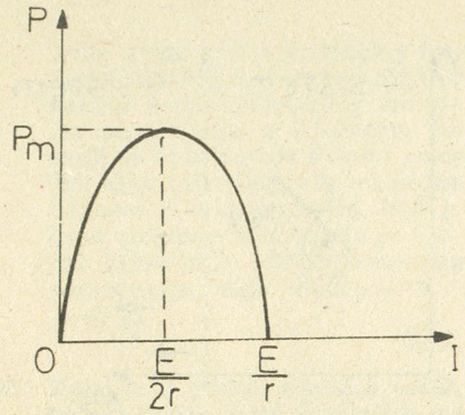
J. D.

**191.** Snaga, koja se oslobađa u spoljašnjem delu kola sa otporom R, jednaka je razlici ukupne snage koju daje izvor elektromotorne sile i snage oslobođene na unutrašnjem otporu izvora ems (pogledaj sledeći zadatak):

$$P = P_E - P_r = EI = rI^2 - I(E - rI)$$

Ovde smo sa $P_E$ označili snagu izvora ems, P — snagu oslobođenu u spoljašnjem delu kola, $P_r$ — snagu oslobođenu na unutrašnjem otporu izvora ems a sa I jačinu struje u kolu. Iz prethodnog izraza sledi da je snaga u spoljašnjem delu kola jednaka nuli kada je jačina struje $I_0 = 0$ (slučaj otvorenog strujnog kola) i kada je $I_0 = E/r$ (slučaj kratkog spoja izvora ems). Zavisnos-






Slika 3

snage P od jačine struje I je kvadratna (grafički-parabola). Sa slike 3. se vidi da je snaga maksimalma kada jačina struje ima vrednosti $I_m = E/2r$.

Pokušajte da grafički predstavite zavisnost P od I za različite delove vrednosti E/r i tako odredite vrednost jačine struje pri kojoj je snaga maksimalna. Kako je jačina struje u kolu sa otporom R jednaka

$$I = \frac{E}{r + R}$$

odakle je

$$R = \frac{E}{I} - r$$

sledi da je snaga u spoljašnjem kolu maksimalna kada je

$$R = R_m = \frac{E}{I_m} - r = \frac{E}{E/2r} - r = 2r - r = r$$

odnosno kada je spoljašnji otpor R jednak unutrašnjem otporu r. Maksimalna vrednost snage u spoljašnjem delu kola biće

$$P_m = R I_m^2 = R E^2/4r^2 = R \frac{E^2}{4R^2} = \frac{E^2}{4R}$$

A. S.

**192.** U tekstu zadatka nije rečeno, ali se podrazumeva, da se snaga P koja odgovara određenoj jačini struje I oslobađa na spoljašnjem otporu R. Snaga oslobođena u spoljanjem delu kola (na otporu R) jednaka je proizvodu napona U na otporu R i jačine struje I:

$$P = U \cdot I \quad \ldots\ldots (1)$$

Napon na otporu R jednak je razlici elektromotorne sile E i napona na unutrašnjem otporu izvora rI:

$$U = E - rI \quad \ldots\ldots (2)$$

Smenom izraza (2) u (1) do bijamo izraz za snagu u zavisnosti od veličine elektromotorne sile, unutrašnjeg otpora izvora i jačine struje:

$$P = EI - rI^2 \quad \ldots\ldots (3)$$

Do istog izraza možemo doći polazeći od činjenice da se snaga izvora elektromotorne sile $P_E = EI$ troši na snagu oslobođenu na unutrašnjem motoru izvora ems $P_r = rI^2$ i na snagu oslobođenu u spoljašnjem delu kola P. Na osnovu izraza (3) za odgovarajuće vrednosti jačina struje $I_1 = 10$ A i $I_2 = 15$ A dobijamo odgovarajuće vrednosti za snagu $P_1 = 200$ W i $P_2 = 240$ W:

$$P_1 = EI_1 - rI^2 \quad \ldots\ldots (4)$$

$$P_2 = EI_2 - EI_2^2 \quad \ldots\ldots (5)$$

Ako iz jednačine (4) izrazimo E u funkciji od r

$$E = \frac{P_1}{I_1} + rI_1 \quad \ldots\ldots (6)$$

i dobijeni izraz (6) smenimo u jednačinu (5) dobijamo posle sređivanja izraz za unutrašnji otpor izvora ems:

$$r = \frac{P_1 I_2 - P_2 I_1}{I_1 I_2 (I_2 - I_1)} \quad \ldots\ldots (7)$$

Smenom izraza (7) za unutrašnji otpor izvora ems u izraz (6) dobijamo izraz za elektromotornu silu u funkciji jačine struje i snage:

$$E = \frac{P_1 I_2^2 - P_2 I_1^2}{I_1 I_2 (I_2 - I_1)} \quad \ldots\ldots (8)$$

Srtuja »kratkog spoja«, koja odgovara jačini struje kada su direktno spojeni polovi izvora ems, jednake je odnosu veličine elektromotorne sile i unutrašnjeg otpora izvora

$$I_{ks} = \frac{E}{r} = \frac{P_1 I_2^2 - P_2 I_1^2}{P_1 I_1 - P_2 I_1} \quad \ldots\ldots (9)$$

Zamenom brojnih vrednosti, datih u uslovu zadatka, u izraze (7), (8)i(9) dobijamo da je r = 0,8 Ω, E = 28 V i $I_{kt}$ = 35 A.

A. S.

**193.** Na postavljena pitanja, odgovor možemo dati, samo ako malo pažljivije posmatramo električnu šemu kola. Ako kroz bateriju sa $E_2$ ne protiče struja, onda vrednost otpora $R_1$ ne može uticati na ništa, pa ni na pokazivanje ampermetra. Kada struja ne protiče kroz $E_2$ i $R_1$, ems $E_1$, ampermetar i otpor R obrazuju redno nerazgranato kolo. Tako, ostaje da se razjasni pri kojim uslovima struja ne protiče kroz $E_2$ i $R_1$. Na osnovu Omovog zakona primenjenog na ovaj deo kola, lako je uočiti da će jačina struje biti jednaka nuli kada je napon na otporu R jednak ems $E_2$ ($U = E_2$). Kako je

$$U = IR = \frac{R}{R + r_1} \cdot E_1,$$

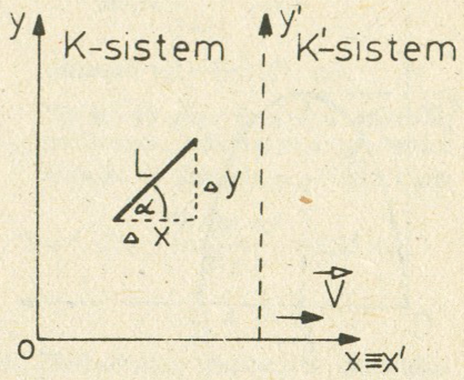
to je traženi uslov:

$$E_2 = \frac{R}{R + r_1} \cdot E_1.$$

Ovaj uslov će biti ispunjen za $E_2 < E_1$. Pri ovom otporu $R_1$ može da se menja od nule, pa do beskonačno velikih vrednosti. Međutim,poslednja relacija nije jedini mogući uslov, koji zadovoljava činjenicu da promena otpora $R_1$ ne menja pokazivanje ampermetra. Na primer, ako je $r_2 \gg R$ ($\gg$ — »mnogo veći od«) i $r_2 \gg r_1$, onda je jačina struje u grani, koja sadrži $E_2$ i $R_1$, mala u poređenju sa jačinom struje koja prolazi kroz ampermetar za bilo koje vrednosti otpora $R_1$. Tako promena otpora$R_1$ praktično ne utiče na pokaizvanje ampermetra. Mogući su i drugi uslovi. Pokušajte da ih nađete.

J. D.

**194.** U laboratorijskom koordinatnom sistemu (x0y—sistem ili K—sistem) projekcije dužine štapa duž koordinatnih osa su Δx i Δy (sl.4). Kako je ugao α = 45°, to je Δx = Δy Pored toga, dužina štapa može da se izrazi preko komponnti Δx i Δy relacijom:




Slika 4

$$L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y'^2}$$

U pokretnom sistemu' (K'-sistem) važi slična relacija:

$$L' = \sqrt{\Delta x'^2 + \Delta y'^2}$$

gde su L' — dužina štapa u pokretuom koordinatnom sistemu, Δx'i Δy' — projkcije dužine L' na ose x'i y'. Da bi odredili koliko iznosi L', treba da odredimo Δx' i Δy'. Prema teoriji relativnosti znamo da u poretnom koordinatnom sistemu dolazi do tzv. »skraćivanja« dužina koje su u pravcu kretanja sistema. pa će u našem slučaju doći do skraćivanja dužine projkcije štapa duž x-ose, odnosno

$$\Delta x' = \Delta x \sqrt{1 - v^2/c^2} = \frac{\Delta x}{2}\sqrt{3},$$

gde je v — brzina kretanja K'-sistema, a c — brzina svetlosti u vakuumu. Projekcija dužine duž y-ose neće pretrpeti promenu u K'-sistemu odnosno Δy' = Δy.
Tako je dužina štapa u pokretnom koordinatnom sistemu

$$L' = \sqrt{\frac{3}{4}\Delta x^2 + \Delta y^2} = \Delta x \sqrt{7/4} =$$

$$= L\sqrt{7/8} = 0{,}935 \text{ m}.$$

Znači ukupna dužina štapa se smanjila.
Pošto je ugao α ugao pravouglog trougla, onda je on veći ako je manja kateta koja obrazuje taj ugao (pri tome druga kateta pravouglog trougla se ne menja). U našem primeru nalegla kateta pravouglog trougla Δx se smanjuje u K'-sistemu što znači da će se u ovom sistemu povećati ugao koji zaklapa štap i apscisa odnosno α' > α (proračun, koji je izvan programa matematike za I rared zajedničkih osnova usmerenog obrazovanja, daje vrednosti α = = 49°).

J. D.



**195.** Kako je u pitanju elastičan sudar, tražena brzina može se odrediti pri menom zakona održanja energije i zakona održanja količine kretanja Potrebno je imati u vidu da je količina kretanja vektorska veličina. Kako je količina kretanja sistema (klinkuglica) u horizontalnom pravcu pre sudara bila jednaka nuli, to će i posle sudara biti jednaka nuli pa je $m_1v_1 + mv = 0$, gde su $v_1$ i v-brzine kuglice i strme ravni u horizontalnom pravcu. Odavde sledi da je brzina strme ravni jednaka $v = -v_1m_1/m$, gde znak (—) označava da su smerovi brzina v i $v_1$ suprotni. S druge strane, na osnovu zakona održanja energije sledi

$$m_1 gh = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{mv^2}{2}.$$

Iz poslednjih dveju relacija, rešavanjem po v, dobija se:

$$v = m_1\sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{m(m + m_1)}} = 1{,}8 \text{ m/s}.$$

J. D.

**196.** Na osnovu Njutnovog zakona gravitacije, intenzitet sile kojom Zemlja deluje na telo mase m na udaljenosti x od centra Zemlje je $F_1 = mM_z/x^2$, a intenzitet sile kojom Mesec deluje na isto telo je $F_2 = mM_m/(d-x)^2$, gde je d-rastojanje od središta Zemlje do središta Meseca. Kako je prema uslovu zadatka $F_1 = F_2$, sledi da je $M_z/x^2 = M_m/(d-x)^2$, odnosno $\frac{(d-x)_2}{x_2} = \frac{M_m}{M_z}$

Dalje je $\frac{d}{x} - 1 = \sqrt{M_m M_z}$ i

$$x = d/(\sqrt{M_m/M_z}) = 54\,R = 3{,}44\,10^8 \text{ m}.$$

J. D.

**197.** U ovom slučaju poznata je struktura kristala, odnosno, poznata je veličina međuravanskih rastojanja d, tako da se na osnovu tzv.Bragovog uslova za difrakciju

$$n\lambda = 2d\sin\varphi \quad \ldots\ldots (1)$$

i znajući ugao φ pod kojim se uočava difrakcioni maksimum datog reda n, može odrediti talasna dužina λ upadnih rendgenskih zraka. Po uslovu zadatka d = 0,210 nm, φ = = 45° i n = 1, tako da je na osnovu jednačine (1) tražena talasna dužina jednaka

$$\lambda = \frac{2d}{n}\sin\varphi = 2 \cdot 0{,}210 \cdot \sin 45° \text{ nm} =$$

$$= 0{,}297 \text{ nm}.$$

**198.** Pri rešavanju ovog zadatka polazimo od tzv. Daltonovog zakona, koji se odnosi na određivanje pritiska smeše idealnih gaosva. Ovaj zakon glasi: pritisak smeše gasova jednak je zbiru parcijalnih pritisaka, odnosno zbiru pritisaka koji bi imao svaki gas posebno pri istim spoljašjim uslovima (T, V):

$$P = \sum_i^n p_i \quad \ldots\ldots (1)$$

gde je $p_1$ — parcijalni pritisak i-te kompinentne smeše. Na osnovu jednačine stanja idealnog gasa sledi da je parcijalni pritisak i-te koomponente smeše jednak

$$P_i = n_{mi}\frac{RT}{V} \quad \ldots\ldots (2)$$

Na osnovu (1) i (2) sledi da je ukupni pritisak smeše gasova jednak

$$P = \frac{RT}{V}\sum_i^n n_{mi} \quad \ldots\ldots (3)$$

Znači, zadatak se svodi na određivanje broja molova $n_{mi}$ pojedinačnih komponenti smeše u datoj zapremini V. Broj molova helijuma

mase $m_1 = 4 \cdot 10f^3$ g čija je molarna masa $M_1 = 4$ g mol$^{-1}$ iznosi

$$n_{m1} = \frac{m_1}{M_1} = \frac{4 \cdot 10^{-3}\,\text{g}}{4\,\text{g mol}} - 1 = 1{,}0 \cdot 10^{-3}\,\text{mol}.$$

Broj molova azota mase $m_2 = 70 \cdot 10^{-3}$ g čija je molarna masa $M_2 = 28$ g mol$^{-1}$ iznosi

$$n_{m2} = \frac{m_2}{M_2} = \frac{70 \cdot 10^{-3}\,\text{g}}{28\,\text{g/mol}} = 2{,}5 \cdot 10^{-3}\,\text{mol}.$$

Broj molova vodonika datog broja $N_3 = 5 \cdot 10^{21}$ molekula iznosi

$$n_{m3} = \frac{N_3}{N_0} = \frac{5 \cdot 10^{21}}{6{,}022 \cdot 10^{+23}\,\text{mol}^{-1}} = 8{,}3 \cdot 10^{-3}\,\text{mol}.$$

Ovde smo sa $N_0$ označili Avogardov broj.
Konačno, smenom dobijenih vrednosti za $n_{mt}$ u izraz (3) dobijamo da je ukupan pritisak date smeše gasova

$$P = \frac{RT}{V}(n_{m1} + n_{m2} + n_{m3}) = \frac{8{,}3\,\text{J/K mol} \cdot 300\,\text{K}}{3 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3} 11{,}8 \cdot 10^{-3}\,\text{mol} =$$

$$= 9{,}8 \cdot 10^3\,\text{N/m} = 9{,}8\,\text{k Pa}.$$

A. S.

**199.** Na osnovu zakona o održanju energije sledi da se ukupna energija fotona ($h\nu$) troši na vršenje izlaznog rada (A) pri izbacivanju elektrona sa površine metala i na rad ($eU_z$) pri zaustavljanju elektrona u elektrostatičkom polju:

$$h\nu = A + eU_z$$

Na osnovu prethodnog, u konkretnom slučaju možemo napisati sledeće dve ćednačine

$$h\nu_1 = A + eU_{z1} \quad \ldots\ldots(1)$$

$$h\nu_2 = A + eU_{z2} \quad \ldots\ldots(2)$$

Oduzimanjem jednačine (1) od jednačine (2) dobijamo

$$h(\nu_2 - \nu_1) = e(U_{z2} - U_{z1})$$

Na kraju, za vrednost Plankove konstante dobijamo

$$h = e\frac{U_{z2} - U_{z1}}{\nu_2 - \nu_1} = 1{,}60 \cdot 10^{-19}\,\text{C}\,\frac{16{,}5\,\text{V} - 6{,}6\,\text{V}}{(4{,}6 - 2{,}2)\,10^{15}\,\text{s}^{-1}} =$$

$$= 6{,}6 \cdot 10^{-34}\,\text{Js}.$$

## PRAVILNO REŠENJE NAGRADNOG ZADATKA BROJ 14 DOSTAVILI SU:

1. Dragan VASIĆ, Beška, OŠ »Braća Grulović« (nastavnik: Marko Dapčević)
2. Bratislav IRIČANIN, Novi Beograd, OŠ »Josip Broz-Tito« (nastavnik: Viktor Stefanović)
3. Marija PETROVIĆ, Svetozarevo, OŠ »17. oktoxar« (nastavnik: Milun Mikić)
4. Dragan VAGIĆ, Vrčin, OŠ »Miroslav Jovanović-Cerovac« (nastavnik: Milan Baričević)
5. Dejan NEDELJKOVIĆ, Beograd, »XIV beogradska gimnazija« (nastanvnik: Anastazijević)

## PRAVILNO REŠENJE NAGRADNOG ZADATKA BROJ 15 DOSTAVILI SU:

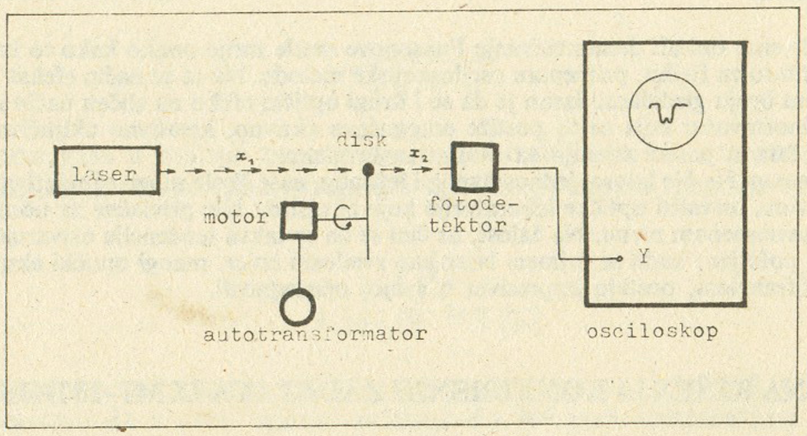
1. Miroje RADONJIĆ, Leskovac, OŠ »Kosta Stamenković« (nastavnik: Boško Milenković)
2. Zorica MITROVIĆ, Rogačica, OŠ »Stevan Joksimović« (nastavnik: Vidan Pavičević)
3. Petar STOJKOVIĆ, Bor, OŠ »Vuk Karadžić« (nastavnik: Mirjana Gruičić)
4. Goran ALEKSIĆ, Kraljevo, OŠ »14. oktobar« (nastavnik: Jelena Radulović)



**(Nastavak da strane 32)**

Zahvaljujući pojačavaču, koji čak i amaterski može da bude realizovan, shodno standardnim šemama, pomoću nekog VF tranzistora, napon na izlazu dostiže i nekoliko volti, te nije neophodno imati naročito kvalitetan oscilator. Mi smo koristili osciloskop domaće proizvodnje MA 4046, proizvod »Iskre« iz Kranja.

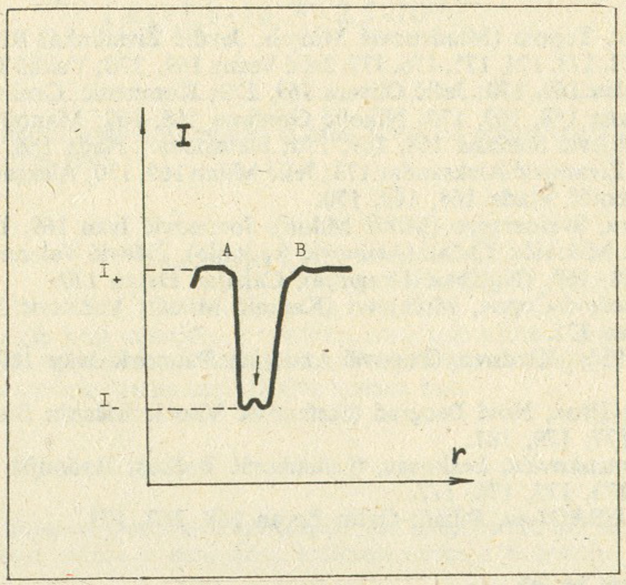
Prema potrebi, može se između diska i detektora ubaciti neki optički sistem koji bi »proširio« difrakcionu sliku i tako olakšao opažanja visokofrekventnih detalja.




Slika 2

## 4. Prikaz rezultata

Na slici 3 prikazali smo tipičan oscilogram koji se dobija na opisani način. Na vertikalnoj osi imamo veličinu koja je proporcionalna intenzitetu I svetlosti koja pada na fotodetektor, a horizontalna osa prikazuje položaj pojedinih tačaka na pravcu kojim fotoaetektor




Slika 3

analizira dirfakcionu sliku. Nivo I odgovara direktno osvetljenom prijemniku svetlosti. Deo slike od A do B prikazuje oblast gde bi, po geometrijskoj optici, trebalo da bude geometrijska senka diska (nivo tame u toj oblasti označen je sa I). U sredini vidimo jedan maksimum koji očito lokalizuje tačku povećanog osvetljenja u odnosu na nivo I . To i jeste osciloskopski prikaz Puasonove svetle mrlje koju disk baca na fotodetektor.

Rastojanje x; između lasera i diska iznosi 2 m, a rastojanje xć između diska i fotodetektora 1,5 m. Menjanjem rastojanja xć, uz vešto biranje ugaone brzine motora, možemo postići da se na slici vidi bar još i jrvi svetli prsten oko svetle mrlje. Tada se na osciloskopu primećuju tei maksimuma između tačaka A i B. Takođe i delovi osciloskopa oko tačaka A i B imaju svoju »finu strukturu«, ali to ovde nije od značaja, te o tome nećemo govoriti.

## 5. Zaključak

Ovde smo opisali demonstriranje Puasonove svetle mrlje onako kako to izvodimo u našem Institutu za fisiku, primenom osciloskopske metode. Na ta se način efekat može približiti većem broju gledalaca. Jasno je da se i drugi optički efekti na sličan način mogu prikazati. Jednostavnost koja se tu postiže omogućava aktivno, kreativno uključivanje naših mladih fizičara u posao zajedno sa svojim nastavnicima.

Primeom He-Ne lasera, jednostavnog i jeftinog, naše škole mogu sa relativno skromnim sredstvima ostvariti optičke laboratorije koje bi uistinu bile privlačne za učenike i koje bi bile na savremenom nivou. Na žalost, ne čini se da se takva tendencija ostvaruje tempom koji bi bio poželjan; kada se primeni laser kao svetlosni izvor, mnogi optički eksperimenti, ne samo difrakcioni, postaju impresivni u svojoj očiglednosti.

## PRAVILNA REŠENJA KONKURSNIH ZADATAKA IZ MF-18 DOSTAVILI SU

1. OŠ »Stanimir Veljković-Zele«, Bojnik (predmetni nastavnik: Maksimović Blagoje), Jakupović Zlatko 171, 172, 173; Krstić Dejan 168, 169, 170; Stamenković Goran 174, 175, 176, 177.
2. OŠ »Dr Ivan Ribar«, Novi Beograd (Ružica Milić), Ćurčić Siniša 169, 170.
3. OŠ »IV kraljevački bataljon«, Kraljevo (Radomir Stanimirović), Anđelić Milosav 170.
4. OŠ »Nada Purić«, Valjevo (Bratim Gradovač), Ljuljana Milić 169.
5. OŠ »Oton Župančić«, Zemun (Crnjanski Jelica), Spasojević Mirjana 174, 175, 176, 177, 178, 179.
6. OŠ »Karađorđe«, Topola (Mladenović Miomir, Jevđić Živadinka) Ristić Nenad 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177. Jelić Vesna 169, 170; Vukliš Tatjana 169, 170. Lugonjić Radoslav 169, 170; Ješić Olivera 169, 170; Komnenić Gorica 168, 169, 170; Jovanović Snežana 168, 169, 170; Nikolić Gordana 168, 169; Manojlović Vesna 168, 169, 170; Nikodijević Snežana 168, 169, 170; Stevanović Nada 168, 169; Cvetinović Dejan 169, 170; Živanović Aleksandar 173; Ješić Milan 169, 170; Aleksandrović Snežana 168, 169; Veličković Vlada 168, 169, 170.
7. OŠ »17 oktobar«, Svetozarevo (Mikić Milun), Jovanović Ivan 169, 170.
8. OŠ »Dr Dragiša Mišović«, Čačak (Aćimović Radmila), Žižović Valentina 169; Radičević Gordana 168, 169. (Nidžović Draginja), Čakajac Dejan 170.
9. OŠ »Milan Milošević-Ćopo«, Mrčajevci (Katanić Miloš): Vučićević Miloš 174, 177; Koričanac Goran 177.
10. OŠ »Vuk Karadžić«, Kladovo, (Popović Andreja): Paunović Ivica 169, 170, 172, 173, 176, 177, 179.
11. OŠ »Josip Broz-Tito«, Novi Beograd (Stefanović Vitor): Iričanin Bratislav 168, 169, 170, 171, 173, 177, 179, 181.
12. OŠ »Kosta Stamenković«, Leskovac, (Milenković Boško): Radonjić Mirje 168, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 176, 177.
13. OŠ »I kongres USAOJ-a«, Bihać: Galin Zoran 168, 169, 173.

**(Nastavak u sledećem broju)**



je jasno da će se atomi u takvoj sredini uglavnom stalno sudarati međusobno, a samo poneki, kada se nađe blizu zida komore, i sa zidom. Za atomske čestice u gasovitim sredinama uvodi se pojam: *srednji slobodni put* kao prosečno rastojanje koje jedan atom treba da pređe da bi se, nakon jednog sudara, sudario po drugi put. Naravno, atomi se u toku kretanja nekad duže a nekad kraće kreću između dva uzastopna sudara, ali srednji slobodni put predstavlja srednju vrednost ovih dužina.

Srednji slobodni put ($\lambda$) je utoliko duži, ukoliko je manja koncentracija atoma gasa (n) i ukoliko su atomi manji (manji poprečni presek $\sigma = r^2\pi$; r — poluprečnik atoma):

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\cdot\sigma\cdot u}.$$

Broj atoma gasa u jedinici zapremine, koncentracija, sa svoje strane je utoliko veća, ukoliko je veći pritisak (p) gasa i ukoliko je manja njegova temperatura (T), tj.:

$$n = \frac{P\,[Pa]}{1{,}38\cdot 10^{-23}\,T\,[K]}.$$

Pod normalnim uslovima u vazduhu imamo pritisak od oko 100.000 Pa. Ako pretpostavimo da u gasu imamo pritisak do $10^5$ pa i temperaturu od 293 K (oko 20°C), onda ćemo u jednom kubnom metru imati oko $2{,}5\cdot 10^{25}$ molekula! Prosečan poluprečnik molekula u vazduhu (kiseonika i azota) iznosi oko 0,2 nm, odnosno poprečni presek ovih molekula iznosi oko $1{,}3\cdot {}^{-19}\,m^2$. Pod navedenim uslovima možemo dakle izračunati srednji slobodni put $\lambda_n$ za ove molekule:

$$\lambda_n = \frac{1}{1{,}41\cdot 1{,}3\cdot 10^{-19}\cdot 2{,}5\cdot 10^{25}}\,m \approx 2{,}2\cdot 10^{-7}.$$

---

Srednja brzina atoma ili molekula gasa zavisi od temperature gasa i mase atoma ili molekula koji čine gas:

$$v_{sr}\,[m/s] = 5{,}9\cdot 10^{-12}\sqrt{\frac{T\,[K]}{m\,[kg]}}.$$

Za tipične nolekule koje nalazimo u vazduhu, molekule azota i kiseonika, pri temperaturi od 293 K, srednja brzina iznosi oko 450 m/s. Poznavanjem srednjeg slobodnog puta $\lambda$ lako se izračunava i srednje vreme između dva sudara kao

$$\tau = \frac{\lambda}{v_{sr}}.$$

što pod standardnim sulovima (pritisak oko $10^5$ pa i temperatura 293 K) daje $\tau = 4{,}9\ 10^{-10}$ s. Srednja učestanost sudara je recipročna vrednost ovoga i za gornji slučaj iznosi $2\cdot 10^{-9}$ s

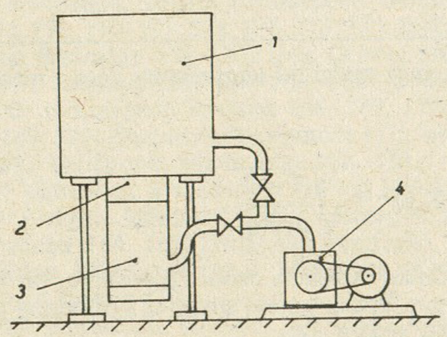
---

Vidimo da je srednji slobodni put molekula u vazduhu u normalnim uslovima mali, te se oni često međusobno sudaraju. Poluprečnici drugih atoma i molekula se uglavnom kreću između 0,1 i 0,3 nm, tako da su uslovi u drugim gasovima slični.

Da bi sudari među molekulima bili retki u odnosu na sudare molekula sa zidovima, treba srednji slobodni put da bude mnogo veći od dimenzija vakuumske komore u kojoj se eksperiment obavlja. Neka je srednja dimenzija vakuumske komore 1 m i ako želimo da srednji slobodni put bude sto puta veći od toga, znači da treba da ga za 455 miliona puta povećamo u odnosu na njegovu vrednost pod normalim pritiskom. Da bi ovo postigli potrebno je 455 miliona puta smanjiti pritisak u ekspreimentalnoj komori, što znači da nam je potreban pritisak od oko 2,2, $\cdot 10^{-4}$ pa. Prostor u kome se nalazi gas pod pritiskom iz intervala ($10^{-1}$ do $10^{-5}$) pa nazivamo *visoki vakuum*. Iako je ovakva sredina veoma retka, iako smo samo oko petinu milionitog dela procenta vazduha ostavili u eksperimentalnoj komori u navedenom primeru, ipak i u ovakvim uslovima imamo još po oko $5,6 \cdot 10^{16}$ molekula u jednom kubnom metru : 56 milijardi u kubnom centimetru! U najređim sredinama koje u prirodi postoje, međuzvezdanim prostorima, procenjuje se da ima u proseku po 1 atom ili molekul u kubnom cenimetru.

Vakuum reda veličine ($10^{-1}$ do $10^{-5}$) pa postiže se u laboratorijama najčešće korišćenjem dve serijske vezane vakuum pumpe: mehaničke i difuzione *Mehanička rotaciona pumpa* ispumpa komoru od oko 1 do 0,1 pa dok, zatim, *difuziona pumpa* daljim ispumpavanjem postiže krajnji pritisak od oko $10^{-4}$ do oko $10^{-5}$ pa (0,0001 do 0,00001 pa).

*Vakuumski sistem* eksperimentalnog uređaja se sastoji od vakuumske eksperimentalne komore, difuzione vakuum pumpe i mehaničke vakuum pumpe. Pored ovih glavnih elemenata, vakuumski sistem čine još slavine za razdvajanje pojedinih delova vakuumskog sistema, cevovodi, ventili za upuštanje vazduha kao i, što je posebno važno, merači pritiska.

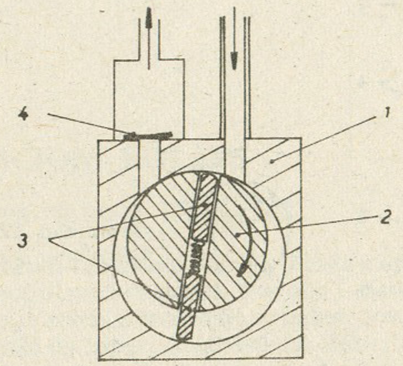



1 – eksperimentalna vakuum komora
2 – zaprečnik uljnih para
3 – difuziona pumpa
4 – mehanička pumpa

*Mehanička rotaciona pumpa* se sastoji od statora sa ulaznim i izlaznim otvorima i cilindričnog rotora sa pokretnim kliznim krilcima. Rotor je smešten u cilindričnu šupljinu statora, ali sa osom tako pomerenom da sa gornje strane dodiruje unutrašnji zid šupljine statora. Pri radu mehaničke pumpe elektromotor okreće rotor i pri tome u svakom trenutku oba krilca, usled dej-



stva opruge koja ih rastavlja, klize po unutrašnjoj površini šupljine statora. Pri svakom prelasku krilaca preko ulaznog otvora odvaja se jedna zapremina gasa od prostora koji je spojen sa ulaznim otvorom. Ovaj gas je potiskivan krilcem ka izlazu i pri tome se, zbog smanjivnja zapremine u kojoj se nalazi (između krilca, zidova komora i statora i linije naleganja rotora na unutrašnji zid statora), sabija kod izlaznog otvora. Na izlaznom otvoru se nalazi ventil koji se

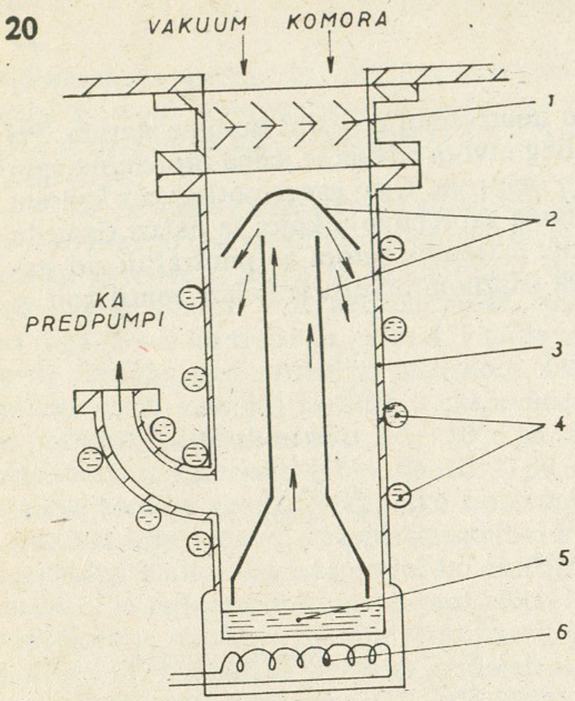



1 – stator
2 – rotor
3 – krilca
4 – izlazni ventil

— shematska oznaka za mehaničku rotacionu pumpu

otvara kada je pritisak sabijenog vazduha dovoljan. U toku okretanja rotora periodično se odvaja određena količina gasa iz zapremine koja je povezana za ulaz pump, tako da se u toj zapremini pritisak u početku stalno smanjuje. Kako pritisak opada, tako se i količina gasa koja se u jednom ciklusu izbaci smanjuje. Ovo zbog toga što je količina gasa koji se nalazi u stalno istoj zapremini određenoj konstrukcijom pumpe proporcionalna pritisku. Kada se pritisak u ispumpnoj komori dovoljno smanji, dolazi do izjednačavaja količine gasa koja se u određenom vremenu pumpom izbaci i količina gasa koja za to isto vreme kroz pumpu i sićušne otvore prodre u vakuum sistem. Tada se dostiže minimalan pritisak za datu mehaničku pumpu i datu vakuumsku komoru. Kod savremenih pumpi i dobro zaptivenih sistema on iznosi i manje od 0,1 pa. Mehanička pumpa u eksperimentalnim vakuum sistemima služi prvo za početno ispumpavanje eksperimentalne komore, a zatim za stalno ispumpavanje gasa na izlazu difuzione pumpe.

*Difuziona pumpa* je po svojoj konstrukciji znatno jednostavnija od mehaničke. Sastoji se od spoljnjeg cilindričnog ili bačvastog oklopa koji se hladi vodom, a koji se sa donje strane završava posudom s uljem i grejačem, kao i centralnog sprovodnika uljanih para koji sa gornje strane ima mlaznice za formiranje mlaza uljnih para. Posebno ulje za difuzione pumpe se nalazi na dnu pumpe, neposredno iznad grejača. Kada se prejač uključi, dolazi do zagrevanja i kasnije do ključanja ulja. Uljne pare se kroz centralni sprovodnik kreću naviše, dolaze do gornje mlaznice koja ih skreće naniže. Pri kretanju naniže mlaz uljnih para dospeva do unutrašjeg zida oklopa pumpe koji se hladi i stalnim protokom vode. Na zidu se uljne pare kondenzuju, formiraju kapi koje se zatim slivaju nazad u rezervoar za ulje gde se ulje opet zgreva, isparava i ciklus se ponavlja. Komora koja se ispumpava nalazi se sa gornje strane difuzione pumpe. Molekuli gasa, koji usled svog haotičnog kretanja dospevaju u difuzionu pumpu do prostora gde postoji mlaz uljnih para, bivaju usled sudara




1 – zaprečnik uljnih para
2 – sprovodnik uljnih para
3 – oklop difuzione pumpe
4 – cevi za hlađenje vodom
5 – ulje
6 – grejač

— shematska oznaka za difuzionu pumpu

sa molekulima ulja povučeni nadole. Na ovaj način se postiže da pritisak u gornjem delu bude manji nego u donjem, i to kod savremenih konstrukcija za oko 100 do 1000 puta.

Mlaz uljne pare u difuzionim vakuum pumpama se može formirati i pumpe mogu efikasno da rade samo ako je pritisak u pumpi već smanjen iznosi oko 1 pa ili manje. Zbog toga je za rad difuzione pumpe neophodna mehanička predpumpa koja će obezbediti taj početni vakuum. Takođe, u toku rada difuzione pumpe mora da postoji stalno odvođnje ispumpanog gasa iz nje, jer bi u protivnom došlo do porasta pritiska. Difuziona pumpa se preko svog izlaza koji se nalazi sa njene donje strane spaja sa predpumpom.

---

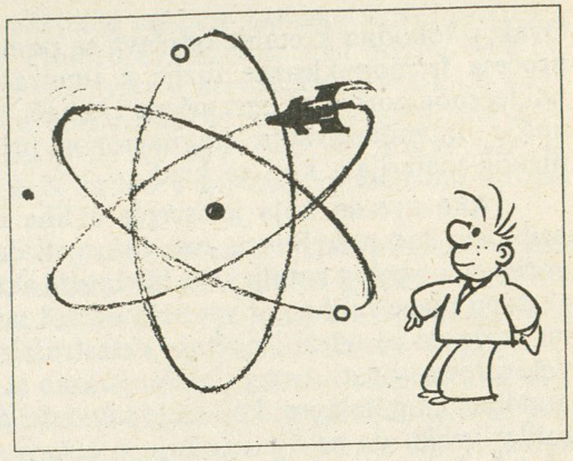
Posmatramo uspravno postavljenu vakuumsku komoru oblika kocke čije su ivice jedan metar. Neka pritisak gasa u toj komori bude takav da možemo zanemariti sudare među molekulima gasa, te da su dominantni sudari sa zidovima. Posmatrajmo dva molekula čija je brzina 450 m/s bliska srednjoj brzini molekula veličine kiseonikovog ili azotovog pro sobnoj temperaturi, oko 293 K.

Molekul 1, koji se nakon odbijanja od levog zida komore kreće vodoravno i upravno na zid komore, usled prisustva zemljine teže će se u trenutku udara u suprotan — desni zidd komore, spustiti za 0,024 mm! Ako sada posmatramo molekul 2 koji se nakon odbijanja od gornjeg zida kreće vertikalno nadole početnom brzinom takođe od 450 m/s, tada će se njegova brzina prilikom sudara sa donjim zidom povećati za 22 mm/s! Vidimo da su ovi uticaji zaista mali.

---

Za rad difuzione pumpe posebno je važan kvalitet i vrsta ulja koje se u njoj koristi. Od ulja zavisi do kog krajnjeg pritiska difuziona pumpa može da ispumpa vakuumsku komoru. Kako ne bi dolazilo do prodiranja para ulja iz difuzione pumpe u vakuumsku komoru, skoro uvek se koriste posebni zaprečnici uljnih para. Ovi zaprečnici se postavljaju u cev iznad pumpe i hlade vodom, posebnim hladnjacima ili tečnim azotom. Na hladnim površinama zaprečnika dolazi do kondenzacije uljnih para koje bi i pored usmerenosti parnog mlaza difundovale ka vakuum komori.





## GRAVITACIONI KOLAPS

MILAN S. DIMITRIJEVIĆ (Beograd)

U prošlim brojevima *Mladog fizičara* upoznali smo se sa osnovama Teorije relativnosti i razmotrili smo nastanak Vasione i njenu prostorno-vremensku strukturu u svetlosti teorije, koja je izvršila revoluciju u našem shvatanju sveta. U svetu u kome živimo običan čovek ne može da zapazi relativističke efekte, ali u Vasioni postoje uslovi u kojima oni ne mogu da se zanemare. Na primer, kao što smo videli u ranijim brojevima *Mladog ffzičara,* teorija relativnosti predskazuje krivljenje prostora i promenu »toka vremena« u blizini masa koje stvaraju jako gravitaciono polje. Ovakvi efekti su zapaženi prilikom astronomskih posmatranja. Otklon svetlosnih zraka u blizini Sunca može se posmatrati kao prividno pomeranje zvezde koja se nalazi blizu Sunčevog ruba. Promena položaja najbližeg rastojanja između Merkura i Sunca (perihel Merkura), koja je dugo vremena zadavala glavobolju astronomima, jasno sledi iz zakona teorije relativnosti. Astronomi su uspeli da »vide« i promenu vremena u jakom gravitacionom polju. Kao »časovnik«, oni su uzeli učestanost oscilacija svetlosnih talasa koje emituju atomi. Prema opštoj teoriji relativnosti, atom u gravitacionom polju zvezde emituje svetlost manje učestanosti nego isti takav atom na Zemlji. Usled toga, linije u spektru zvezde koja stvara intenzivno gravitaciono polje biće pomerene prema crvenom delu spektra Postojanje gravitacionog crvenog pomaka posmatrano je i služi kao jedan od dokaza teorije relativnosti.

U svim ovim primerima relativistički efekti obično predstavljaju male popravke, ali u Vasioni postoje i uslovi pri kojima teorija relativnosti ima odlučujuću ulogu i bez njenih zakona ne možemo da dobijemo predstavu o fizičkim procesima koji se u takvim oblastima odigravaju. Njima ćemo se pozabaviti u ovom broju *Mladog fizičara.*

Daleko od svetlosti grada, u vedroj noći bez mesečine, zvezdano nebo pruža veličanstven prizor. Preko celog neba prelazi široka svetla traka Mlečnog puta koja predstavlja odsjaj dalekih svetova naše Galaksije. Sve zvezde koje vidimo golim okom na nebu, kao i zvezde čiji sjaj stvara Mlečni put, obrazuju gigantski zvezdani sistem — Galaksiju. Zvezde koje vi vidite samo su one koje su nama najbliže. U celoj našoj Galaksiji ima više od sto milijardi zvezda. Savremeni teleskopi su nam omogućili da bacimo pogled daleko izvan granica naše Galaksije. Trenutno je našem posmatranju dostupna gigantska oblast koja sadrži više od milijardu galaksija. Ovaj deo Vasione koji je dostupan posmatranju, naziva se Metagalaksija.

Postojanje zvezdau Metagalaksiji povezano je sa uzajamnim privlačenjem njihovih atoma, koje je u običnim zvezdama uravnoteženo unutrašnjim pritiskom materije, usled čega su one stabilne. U unutrašnjosti zvezda temperatura i gustina su velike, atomi su jonizovani i pritisak koji uravnotežava gravitaciono privlačenje čestica uslovljen je slobodnim kretanjem elektrona i jona.

Ovakvo lobodno kretanje održava se pomoću energije koja se dobija prilikom procesa termonuklearne fuzije u unutrašnjosti zvezde. Ipak, zalihe termonuklearnog goriva su ograničene i konačna sudbina zvezde je određena mogućnošću uravnotežavanja gravitacionog privlačenja unutar zvezde, pritiskom njenog materijala koji se hladi.

Ako zvezda koja je iscrpla zalihe termonuklearnog goriva ima masu približno kao naše Sunce, ona će uspeti da održi unutrašnju ravnotežu i pretvoriće se u »belog patuljaka«. Međutim, ako je masa zvezde, u trenutku kada nestanu njene zalihe goriva, veća od 1,4 mase Sunca, ravnoteža unutar zvezde ne može da se održi i počinje katastrofalno sažimanje zvezde ka centru pod delovanjem sopstvenog privlačenja koje se naziva *gravitacioni kolaps*. U toku gravitacionog kolapsa, koji traje samo delić sekunde, gustina elektrona postaje toliko velika da se oni utiskuju u jezgro sa protonima, pri čemu se njihova naelektrisanja neutrališu. U ovom procesu nastaju neutroni uz intenzivno neutrinsko zračenje. Elektroni čiji pritisak uravnotežava gravitacione sile nestaju, usled čega se gravitacioni kolaps ubrzava. Na kraju se zvezda sastoji samo od neutrona. Njihov pritis akmože pod određenim uslovima da uravnoteži sile privlačenja i da zaustavi gravitacioni kolaps. U tom slučaju nastaće neutronska zvezda. Rađanje ovakve zvezde često je propraćeno spektaklom koji se vidi na Zemlji. Intenzivno neutrinsko zračenje efektivno prenosi energiju površinske slojeve zvezde koji se razleću u snažnoj eksploziju koju na Zemlji posmatramo kao eksploziju supernove.

Neutronska, zvezda koja je nastala, veoma je mali objekt izuzetno velike gustine. Njen poluprečnik je obično nekoliko desetina kilometara, a masa je ravna masi našeg Sunca. Gustina materije u neutronskoj zvezdi je tako velika, da 1 $cm^3$ njene mase teži više od milion tona. Ova materija se sastoji od neutrona, odakle potiče i ime zvezde. Važne karakteristike neutronskih zvezda su rotacija i magnetno polje. Prilikom sažimanja obične zvezde u neutronsku, rotacija se ubrzava, a magnetno polje raste. Teoretičari smatraju da period rotacije neutronske zvezde može da dostigne 0.001 *s*, a magnetno polje može biti i trilion puta veće od magnetnog polja Zemlje.

Neutronske zvezde su otkrivene 1968. godine kao pulsari. Pulsari su neutronske zvezde na kojima se nalazi izvor elektromagnetskog zračenja koji, usled njihove brze rotacije, periodično dopire do nas. Prvi pulsar je otkrio engleski astronom A. Hjuiš, koji je za ovo otkriće dobio Nobelovu nagradu za fiziku. Stroga periodičnost signala navela ga je da prvo pomisli da su oni veštačkog porekla i da predstavljju poruku neke kosmičke civilizacije. Danas je poznato, već više od 300. pulsara sa periodima od 0.033 *s* do 4.0 *s*, a stalno se otkrivaju sve novi i novi.

Ako zvezda ima 5 do 10 puta veću masu od Sunčeve, gravitacioni kolaps se neće zaustaviti na stadijumu neutronske zvezde. Međusobno odbijanje neutrona ne može da uravnoteži gravitacione sile i kolaps prelazi u relativistički gravitacioni kolaps, koji vodi formiranju jednog od najinteresantnijih i najzagonetnijih objekata u Vasioni — *crne rupe*. Gravitacioni kolaps zvezde u crnu rupu je pojava kada svi relativistički efekti postaju dominantni. Kolaps se odvija kao slobodni pad materijala zvezde ka centru crne rupe u formiranju Da bi crna rupa nastala, neophodno je da se zvezda sažme do takvog stepena,



da druga kosmička brzina sa njene površine postane jednaka brzini svetlosti. Odnosno, da bi se nešto izbavilo iz crne rupe, mora da ima brzinu veću od brzine svetlosti, a to je prema teoriji relativnosti nemoguće. Prečnik do koga zvezda mora da se sažme da bi gore opisani uslov bo zadovoljen, naziva se gravitacioni radijus. Njegova veličina zavisi od mase tela. Na primer, ako bi Zemlja postala crna rupa, njen prečnik bi bio 1 cm dok gravitacioni radijus Sunca iznosi 3 km.

U blizini crnih rupa menjaju se geometrijska svojstva prostora i vremena. Krivljenje svetlosnih zraka je toliko jako, da nikakav signal ne može da napusti površinu kolapsirajućeg tela. Materija koja je upala u crnu rupu u potpunosti je odvojena od ostalog sveta i utiče na okolinu samo svojim gravitacionim poljem. Zato se potraga za crnim rupama zasniva na efektima koji nastaju pri delovanju toga polja na okolne objekte. Najsnažniji efekti se javljaju kada je crna rupa jedna od komponenata dvojnog sistema čija je druga komponenta gasovita džinovska zvezda. U tom slučaju gas iz zvezdanog omotača kreće se ka crnoj rupi, zagreva se i emituje intenzivno rendgensko zračenje. Veoma je verovatno da je rendgenski izvor Labud X—1 jedna takva crna rupa.

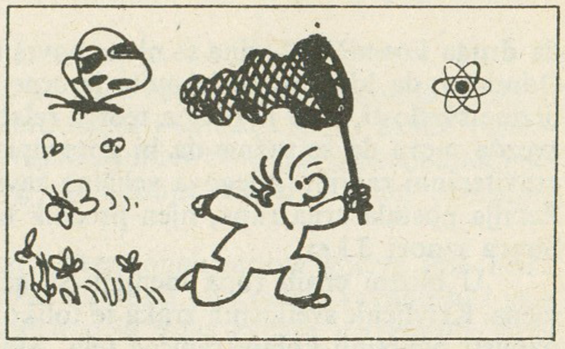
Moguće je da se voma masivne crne rupe nalaze u centrima zvezdanih asocijacija, kao i u centrima galaksija i kvazara. Možda su crne rupe nastajale i u dalekoj prošlosti, u doba velikog praska. U tom slučaju postoje i veoma male crne rupe, sa masom mnogo manjom od mase nebeskih tela. Ipak, za sada još niko nije sa sigurnošću ustanovio da je posmatrao crnu rupu. Astronomi nastavljaju intenzivnu potragu za ovom objektima koji još uvek predstavljaju samo teorijsku pretpostavku.

---

**ODLOMAK**
**IZ AUTOBIOGRAFIJE MILUTINA MILANKOVIĆA**

**Treće godine moga boravka u Osijeku dobih od ujka-Vase na poklon jednu poveću knjigu, »Crtice o magnetizmu i elektricitetu«, delo zagrebačkog profesora Otona Kučere. Ta lepa knjiga uvede me u jedan novi, dotle nepoznati svet, svet pronalazača. U njoj je zanimljivo opisano i jasno rastumačeno kako se razvila nauka o elektricitetu i iz nje iznikla elektrotehnika koja je preobrazila svet. Ona me je upoznala sa herojskim delima pionira te tehnike: Franklina, Galvanija, Volte, Devija, Simensa, Jabločkova. Saopštavala je stvarne činjenice, a ne proizvode mašte, bila mi zanimljivija, i od samog »Gusarskog kralja« Mavra Jokajia. Kada je pročitah u prvom naletu, počeh da je proučavam. Razumedoh ne samo sve pojedine pojave elektriciteta već upoznadoh svu tadanju tehniku slabe i jake struje, galvanoplastiku telegraf, telefon, električne dinamo-mašine i motore. Nabavih od jedne bečke firme za dečije igračke galvanske elemente, provodnike i razne pomoćne aparate i alate i uredih u svojoj sobi malu električarsku radionicu. Ta privatna radionica pružila mi daleko više no fizički kabinet naše realke, a znanja pribavjena iz Kučerine knjige pokazaše se dovoljnim i za više razrede škole.**

**(M. Milanković, USPOMENE, DOŽIVLJAJI I SAZNANJA, 1879—1909, str. 106, SANU, Beograd 1979).**

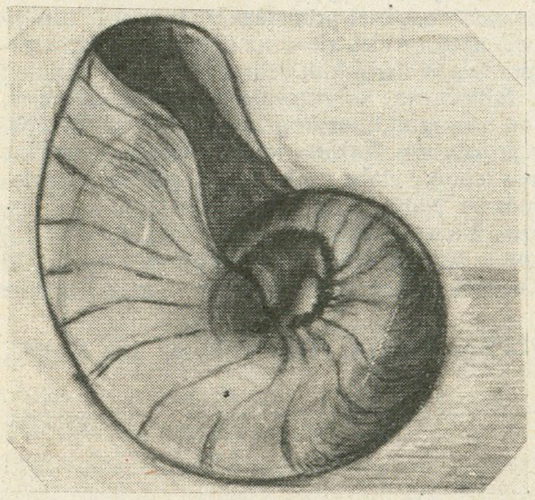


## »OTKRIĆE« JEDNE ŠKOLJKE

MIRJANA POPOVIĆ-BOŽIĆ (Beograd)

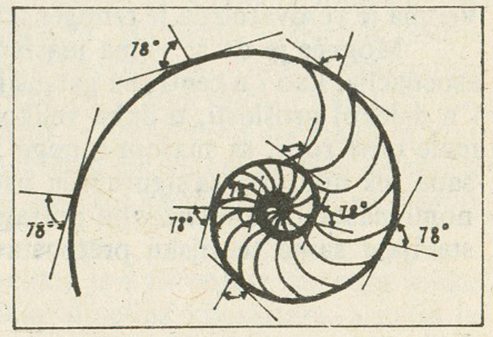
Dva mlada naučnika, jedan nemački geolog i jedan američki fizičar, skoro su objavili vrlo interesantan rad u kome su postavili hipoetzu da je Mesec pre 400 miliona godina bio mnogo bliže Zemlji i da se okretao tri puta brže nego danas. Do ove hipoteze došli su studiranjem fosila školjke *nautilus*.

Nautilus je vrlo lepa školjka koju dobro poznaju pasionirani skupljači školjki. Kada se ova školjka posmatra spolja, naslućuje se da ono što se vidi jeste spoljni deo jedne spirale (sl. 1). Kada se školjka pogleda iznutra, uočava se jedna velika šupljina koja se završava pregradom.



Slika 1

Presek školjke nautilus (sl. 2) jasno pokazuje da ona ima oblik spirale. To je tzv. *logaritamska spirala* koju su proučili još Dekart i




Slika 2

Toričeli. Logaritamska spirala je matematička funkcija čija je karakteristika da je ugao između vektora koji spaja centar spirale sa bilo kojom tačkom na spirali i tangente na spirali u toj tčki konstantan (sl. 2). Kod ove školjke taj ugao je 78°.

Pored spiralnog oblika, na preseku se uočavaju još neki važni detalji. Naime, prostor između ljušture koja formira spiralu podeljen je nizom pregrada na kompartmane koji su u središtu spirale vrlo mali i koji su utoliko veći što su bliže otvoru.

Ova školjka se danas može naći samo oko Nikobarskih ostrva (u Andamanskom moru) i u Pacifičkom okeanu. Danas postoje samo dve vrste ove školjke. Studiranjem fosila je otkriveno da je ta školjka u toku poslednjih 500 miliona godina bila veoma rasprostranjena i da je postojalo mnogo vrsta te školjke.



Školjka nautilus živi na dubibi od 400 metara u toku dana, a noću se redovno penje na površinu. Zbog toga se još uvek ne zna u potpunosti njen način života. Ali, jedna stvar je sigurna. Mekušac živi u spoljnjem delu školjke, onome koji je otvoren. Mekušac svakoga dana luči krečnjačku materiju i postepeno izgrađuje spoljni oklop školjke i pregrade unutršnjih kompartmana. U toku jdnog meseca on formira jedan kompatrman tj. izgradi jednu pregradu. Na pregradama ostavi niz malih otvora čiju ćemo funkciju objasniti kasnije.

Kada se oklop školjke poggleda pod mikroskopom uočava se još niz vrlo važnih detalja. Na oklopu se uočavaju brazde, tj. niz ispupčenja i udubljenja. Naučnici smatraju da mekušac izgradi jednu brazdu u toku jednoga dana, lučeći krečnjačke materije. Drugim rečima, svakom penjanju mekušca na površinu odgovara jedna brazda na njegovom oklopu. Kod školjki koje danas žive broj brazda između dve pregrade je 29 ili 30. Činjenica je da je *lunarni sinodični mesec* (tj. vreme posle koga Zemlja, Mesec i Sunce ponovo dođu u jedan te isti relativan položaj) jednak 29,52 dana. Ali, još uvek nije jasno koja je to pojava na Zemlji koja je povezana sa kretanjem Meseca, a koja direktno utiče na vreme formiranja kompartmana.

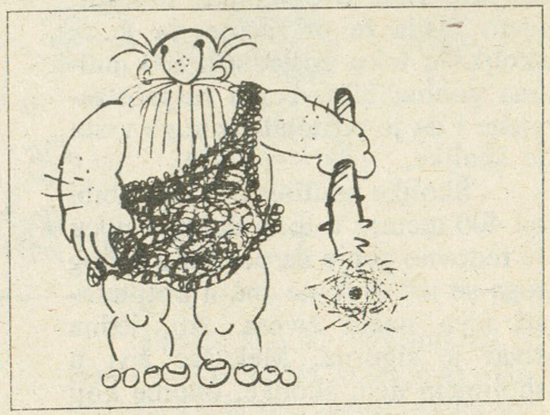
S druge strane, misli se da je mehanizam uticaja Meseca na dnevno penjanje i spuštanje jasan. Penjanje i spuštanje je izazvano plimom i osekom, a plima i oseka su povezane sa gravitacionim privlačenjem Zemlje i Meseca.

Interesantan je, međutim, način na koji se školjka penje i spušta. Pri tome kompartmani igraju bitnu ulogu. Naime, mekušac ima niz cevčica koje provlači kroz uske otvore na kompartmanima. Pomoću tih cevčica može izbaciti vodu iz kompartmana i potom ih ispuniti azotom. Tako, zahvaljujući sili potiska, mekušac se noću penje na površinu. Kada želi da se vrati na dno (danju), azot u kompartmanima zameni vodom i počne da tone.

Studirajući fosile ovih školjki naučnici su došli do iznenađujućih otkrića. Naime, kod fosila starih 30 miliona godina izbrojali su samo 25 brazdi između dve pregrade. Fosili školjki koje su živele pre 150 do 300 miliona godina imaju oko 17 brazdi, a fosili stari 400 miliona godina imaju samo devet brazdi i ljuštura između svake svake dve pregrade. Ovi naučnici smatraju da to pokazuje da je lunarni sinodični mesec pre 400 miliona godina bio kraći nego sada, odnosno da se Mesec okretao tri puta brže oko Zemlje nego danas, što bi značilo da je Mesec tada bio mnogo bliže Zemlji nego danas.

Ako je ova pretpostavka tačna, može se odgovoriti još na jedno pitanje koje već dugo vremena muči naučnike — geologe. Poznato je da na Zemlji nema nikakvih geoloških tragova iz vremena pre 800 miliona godina. To bi se moglo objasniti, ako se zaista utvrdi da je ranije Mesec bio mogo bliže Zemlji nego danas. Ako je tako, uticaj plime na Zemljinu koru je bio mnogo veći, pa su i svi geološki tragovi u potpunosti izbrisani.

*IZ ISTORIJE*



# PUTEVI SAZNANJA U FIZICI*

BRANKO UROŠEVIĆ (Beograd)

Vreme teče. Kao potočić u potok, kao potok u reku, reka u more, a more u beskrajni ćudljivi svetski okean, sekunde se ulivaju u minute, minuti u časove, a ovi u dane, mesece, godine, vekove... Hiljade i hiljade miliona godina su za nama hiljade i hiljade će proći. A negde, kao sićušni val u ogromnom, nesagledovom vremenskom okeanu, vreme je u kome živimo. Dvadeseti vek nove ere! Kada govorimo o milionima prohujalih vekova, nekoliko stotina, pa i nekoliko hiljada godina čini nam se kao razdoblje suviše malo za neku značajniju promenu. Ipak, ko tako misli, veoma mnogo greši. Posebno, ako se radi o zbivanjima na Zemlji.

Kada se pre tri miliona godina na Zemlji pojavilo biće majmunolikog oblika, sporih pokreta i slabo u poređenju sa zverima koje su ga okruživale i čiji je plen lako postajalo, nije se moglo očekivati da će ono uopšte opstati, a kamoli — da će postati gospodar planete. Šta je to što je čoveka toliko uzdiglo za tako relativno kratko vreme i od »bogalja« stvorilo »džina«? To su rad i razum utemeljen na produbljivanju radnih iskustava. U toku svoje, isprva lagane, a zatim sve brže evolucije, čovek strelovito napreduje. To može zahvaliti, pre svega, razvitku nauke i, uporedo sa njom, tehnike. A glavna dosadašnja naučna i tehnička otkrića ostvarena su u toku začuđujuće kratkog vremenskog razdoblja od samo nekoliko hiljada godina. Doduše, neka izuzetno značajna otkrića — na primer, pronalazak načina dobijanja vatre — ostvarena su znatno ranije. Međutim, sistematsko izučavanje tajni prirode, koje pred stavlja osnovu naučno-tehničkog napretka, započelo je tek sa stvaranjem prvih velikih civilizacija — sumerske, egipatske, starogrčke, da bi — posle svih zstoja, kolebanja, pa i nazadovanja — svoj puni razvoj doživelo tokom zadnjih nekoliko stotina godina, a posebno u našem XX veku.

Kako je došlo do tako brzog razvoja nauke i tehnike, kako su ljudi otkrili strukturu atoma i sastav dalekih zvezda, na koji način nauka pronalazi prirodne zakone, koji su putevi njenog saznanja Pokušaćemo da na ova pitanja odgovorimo na primeru osnovne prirodne nauke — *fizike*.

## I

Kada govorimo o putevima saznanja u fizici, ne možemo a da ne spomenemo makar najbitnije etape njenog razvoja. Pre svega valja reći — mada je to opšte poznato — da naziv fizika potiče od grčke reči »*fizis*« što znači — priroda. Dakle, iz samog naziva se vidi da je fizika nauka koja ima zadatak da proučava prirodu, da je to *prirodna nauka*. Fizika —bar u obliku koji je docnije ušao u osnove evropske civilizacije — nastaje u staroj Grčkoj. To je bilo u doba cvetanja grčke kulture, umetnosti i filozofije. Pod filozofijom su Grci podrazumevali proučavanje suštine postojanja i promena materijalnog sveta i ideja. U to vreme sve nauke, a među njima i fizika bile su sastavni deo filozofije. Grčki filozofi su pokušavali da tajne prirode otkriju pre svega pomoću čistog logičkog razmišljanja, koje se — razume se — ipak zasnivalo na životnom iskustvu i pažljivom posmatranju pojava. Tako je Demokrit, razmišljajući o granici deljivosti tela, došao do *ideje* o postojanju atoma, najmanjih, nedeljivih čestica iz kojih se tela sastoje i koje se nalaze u večitom kretanju Ta genijalna ideja bila je dvadesetak vekova kasnije na sjajan način potvrđena od strane fizike i hemije. Međutim, u vreme kada je iskazana ona nije imala nikakvu naučnu podlogu, bila je samo jedna od mnogih filozofskih ideja o prirodi materijalnog sveta, ideja koja se mogla prihvatiti, ali se mogla i osporavati pomoću drugačijih logičkih argumenata.

Najveći grčki fizičar Arhimed — tvorac zakona o plivanju tela, koji nosi njegovo ime, zakona poluge i mnogih drugih značajnih otkrića — među prvima je krenuo drugačijim putem. On se nije zadovoljavao posmatranjem i razmišljanjem. On je vršio i eksperimente i izračunavanja. Mi danas ne znamo mnogo o njegovim eksperimentima, ali je ostalo zapisano da je on tvorac mnogih mehaničkih mašina i uređaja pa je logično pretpostaviti da je neke svoje zamisli proveravao ogledima. S druge strane, u sačuvanom rukopisu »O plivanju tela« Arhimed je pokazao primenu matematike u istraživanju fizičkih pojava. Rezultat je bio otkriće fizičkog *zakona*, koji je omogućavao da se npr. izračuna koji deo tela će potonuti u vodu ili kakav je sastav neke legure. To nije bila ideja oko koje su se mogle voditi logičke rasprе — to je bio prirodni zakon koji je potvrđen prkosom, eksperimentom, i ničim se više nije moglo osporiti — ušao je u trajnu riznicu nauke. Druga je stvar što savremena fizika o svemu tome zna mnogo više — Arhimedov doprinos i dalje traje u njoj.

## II

U razdoblju od nekih osamnaest vekova, od praoca fizike Arhimeda iz Sirakuze do začetnika moderne fizike Galileja, nauka nije mnogo napredovala. To se posebno odnosi na epohu srednjeg veka u kojoj su Crkva i inkvizicija, nastojeći da održe svoje pozicije među siromašnim i neobrazovanim masama, gušile razvoj nauke. Crkva je među svoje dogme uvrstila i učenja Aristotela i Ptolomeja, pa nije dozvoljavala nikakav drukčiji pristup tumačenju prirodnih pojava. Đordano Bruno bio je najpoznatiji, ali ne i jedini mučenik nauke. Putevi novih saznanja tada su išli preko lomača inkvizicije.

Jedan od presudnih udaraca srednjovekovnoj »naučnoj« dogmi zadao je poljski crkveni velikodostojnik, astronom i matematiačr Nikola Kopernik. On je, polazeći od preciznih astronomskih merenja koja je izvršio Tiho Brahe, strogo i neoborivo matematički dokazao tačnost heliocentričnog sistema — sve se planete, uključujući i Zemlju, kreću oko Sunca Zemlja nije centar sveta.

Vatreni pristalica Kopernikovog sistema, matematičar, fizičar i astronom, čovek koji je napravio prvi teleskop i otkrio Sunčeve pege, Jupiterove satelite i Venerine mene — Galileo Galilej bio je ujedno čovek koji je prvi krenuo suštinski novim putevima saznanja u fizici. On je prvi potpuno jasno shvatio, i to shvatanje dosledno sproveo, da je eksperiment vrhovni »sudija« koji odlučuje o sudbini fizičkih teorija. Nizom eksperimenata oborio je Aristotelovo tvrđenje da je za *kretanje* nekog tela potrebna sila. Galilej je pokazao da se telo ravnomerno kreće čim se jednom pokrene i da samo od sebe, bez ikakvog spoljašnjeg delovanja, nastavlja da se tako kreće ukoliko na njega ne deluje neka sila. Time je, u stvari, otkriven zakon inercije (I zakon mehanike). Drugim nizom eksperimenata oborio je još jednu naučnu dogmu, koja takođe potiče od Aristotela, naime, da teža tela brže padaju od lakših tela. Puštajući razne predmete da padaju sa krive kule u Pizi (gde je radio kao univerzitetski profesor), Galilej je ustanovio da sva tela za isto vreme dodiruju zemlju, tj. da *padaju podjednakom brzinom*. Neka manja otstupanja od ovog zakona pravilno je objasnio otporom vazduha, što je definitivno dokazao njegov učenik Toričeli, koji je eksperimente sa slobodnim padanjem tela izvodio u vakuumu (bezvazdušnom prostoru). Treba naglasiti da su obe Aristotelove tvrdnje izgledale velo logične i razumne i da su se na prvi pogled slagale sa svakidašnjim iskustvom. Trebalo je biti Galilej pa shvatiti da sve ono što nam se čini »logično« i »razumno« ne mora da bude i tačno.

## III

Novo poglavlje u razvoju fizike i metoda istraživanja u fizici otvorio je Isak Njutn. Samo četiri zakona fizike koji nose njegovo ime (zakon inercije, zakon dinamike, zakon akcije i reakcije i opšti zakon gravitacije) dovoljna su da ga svrstaju u red najvećih fizičara svih vremena. Međutim, isto tako imaju ogroman značaj i metode koje je on razvio da bi mogao

---

*Branko Urošević, učenik II razreda muzičke škole »Josip Slavenski« u Beogradu, dobio je prošle godine za ovaj rad Oktobarsku nagradu grada Beograda. Profesor fizike u Brankovoj školi je Gordana Đeniže.

da istražuje prirodu. On je prvi precizno definisao fizičke veličine i razvio ili usavršio metode za njihovo merenje prvi je izveo mnoge eksperimente (npr. razlaganje bele svetlosti pomoću prizme). Istovremeno, on je stvorio niz novih oblasti matematike (npr. račun sa beskonačno malim veličinama) koje su mu bile neophodne u teorijskim istraživanjima. On se sam podjednako uspešno služio i eksperimentom i teorijoml Međutim, uvek je polazio od činjenica i iz njih izvlačio opšte zaključke. Bio je tipičan predstavnik induktivne metode. Čuvena je njegova rečenica:»Ja hipoteze ne izmišljam«. U istoriji fizike zabeležena je i jedna druga njegova misao:»Ja sebi ličim na dečaka koji se igra na obali, otkrivajući pojedine sjajne kamenčiće, dok se pred njim prostire ogtoman neispitani okean«. To je bio izraz ne samo iskrene skromnosti velikog naučnika, već i njegovog dubokog ubeđenja da su tajne prirode ne iscrpne, da svako naučno otkriće rađa stotine novih pitanja.

## IV

Često se govori o ulozi slučaja u naučnim otkićima. Kao primer navodi se čuvena Njut nova jabuka, a još češće poznati Erstedov ogled. Ersted je eksperimentisao sa »Voltinim stubom« koji je kratko vreme pre toga bio pronađen. Na stolu se »slučajno« nalazio i kompas. Kad god bi kroz provodnik potekla struja, magnetna igla skretala bi sa pravca sever-jug. Veličina skertanja zavisila je od vrste, dužine i debljine provodnika (danas bi rekli — od jačine struje koja teče kroz provodnik). To je bio efekat potpuno nove vrste, koji je izazvao veliko uzbuđenje u tadašnjim naučnim centrima. Već posle nekoliko nedelja Amper je na osnovu Erstedovog eksperimenta, stvorio svoju teoriju magnetizma, koja i danas važi: magneizam je posledica kretanja naelektrisanja. Analiza ovogotkrić a pokazuje da »slučaj« pomaže samo onome ko to zaslužuje, ko zna *šta* i *gde* treba da traži. Hans Kristijan Ersted je i pre ovog svog otkrića pisao da su sve prirodne pojave međusobno povezane on je svojim osnovnim zadatkom smatrao otkrivanje tih veza Zar je onda zaista »slučajno« što se kompas našao na stolu za eksperimente, što je Ersted odmah shvatio značaj i suštinu uočene pojave i što je uspeo da je za vrlo kratko vreme tačno prouči i objasni?

## V

Kada danas mi, deca druge polovine XX veka, slušamo radio, gledamo televiziju, računamo na džepnim računskim mašinama, telefoniramo i sl. — najčešće i ne pomišljamo da pre samo stotinak godina nije postojao nijedan od bezbroj električnih aparata koje mi sad koristimo, da je ogroman progres čije plodove danas uživa ljudska vrsta ostvaren za tako kratko vreme. Velikim delom to je zasluga onih naučnika koji su uspeli da prodru u suštinu električnih i magnetnih pojava. Među njima, pord Ersteda o kome smo već govorili, posebno mesto pripada »Njutnu XX veka«, Majklu Faradeju. On je sledeći Erstedovu misao o povezanosti električnih i magnetnih pojava i mogućnosti dobijanja »magneta« pomoću naelektrisanja koje se kreće, postavio sebi pitanje da li se uz pomoć magneta može dobiti električna struja. Njegovi genijalni eksperimenti, izvršeni pomoću vrlo skromnih sredstava (pomoću žice i kanapa, koji je služio kao izolator), dali su potvrdan odgovor: otkrivena je pojava elektromagnetne indukcije. Ali, Faradej se na tome nije zaustavio — uspeo je da u osnovi objasni ove pojave, uveo je u fiziku pojam električnog i magnetnog polja, otkrio je da postoji veza između elektromagnetizma i svetlosti, otkrio je zakone elektrolize i samo ga je korak razdvajao od otkrića atomizma elektriciteta.

Polazeći od Faradejevih otkrića, Maksvel je stvorio teoriju elektromagnetizma, jednu od najlepših i najdubljih tvorevina ljudskog duha. Iz te teorije je proizilazilo da postoje elektromagntni talasi, mađu koje spada i svetlost. Hercovi eksperimenti sjajno su potvrdili ovo predviđanje. Zatim su došla genijalna Teslina otkrića, koja su omogućila industrijsko korišćenje elektromagnetnih pojava. Zahvaljujući industrijsko-tehničkom progresu došlo je do novog, još bržeg razvoja nauke.

Tako se na primeru elektromagnetizma vrlo jasno ocrtao osnovni put sticanja novih saznanja u fizici: od eksperimenata ka teorijskom uopštavanju, od teorije ka novim eksperimentima, a zatim ka primeni rezultata istraživanja u društvenoj praksi. Međutim, mogli smo ići i drugim redosledom, jer svakom značajnom fizičkom eksperimentu prethodi neka teorijska ideja koju treba proveriti. Zbog toga je nemoguće i nepotrebno određivati da li je važnija eksperimentalna ili teorijska metoda. Teorija vodi i objašnjava, omogućava tačne proračune, predviđa nove pojave. Eksperiment proverava teorijske postavke, odlučuje da li je neka teorija tačna ili nije, otkriva nove fenomene u prirodi, potstiče razvoj novih teorija



## VI

Krajem XIX i početom XX veka došlo je do mnogih novih eksperimentalnih otkrića, koja nisu mogla da budu objašnjena pomoću postojećih teorija, a pre svega pomoću Njutnove mehanike i Maksvelove elektrodinamike. Atomski spektri, zakoni zračenja zagrejanih tela, rentgensko (iks) zračenje, radioaktivnost, fotoelektrični efekat — sva ta i mnoga druga otkrića nisu se uklapala u sliku sveta koju je stvorila fizika XVIII i XIX veka, tzv. klasična fizika. Nastupila je »kriza« fizike. Izlaz iz te krize nađen je stvaranjem novih fizičkih teorija — kvantne mehanike i teorije relativnosti.

Najpre je Plank 1900. godine, da bi stvorio teoriju usaglašenu sa eksperimentalno nađenim zakonima zračenja, pretpostavio da postoje kvanti (najmanji iznosi) energije elektromagnetnog zračnja. Zatim je Ajnštajn, pet godina kasnije, da bi objasnio eksperimentalno nađene zakone fotoefekta, uveo pojam fotona — svetlosne čestice. Pošto je talasna priroda svetlosti pre toga pouzdano dokazana, u ogledima sa interferencijom i difrakcijom svetlosti, moralo se prihvatiti da je svetlost *istovremeno* i talasno čestične prirode. To je teško zamisiiti, protivi se našoj »logici« i »zdravom razumu«, ali je ipak tako. Sledeći korak, polazeći od čisto teorijskih razmišljanja, učinio je de Brolji. On je pretpostavio da ne samo svetlost, već i elektroni i druge čestice, imaju dvojnu, talasno-čestičnu prirodu i izračunao je talasnu dužinu elektrona. Nekoliko godina kasnije ta teorija bila je eksperimentalno potvrđena i počeo je brz razvoj kvantne mehanike, nauke bez koje ne bi mogli da proučavamo mikrosvet — atome, molekule, atomska jezgra i elementarne česice.

Uporedo sa razvojem kvantne mehanike tekao je i razvoj teorije relativnosti (specijalna — 1905., a opšta — 1917. godine). Međutim, u ovom slučaju ceo razvoj torije ostavrio je jedan čovek — Albert Ajnštajn. Ajnštajnova teorija je sjajan primer deduktivne metode u fizici. Ajnštajn je počeo od revizije opših pojava u prostoru i vremenu, a došao je do konkretnih zaključaka koji su se mogli eksperimentalno proveriti. Tako, na primer, iz specijalne teorije relativnosti sledi da se u sistemu koji se u odnosu na posmatrača kreće ravnomerno i pravolinijski brzinom $v$, povećavaju masa tela i trajanje događaja, a smanjuju dužine. Svi ovi zaključci potvrđeni su eksperimentima. Tako je, na primer, izmereno da se srednji život za radioaktivni raspad mezona povećava pri porastu brzine mezona, upravo za iznos koji predviđa teorija. S druge strane, iz opšte teorije relativnosti sledilo je — između ostalog — da svetlosni zraci skreću u blizini velikih masa, njihova putanja nije pravolinijska, već se zakrivljuje. To je potvrđeno već prilikom prvog narednog pomračenja Sunca (1919. godine): pokazalo se da svetlost udaljenih zvezda zaista skreće pri prolasku pored Sunca.

Na kraju treba reći da i pored revolucije koju su u fizici izazvale ove dve teorije, njima nisu »ukinute« stare teorije, npr. Njutnova mehanika ili Maksvelova elektrodinamika. One dalje važe u oblastima u kojima su pronađene, ali se ne mogu bez relativisičkih i kvantnih popravki primenjivati u drugim oblasima fizike, npr. u svetu elementarnih čestica.

## VII

Poseban značaj u fizici imaju fizički *principi*. Oni nisu rezultat pojedinčanih eksperimenata. Oni su plod uopštavanja celokupnog ljudskog saznanja u nekoj oblasti pojava, rezultat vekovnih čovekovih svesnih i nesvesnih eksperimenata. Milionima puta već potvrđivani, svakog sekunda, svakog milionitog dela sekunda oni se izlažu proverama i uvek se — bez i jednog izuzetka — ponovo potvrđuju. Oni su opštevažeći za sve procese u svemiru: fizičke, hemijske, biološke i astronomske, u mikrosvetu i na zvezdama, podjednako.

Principi često pomažu ne samo razjašjavanju postojećeg rezultata u istraživanju materije, već doprinose i predviđanju novih fenomena. Tako je samo zahvaljujući dubokoj »veri u princip održanja energije, teorijski predviđena, a zatim i eksperimentalno pronađena nova čestica »neutrino«. Ona, naime, odnosi deo energije jezgra prilikom beta-raspada. Merenja energija beta-čestica su pokazivala da u mnogim slučajevima »nedostaje« deo energije. Da li možda u jezgru ne važi princip održanja energije? Ne, rekli su fizičari. Princip mora da važi. Potražimo neko dugo objašnjenje te pojave. I, objašnjenje je nađeno. Prinip održanja energije još jednom je »trijumfovao«.

## GETEOVA UČENJA O BOJAMA

MLADEN RADONJIĆ (Beograd)

»*Zanimanje prirodom je najčednije*«, zapisao je pre 150 godina glasoviti Gete. Možda je to odgovor na pitanje zbog čega su se mnogi veliki književnici u raznim vidovima bavili i prirodnim naukama. Kod nekih je to možda bila želja da u svojim literarnim delima naglase egzaktnu komponentu, neki su boljim poznavanjem prirode lakše i sigurnije otkrivali dušu čovekovu. Nije subjektivno, ako matematičar u Andrićevim delima, na primer, otkrije matematičke modele mišljenja i zaključivanja.

Dakle, nameće se pitanje šta je pravi razlog bavljenja prirodom, ljudi koje su velikim učinila književna dela. Usko deluje zaključak da im je poznavanje prirode služilo kao komplementarno znanje za stvaranje književnog dela, ili je možda bar jedan od razloga da vrednost dela zavisi i od njegove egzaktne komponente u ukupnom gradivu.

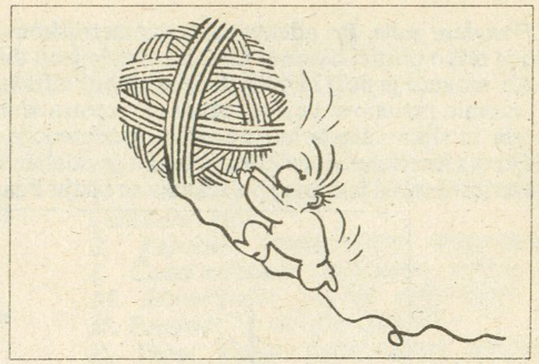
Primera ima mnogo, gotovo kod svih velikih književnika, a ovde će biti reči o Geteovom zanimanje za prirodu. Zašto smo izabrali baš Getea? On u svojim književnim delim potvrđuje široko poznavanje prirode, a u zapisima o njenom proučavanju iznosi i lične razloge:»*Nikad nisam prirodu posmatrao radi poetskih ciljeva. Ali pošto me je moje ranije crtanje predela, a zatim i moje docnije ispitivanje prirode nagnalo na stalno tačno posmatranje prirodnih predmeta, ja sam malo-pomalo, naučio napamet prirodu do najsitnijih detalja, tako da mi oni, ako mi je kao pesniku nešto potrebno, stoje na raspolaganju, te se ne ogrešim lako o istinu*«.

Gete se bavio proučavanjem raznih oblasti prirode, pa je povodom toga i zapisao: »*U botaniku sam ušao empirijskim putem. Još i sada znam sasvim dobro da mi je učenje o obrazovanju polova bilo odveć opširno, te nisam imao odvažnosti da ga shvatim. To me je i nagnalo da stvar ispitam svojim putem i da pronađem ono što je svim biljkama bez razlike zajedničko. Tako se otkrio zakon metamorfoze. . . I minerologija me je interesovala samo iz dva razloga: najpre zbog njene velike praktične koristi, a zatim da bih u njoj našao dokument o formiranju prasveta, zašta je Vernerovo učenje pružalo nadu.*« O matematici Gete veli:»*Ja poštujem matematiku kao najuzvišeniju i najkorisniju nauku, sve dok je primenjuju onde gde joj mesto; ali ne mogu da pohvalim kad hoće da je zloupotrebe u stvarima koje ne leže u njenom području i gde ta plamenita nauka izgleda kao puka besmislica*«.

Dakle, u proučavanju prirode Gete je bio svestran, što još jedanput potvrđuje njegov veliki genije, ali od svih tih bavljenja prirodom najdraže mu je bilo »UČENJE O BOJAMA«. Sam Gete kaže «. . . *da bi čovek razumeo pojave iz Učenja o bojama, tu ništa potrebno nije, osim čista posmatranja, a treba imati i dobru glavu. O fenomenu plave i žute senke marljivo sam mislio i promišljao. I koliko mi je god ta stvar dugo ostala tajna, ipak mi je, nakon dugog posmatranja, puklo pred očima i postepeno sam se ubeđivao da sam fenomen shvatio*«. Na Ekermanovo insistiranje da objasni pojavu, Gete je odgovorio:»*To je sad Vaša stvar, potrudite se da to proniknete*«. Ekerman se dalje seća »*Suton je najzad počeo da se hvata i ja rekoh Geteu — vreme je. On zapali voštanu sveću i pruži mi list bele hartije i štapić. . . Postavim sveću na sto i blizu prozora, stavim list hartije bliže dnevnoj svetlosti, pa kad sam štapić namestio na sredinu hartije, između dnevne svetlosti i svetlosti sveće, fenomen je iskrsao u savršenoj svojoj lepoti. Senka prema sveći pokazivala se kao izrazito žuta, druga pak senka, prema prozoru, kao potpuno plava. Počeh sa predavanjem. Svetlost i tama nisu boje, već dve krajnosti, dva ekstrema, a između njih leže i iskrsavaju boje, i to izvesnim preinačavanjem tih esktrema. Odmah iza njih nastaju dve boje, žuta i plava, i to žuta na granici svetlosti, kada ovu posmatram kroz pomućenu providnost, a plava na granici tame, kada gledam kroz osvetljenu providnost. Vidimo, takođe, da štapić, blagodareći svetlosnoj jačini plamena sveće, baca izrazitu senku. Ta bi senka izgledala kao mrkla tama čim bih prozorske kapke zatvorio i dnevnu svetlost isključio. Ali ovako dnevna svetlost ulazi slobodno kroz otvoren prozor i obrazuje osvetljenu sredinu, kroz koju ja proničem u tamu senke i tako, saobrazno zakonu, nastaje plava boja. . . Sveća kad gori, baca na belu hartiju svetlost koja već u sebi ima laki dašak žućkastog preliva Ali dnevna svetlost ima u sebi toliku moć da baca slabu senku od štapića prema svetlosti sveće. Ova, pak, senčica, ukoliko dopre, muti svetlost i tako, saobrazno zakonu, nastaje žuta boja. . . Gete je oduševljeno priznao da je i on sam pojavu objasnio na isti način*«.

Na kraju, svakako će naši mladi fizičari odmah uočiti da se današnje učenje o bojama razlikuje od Geteovog. Međutim, moramo se setiti da i mnoga učenja samih fizičara savremena fizika tumači na drugi način, a da ne govorimo o Geteovom proučavanju fizike. Drugo, ovde nam nije bio cilj da ističemo Geteov doprinos razvoju fizike, već da istaknemo kroz njegov primer interesovanje velikih književnika za proučavanje prirode.

## *POKUŠAJTE*



## PUASONOVA SVETLA MRLJA NA OSCILOSKOPU

VUKOTA BABOVIĆ (Kragujevac)

### 1. Uvod

Mnogi od mladih fizičara ispoljavaju prirodnu težnju da upoznaju fiziku i sa njene eksperimentalne strane. Oni, kao retko gde, mogu u optičkoj laboratoriji zaista da neposredno osete onu radost otkrivanja novih fenomena koja vodi ka putevima nauke. Mnoštvo efekata vezanih za tu prastaru zagonetku zvanu svetlost privlači pažnju početnika. Mladi akteri ispoljavaju radoznalost, jer se po njihovoj »komandi« ređaju i manifestuju detalji koji su inače skriveni u svakodnevnom toku događaja.

Posebnom se lepotom ističu *difrakcioni eksperimenti*. Svetlost rasuta sa vidnom uređenošću pleni um i ostavlja nas u naporima da osmislimo tu unutrašnju logiku zbivanja.

Ovde ćemo opisati jednu demonstraciju difrakcije svetlosti, koja je u literaturi poznata kao Puasonova (svetla) mrlja.

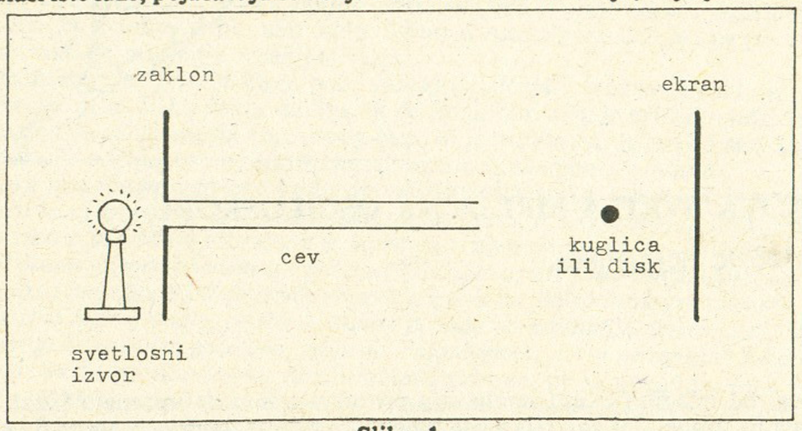
### 2. Više od anegdote

U dugoj istoriji napora da se otkrije prava suština svetlosti, svojom poučnošću se ističe anegdota sa kojom je u vezi nastanak termina *Puasonova mrlja*. I premda je ta priča u mnogim knjigama data kao nezaobilazni deo teksta, ne možemo a da je ovde ne ponovimo.

Godine 1818. pojavio se kao učesnik jednog konkursa francuske Akademije nauka i mladi fizičar Ogist Frenel. On je priložio svoj memoar o difrakciji svetlosti u kojem je svetlost razmatrao kao talasni fenomen. Član komisije za ocenu radova, tada već afirmisani fizičar, akademik Puason, primetio je u toku izučavanja Frenelovih postavki sledeću interesantnu posledicu. Ako je tačna nova teorija, onda mali, neprozračni, okrugli disk, obasjan svetlošću, baca na ekran takvu senku da se u centru vidi svetla mrlja. U postojanje svetle mrlje u centru geometrijske senke Puason nije verovao, te je na osnovu toga posumnjao u tačnost Frenelove difrakcione teorije. Precizni hroničari, međutim, kažu da je bilo eksperimentatora koji su i celih pedeset godina pre ovog događaja znali za svetlu mrlju u senci. U svakom slučaju, neposredno posle pojave Frenelovog teksta, istaknuti eksperimentator Arago uspeo je da nedvosmisleno pokaže da svetla mrlja iza diska zaista postoji. Vanredno zanimljivim spletom okolnosti, ta mrlja je kasnije nazvana Puasonovim imenom, imenom čoveka koji nije verovao u njenu egzistenciju!

Ako se za demonstriranje Puasonove mrlje koristi neki od klasičnih svetlosnih izvora onda se moraju preduzeti mere da se obezbedi *koherentan snop svetlosti*. Koherentnost se može postići, na primer, nekim od načina koji koriste Jungovu ideju sa dva uska otvora. Šematski prikaz jedne mogućnosti dat je na slici 1. Pomoću cevi »otseca« se jedan koherentan deo svetlosnog fluksa kojim se obasjava neprozračni disk dijametra 1 : 2 mm. Umesto diska se može upotrebiti i neka kuglica; važno je pritom da površina kuglice bude što je moguće glađa i zaista sferična, kao što i ivice diska — ako se sa njim radi — treba da budu lišene neravnina. Tako ćemo moći da sa što manjom greškom »zatvorimo« određene

*Frenelove zone.* Pri adekvatnom geometrijskom odnosu elemenata koji su prikazani na slici, nije teško postići da na ekranu imamo željenu difrakcionu sliku sa svetlom tačkicom u centru. Ali, moguće je poći i korak dalje, te dobiti difrakcionu sliku koja se sastoji od celog niza svetlih i tamnih prstenova koji se ređaju oko centra senke, t.j. oko Puasonove mrlje. Kao što znamo, cela ta slika nastaje kao rezultat interferencije svetlosti koja prolazi s raznih strana diska. Centar interferencione slike jednako je udaljen od svih tačaka oboda diska, tamo dospevaju svetlosni talasi iste faze, pojačavaju se i daju Puasonovu svetlu mrlju, koju pretskazuje teorija.




**Slika 1**

Međutim, ljudi već više od deset godina proizvode lasere. Na sreću, laboratorije naših škola mogu ih lako kupiti (»Iskra« iz Kranja proizvodi gasni He-Ne laser tipa PL-9, izlazne snage 1 mW i on sada košta oko 6000 dinara). I takvi najprostiji tipovi školskih lasera obezbeđuju visokokvalitetni svetlosni *monohromatski izvor* visoke vremenske i prostorne koherencije pomoću koga se, na primer, difrakcioni opit o kome je reč može organizovati sa izvanrednom jednostavnošću. Dovoljno je neprozračni predmet direktno izložiti snopu laserske svetlosti (ako je potrebno, taj se snop može jednim sočivom proširiti). Kao predmet, može se koristiti mala kuglica iz nekog kugličnog ležaja ili brižljivo nacrtana okrugla tačka (takve postoje u kolekciji slova Lithoset tehnike, što se u našim knjižarama može naći). Na kraju, nama je u kragujevačkom Institutu za fiziku uspevala demonstracija i ako se koristi prosto glavica ukrasne čiode, itd.

Iskustvo pokazuje da efekat Puasonove mrlje ostavlja na učenike znatan utisak. Zato je od interesa razmotriti mogućnost da se ta difrakciona pojava prikazuje većem broju posmatrača istovremeno. Ovde ćemo opisati kako smo to postigli uz pomoć ekrana osciloskopa

## 3. Opis aparature

Na slici 2 prikazali smo aparaturu za demonstriranje Puasonove svetle mrlje na osciloskopu. Laserski zrak se jednim sočivom proširi tako da već na rastojanju metar — dva ima efektni prečnik poprečnog preseka od nekoliko milimetara. Svetlost pada na neprozračni disk koji je pričvršćen za osovinu elektromotora (zadovoljava bilo koji motor, mi smo koristili tip M-2, iz kolekcije »Jugolaboratorije«). Ugaona brzina obrtanja osovine može se regulisati autotransformatorom u širokim granicama. Difrakciona slika iza diska pada na fotodetektor, koji se sastoji od fotodiode (na primer, tip HP-4220; dobre su i mnoge druge) i jednog pojačavača fotostruje sa izlaza fotodiode. Posle pojačavača signal se vodi na Y-ploče osciloskopa.

Kad se disk kreće poprečno kroz laserski zrak, difrakciona slika »putuje« preko senzora fotodiode. Na taj način fotodetetkor uspeva da registruje varijaciju intetnziteta svetlosti duž jednog prečnika senke. Ako disk preseca zrak više puta u sekundi, na ekranu osciloskopa ćemo imati krivu koja odgovara dobijenoj difrakcionoj slici.

Autotransformatorom se može postići da se osovina motora obrće 5 do 20 puta u sekundi, pri čemu se slika može uspešno sinhronizovati, a fotodetektor uspeva da prikaže sve bitne detalje raspodele svetlosnog polja duž ispitivanog pravca.

**(Nastavak na strani Z127)**

**SADRŽAJ »MLADOG FIZIČARA« BROJ 16**

*D. Koledin*: Fizika i metafizika Ervina Šredingera
*Lj. i N. Nedeljković*: Pojam kvantnog stanja
*Lj. Ristovski*: Dvojnost talas-čestica
*S. Djeniže*: Frank—Hercov ogled
*L. Rak*: Kako se mogu »videti« elementarne čestice
*M. Dimitrijević*: Šta se dogodilo u fizici tokom poslednje decenije
*D. Popović*: Kako vidimo boje
*M. Popović*: Milankovićeva teorija klimatskih promena
*D. Popović*: Međunarodni sistem mernih jedinica
*M. Popović*: O razvoju naučnog metoda
*B. Radojević*: Avdo Đumrukčić
*B. Milotić*: Totalna refleksija
*M. Bralović*: Promena unutrašnje energije
Pored pobrojanih tekstova, objavljeno je više zadataka, zadataka — pitanja i testova, kao i rešenja zadataka iz prošlog broja.

**SADRŽAJ »MLADOG FIZIČARA« BROJ 17**

*D. Koledin*: Hajgensova vremena
*Lj. Ristovski*: Talas
*Lj. i N. Nedeljković*: Pojam kvantne fizičke veličine
*S. Djeniže*: Milikenov ogled
*J. Dojčilović*: Arhimedov zakon
*M. Dimitrijević*: Majkelson—Morlijev ogled
*D. Popović*: Muzika
*P. Grujić*: Skok uvis
*D. Filipović*: Fluorescencija i čist vazduh
*S. Popović*: Elektronski računar
U ovom broju su, pored zadataka zc učenike osnovne škole, objavljeni i zadaci za učenike zajedničkih osnova usmerenog obrazovanja.

**SADRŽAJ »MLADOG FIZIČARA« BROJ 18**

*D. Koledin*: Maks Plank
*Lj. Ristovski*: Plankov zakon zračenja
*V. i S. Adamović*: Infracrveni i ultraljubičasti zraci
*S. Vojvodić*: Raderfordov eksperiment
*I. Čadež*: Kako ispitujemo atome
*M. Dimitrijević*: Teorija relativnosti
*D. Popović*: O cirkulaciji krvi
*P. Vuca*: Kako meriti krvni pritisak
*B. Radojević*: Čarolije u vremenu
*V. Adamović*: Modeli atoma
*S. Popović*: Kako radi računar
Rešenja zadataka

**SADRŽAJ »MLADOG FIZIČARA« BROJ 19**

*D. Koledin*: Amper
*Lj. Ristvoski*: Magnetni dipol
*B. Pomorišac*: Najmanji delići materije koje znamo
*M. Dimitrijević*: Kosmologija
*M. Popović*: Ponašanje tečnog helijuma
*D. Popović*: Električna aktivnost biljaka
*S. Milošević*: Grafičko prikazivanje rezultata
*A. Jofe*: Elektron
Zadaci
Zadaci-pitanja
E-zadatak
Nagradni zadatak
Spisak rešavača