OBAVEŠTENJA UREDNIŠTVA

1. *Mladi fizičar* objavljuje članke i kraće dopise koji doprinose popularizaciji fizike i srodnih nauka među učenicima i unapređenju njihova već stečena znanja i shvatanja, a koji su stručno i didaktički prilagođeni njihovom uzrastu. Namenjen je učenicima i svim ostalim koje interesuje prirodne nauke.

2. Svaki rukopis (osim rešenja zadataka i drugih priloga koje šalju učenici) treba da bude otkucan pisaćom mašinom s dvostrukim proredom na čistoj, neprozirnoj hartiji formata A4 (210 × 296 mm), s praznim prostorom širine oko 4 cm na levoj ivici lista. Obim članka ne treba da pređe 5 kucanih stranica. Crteži treba da budu izrađeni tušem na posebnoj čvrstoj hartiji. Na odvojenom listu autor je dužan da ispiše svoje ime i prezime, zvanje (odnosno zanimanje), adresu za prepisku i broj svog žiro računa (odnosno izjavu da ne poseduje žiro račun). Rukopisi se ne vraćaju. Uređivački odbor zadržava pravo da prihvaćene rukopise rediguje i objavljuje redosledom koji ne zavisi od reda prispeća.

3. **Godišnja pretplata za sva četiri broja iznosi 66 dinara.** Naručiocima više od 20 jednogodišnjih kompleta odobravamo rabat od 20%, 15% odnosno 10% zavisno od roka do kog će se isplatiti celokupna pre plata (1. XII,1. II odnosno 1. IV). Narudžbenice slati na adresu koja je niže data, a uplate na žiro-račun Društva matematičara, fizičara i astronoma SR Srbije broj 60806--678-10766, Beograd, sa obaveznom naznakom za *Mladi fizičar*.

4. Narudžbenice, članke, rešenja zadataka i sve ostale 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

19

BEOGRAD 1981

DRUŠTVO MATEMATIČARA, FIZIČARA I ASTRONOMA SR SRBIJE

MLADI FIZIČAR
časopis
za one koji uče
i vole fiziku
godina V
broj 19
(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 BOGOVAC
Svetozar BOŽIN
Draško GRUJIĆ
Milan DIMITRIJEVIĆ
Dragan HAJDUKOVIĆ
Tomislav PETROVIĆ
Dragana POPOVIĆ
Budo RADOJEVIĆ
Zoran RADOVIĆ

Sadržaj:

D. Koledin: Amper 1
Lj. Ristovski: Magnetni dipol 4
B. Pomorišac: Najmanji delići materije koje znamo 8
M. Dimitrijević: Kosmologija 12
M. Popović: Ponašanje tečnog helijuma 15
D. Popović: Električna aktivnost biljaka 19
S. Milošević: Grafičko prikazivanje rezultata 22
A. Jofe: Elektron 26
Zadaci Z97
Zadaci pitanja Z100
E-zadatak Z101
Nagradni zadatak Z103
Spisak rešavača Z112

Vinjete: N. Ubović
Ilustracija: LJ. Ristovski

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

ŽIVOT I DELO

ANDRÉ MARIE AMPÈRE

AMPER

DUŠAN KOLEDIN (Beograd)

Ako izvan faktografsog i dosadnog, pedagoškog i ubeđivačkog, postoji *istorija stvaralaštva*, i ako je pravilo da se velikim, revolucionarnim naučnim doprinosima isprva pruža otpor, da oni ne nalaze odgovor u društvu svoga vremena, onda je Andre Mari Amper izuzetak. Više od pogodne ilustracije stvaralačko-društvenog kontinuiteta. Verovatno nema mnogo pozvanijih i jednostavnijih komentara naučne atmosfere prve polovine prošlog veka, do Maksvelovog:»S jedne strane, naučnici su se većim elanom posvetili izgradnji nauke o elektricitetu, a s druge, ljudi prakse su naučili da cene naučna znanja. . .«

Izuzetni Amper je rođen na selu, nedaleko od Liona, januara 1775. godine. U to vreme je, inače, već bilo toliko teorija o prirodi elektriciteta koliko i uvaženih eksperimentatora u ovoj oblasti: Hoksbi, Grej, Dezagilije, Difej, Simer, Nole, Vatson, Franklin... Kada je Amperu bilo pet godina, filozof i urednik Didro i matematičar i pisac predgovora Dalamber pripremili su za štampu tridesetpetu knjigu »*Enciklopedije ili obrazloženog rečnika nauka, umetnosti i zanata*«. Otuda je Amper bio u situaciji da »Enciklopedijom« spontano, izvan škole, usmeri svoje obrazovanje na pravi način. S druge strane, dok je on proučavao »dubok, sveobuhvatni filozofski interes... pun živahnosti, opšt i konkretan pogled na svemir« francuskih materijalista, ugledni fizičar Šarl Kulon je uveliko eksperimentisao sa torzionom vagom za čije su krajeve bile pričvršćene one čuvene naelektrisane kuglice od zovine srži; Luiđi Galvani, profesor medicine iz Bolonje, nakon brižno aranžiranih eksperimenata sa žabljim ekstremitetima, objavio je »Traktat o električnim silama pri kretanju mišića«; Alesandro Volta, zemljak Galvanijev, saopštio je u prepunoj dvorani Francuskog nacionalnog instituta u Parizu o mehanizmu pretvaranja hemijske energije u električnu, o prvom kontrolisanom izvoru električne struje; Voltine eksperimente je uspešno i brzo reprodukovao mladi profesor Žan Bio, Napoleon je nagradio Italijana, a Nacionalni institut iz Pariza je ustanovio dve velike novčane nagrade za najbolje radove u novoj oblasti fizike... U to vreme je Andre Mari Amper još studirao, kao i njegov danski kolega Hans Hristijan Ersted. Amper je od 1807. godine predavao fiziku i hemiju, prvo u Buržu, zatim u Politehničkoj školi i na Francuskom koledžu u Parizu. Ersted je otprilike u isto vreme, u Kopenhagenu, započeo predavanja iz elektriciteta, galvanizma i magnetizma.

Kopenhaški profesor je imao urednu beležnicu s naslovom »*Sveska činjenica*«. Pored citata iz stare Džilbertove knjige »O magnetu, magnetnim telima i o velikom magnetu Zemlji«, bilo je zanimljivih odlomaka iz brodskih dnevnika ili čak novinskih napisa:»... Brod 'Kvin' se jula 1681. godine, u vreme bure, približavao rtu Kod. Jedan udarac munje je pogodio brod i znatno ga oštetio. U toku noći, kada su članovi posade proveravali kurs broda prema položaju zvezda i stanju brodskih kompasa, ustanovljena je neobična činjenica — od tri kompasa, dva su pokazivala na jug, umesto na sever, a treći na zapad!« Ili:»... Jedan trgovac smestio je u ugao svoje radnje u Vekfildu veliki sanduk napunjen noževima, viljuškama i drugim predmetima od gvožđa i čelika. Iznenada, jula 1731. godine, razmahnula se snažna oluja. Munja je udarila u radnju i razbacala sve stvari iz sanduka. Metalni predmeti, od kojih su mnogi bili vidno otopljeni, postali su jako namagnetisani...« Međutim, »Sveska činjenica« bila je presudno obogaćena opsakom jednog Erstedovog studenta — *kada se zatvori strujno kolo, magnetna igla u blizini provodnika električne struje biva otklonjena u stranu, skreće*!? Pošto je zabeležio ovu *činjenicu* Ersted je pola godine marljivo eksperimentisao. Jula 1820. godine objavio je knjigu »*Ogledi koji se odnose na delovanje električnog konflikta na magnetnu iglu*«.

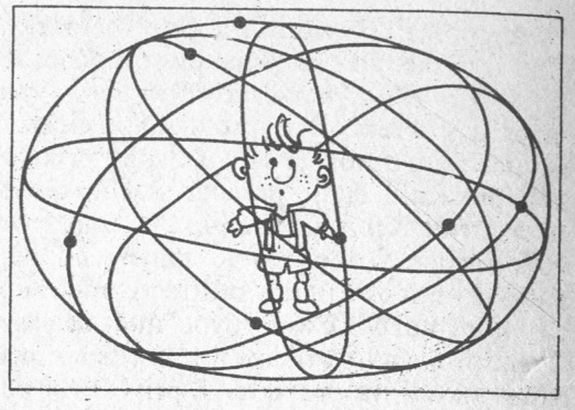
Pitanja oblika i prirode veze električnih i magnetnih pojava bila su gotovo isključivi sadržaj preostalih šesnaest godina Amperovog života. Sistematski nastavljajući eksperimente na Erstedovoj liniji, akademik Amper je

1822. godine objavio rad koji je već naslovom ukazivao na mogućnosti nove oblasti fizike, ali i na pripadnost moćnoj njutnovskoj tradiciji u najširem smislu — »*Zbirka elektrodinamičkih posmatranja*«. Činjenica da se oko naelektrisanja u pokretu, oko provodnika električne struje stvara magnetno polje, razume se, u osnovi je svih u članku prikazanih posmatranja. Opisani su ogledi koji pokazuju da je pomoću deklinacione magnetne igle moguće odrediti smer struje kroz provodnik — Amperovo pravilo plivača. (U savremenim udžbenicima fizike ovo je zamenjeno »opasnim« pravilom desne ruke, jer njegova nesmotrena demonstracija može dovesti do bolnih iščašenja; na sreću, na višem udžbeničkom nivou nudi se sasvim bezbolna alternativa: tzv. vektorski proizvod.) Prikazani su i eksperimenti iz kojih se vidi da se dva paralelna pokretljiva provodnika privlače ili odbijaju, već u zavisnosti od toga da li električne struje u njima imaju isti ili suprotan smer. Inače, ovaj ogled osvedočio se svojom dalekosežnošću, s obzirom da su ga savremeni metrolozi iskoristili za definiciju jedinice jačine električne struje, koja iz evidentnih razloga nosi Amperovo ime. Uz sve to, najznačajniji su njegovi eksperimenti sa velikim kružnim strujama u svim laboratorijskim realizacijama: pravougaone struje »obešene« o tzv. Amperov stativ, jednostruki kružno savijeni provodnici, solenoidi sa ili bez gvozdenog jezgra... Opaska da se kružna žičana kovrdža kroz koju prolazi električna struja ponaša kao magnetni dipol zavredeće više od neposredno praktičnog.

Naime, 1830. godine Andre Mari Amper objavljuje drugi i poslednji članak — »*Teorija elektrodinamičkih pojava*«. Već pomenutu malu metalnu kovrdžu kroz koju prolazi električna struja, kao i odgovarajući i od nje neodvojivi dipol, Amper je (ko zna kako!?) »video« na molekularnom nivou: u nemagnetičnoj gvozdenoj šipci ravni molekularnih kružnih struja orijentisane su nasumično, u raznim pravcima, usled čega se njihova dejstva u uknpnom iznosu potiru; u stalnom magnetu ili gvozdenom jezgru solenoida sve kružne struje orijentisane su u istom smeru, zbog čega se njihova dejstva unutar metala međusobno potiru; međutim, dejstva kružnih struja koje nemaju simetričnih »suseda«, oko molekula pri površini magnetične gvozdene šipke, ne potiru se i rezultiraju u velikom magnetnom dipolu. Dosledni Amperov sledbenik i zemljak Lanžven se znatno kasnije, tumačeći paramagnetizam nadovezao na to objašnjenje i obogatio ga primesama statističkog sadržaja.

Amper je umro juna 1836. godine. Međutim, ako je sedamnaesti vek doba naučnih instrumenata, eksperimentalnih uređaja, i ako su kasni osamaesti vek i prva polovina devetnaestog veka doba parne mašine, onda je druga polovina prošlog stoleća razdoblje prvih, revolucionarnih primena elektromagnetizma. Jer, od 1844. godine usavršeni Morzeov telegraf već se rutinski koristio za brzi prenos vesti, pogotovo u železničkom saobraćaju; Majkl Faradej je još 1831. godine ostvario prvu magnetomotornu mašinu; marta 1876. godine Grehem Bel je patentnom uredu Vašingtona prijavio novi pronalazak — »telegraf koji govori«; u Menlo parku, nedaleko od Njujorka, Nova 1880. godina dočekana je uz svetlost sedam stotina Edisonovih sijalica...

ŠTA JE...



MAGNETNI DIPOL

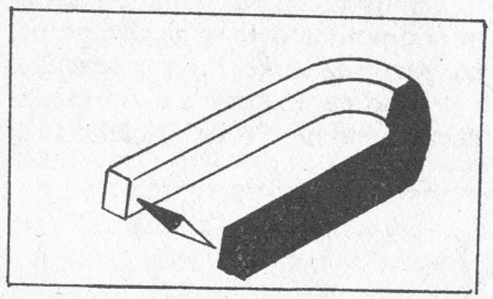
LJ. RISTOVSKI (Beograd)

Po pravilu, bezmalo opštem, najvrednija naučna dostignuća plene svojom jednostavnošću, jasnom, na žalost, samo onima koji razumeju jezik kojim su iskazana. Ona su ponekad, možda i često, tako jednostavna i lako shvatljiva da izgledaju čudne tvrdnje da su rezultat dugotrajnih istraživanja i da su njihovi tvorci morali biti izuzetni (genijalni) naučnici. Ovo važi i za osnovne zakone klasične fizike, kojima su danas dorasli i učenici osnovne škole. Zaista, kako verovati u genijalnost onoga što je lako shvatljivo i učeniku osnovne škole? Valjda zato, poneki autori, a da bi pokazali opravdanost takvog verovanja, govoreći o zakonima klasične fizike, navode niz istorijskih činjenica i put kojim se do njih došlo. Jalov je to posao, a i nepotreban. Jalov, jer je teško objasniti nekom ko fiziku počinje da uči da su osnovni zakoni klasične fizike sinteza brojnih naučnih istraživanja hipoteza, često protivrečnih. Teško je ubediti (da li se može?) nekog ko živi u ovom 20. veku da su »jednostavni« Njutnovi zakoni dovoljni da njihovog autora svrstaju u grupu najvećih fizičara svih vremena. Svako vreme ima svoje »aršine«. Uostalom, smatra se da je otkriće točka jedno od najvećih otkrića u istoriji čovečanstva. Na mnoge naše savremenike ovo tvrđenje deluje pomalo smešno i neozbiljno. Da li ih treba ubeđivati u suprotno tvrdnjom da je bilo teško otkriti točak, da je bilo teško doći do osnovnih zakona klasične fizike? Nije, jer se vrednost naučnog otkrića ne određuje po naporu koji mu je prethodio. Velika dela govore sama za sebe. Oduzmite Čovečanstvu točak i pogledajte šta će se desiti. Oduzmite klasičnoj fizici Njutnove zakone, pa od fizike (uopšte) praktično ništa neće ostati.

Čemu sve ovo? Postoji samo jedan razlog ili, bolje rečeno, želja da se da prava težina *Amperovoj hipotezi*. Amper je pretpostavio da se magnetna svojstva stalnih magneta mogu objasniti postojanjem zatvorenih *molekulskih* (*atomskih*) *struja*. Pretpostavka je sasvim prihvatljiva, jer takve struje zaista postoje. Čine ih elektroni koji kruže oko matičnih jezgara. Međutim, Amper za njih nije znao. Atom i elektron opisani su znatno kasnije. Kako je došao na pomisao da u stalnom magnetu postoje zatvorene struje i nije važno? Bar ne ako ne želimo da se bavimo ovde i istorijom fizike.

Na povezanost magnetnih svojstava stalnih magneta i zatvorenih

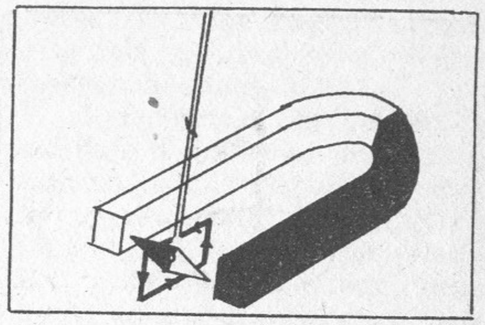
struja ukazuju lepi i jednostavni eksperimenti čiji je, u stvari, cilj ispitivanje magnetnog polja. Na slici 1 je prikazan jedan takav eksperiment. Izvor magnetnog polja je potkovičasti magnet, a u tu svrhu može da posluži i provodnik kroz koji protiče struja. Postojanje magnetnog polja se najlakše može ilustrovati unošenjem magnetne igle (kompasa) u prostor između polova magneta. Pod dejstvom magnetnog polja magnetna igla se usmerava na način prikazan na slici 1. Umesto magnetne igle može da se upotrebi mala zatvorena strujna petlja, kvadratnog ili kružnog oblika, napravljena od tanke provodne žice kroz koju protiče električna struja.



Slika 1.

Ako se ovako napravljena petlja (zatvorena struja) i magnetna igla istovremeno unesu u magnetno polje, onda se petlja postavlja tako da se pravac normale na ravan petlje poklapa sa pravcem duž koga se postavlja magnetna igla. (sl. 2). I to je tako u svakoj tački polja. Petlja se uvek postavlja tako da se normala na ravan petlje poklapa sa pravcem duž koga se postavlja magnetna igla.

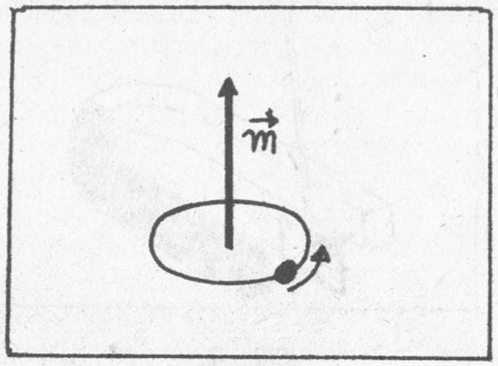
Ništa u prirodi nije slučajno, naročito ako se uvek dešava na isti način. Nije slučajna ni očigledna povezanost ponašanja zatvorene strujne petlje i stalnog magneta-magnetne



Slika 2.

igle, bar kada je reč o njihovom ponašanju u magnetnom polju. Postavlja se samo pitanje šta učiniti: opisati ponašanje magnetne igle pošavši od onoga što se zna o zatvorenoj petlji kroz koju protiče struja, ili obrnuto? Ako se odlučimo za prvo, odlučili smo se za *mikroskopsku teoriju magnetizma*, u suprotnom slučaju izbor pada na *fenomenološku teoriju magnetizma*.

Mikroskopska teorija magnetizma zasnovana je na prethodno pomenutoj Amperovoj hipotezi. Polazna pretpostavka je da su magnetna svojstva materijalnih sredina određena ponašanjem tzv. elementarnih magnetnih dipola. Formalno uzevši, *magnetnim dipolom* se naziva svaka kružna struja, odnosno svako naelektrisanje koje se kreće po zatvorenoj trajektoriji. Elementarni magnetni dipol čini elektron koji se kreće po zatvorenoj trajektoriji oko jezgra. Njemu se pripisuje *magnetni moment*, koji je srazmeran naelektrisanju elektrona, njegovoj brzini i površini ograničenoj trajektorijom. Magnetni moment je vektorska veličina. Normalan je na ravan u kojoj leži trajektorija elektrona, a smer se može odrediti uz pomoć pravila desnog zavrtnja (desne ruke). Na slici 3 je predstavljen elementarni magnetni



Slika 3.

dipol i njegov magnetni moment u slučaju kada se elektron kreće u smeru obrtanja desnog zavrtnja.

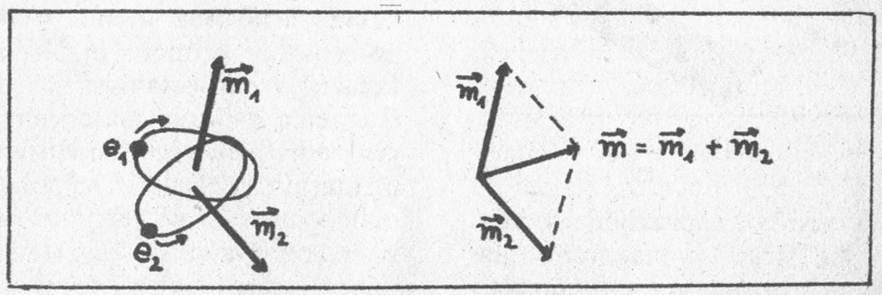
Ukupni magnetni moment molekula ili atoma jednak je vektorskom zbiru magnetnih momenata svih elementarnih magnetnih dipola u molekulu. Naime, svaki elektron koji kruži stvara jedan magnetni dipol.

tivne, što bi bile kada sa kod njih ni pod kakvim uslovima ne bi pojavljivali dipoli. Naime, ako se njihovi molekuli unesu u magnetno polje, onda dolazi do prostorne preraspodele naelektrisanja (magnetno polje deluje na naelektrisanja u kretanju). To dovodi do promena prostornih orijentacija orbita elektrona u prostoru, a samim tim i do promena njihovih elementarnih magnetnih momenata. To je uzrok pojave (indukcije) magnetnog momenta molekula.On postaje različit od nule.

Supstancije bez stalnih magnetnih momenata, tj. supstancije sa indukovanim magnetnim dipolima, zovu se *dijamagnetici.*

Supstancije sa stalnim magnetnim dipolima dele se na dve grupe; na *paramagnetike* i *feromagnetike.*

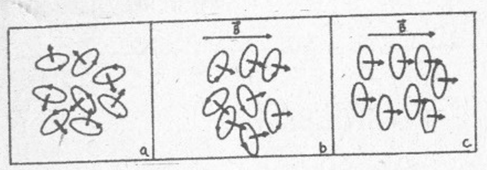
Kod paramagnetika zbirni magnetni momet svih molekula u



Sl. 4. Vektorsko sabiranje magnetnih momenata elementarnih magnetnih dipola.

Ukupni magnetni moment molekula ili atoma može biti različit od nule, a može biti i jednak nuli. Za supstancije čiji molekuli imaju ukupni magnetni moment različit od nule, kažemo da imaju permanentne-stalne magnetne dipole. Supstancije koje nemaju stalne magnetne dipole, tj. one čiji molekuli imaju ukupni magnetni moment jednak nuli, nisu magnetno neaksrednjem je jednak nuli. Vektori magnetnih momenata molekula su haotično raspoređeni u prostoru, pa je zato njihov vektorski zbir u srednjem jednak nuli (vidi sliku 5a). Ako se paramagnetik stavi u magnetno polje, doći će do preorijentacije magnetnih momenata molekula. Magnetno polje deluje tako da teži da postavi magnetne momente u smeru u kome deluje

(slika 5b). Ovome se suprotstavlja haotično toplotno kretanje molekula. Što je niža temperatura, to se veći broj magnetnih momenata postavlja u smeru dejstva magnetnog polja i obrnuto. Veličina koja ukazuje na stepen uređenosti magnetnih momenata zove se *magnetizacija.* Većoj uređenosti odgovara veća vrednost magnetizacije.

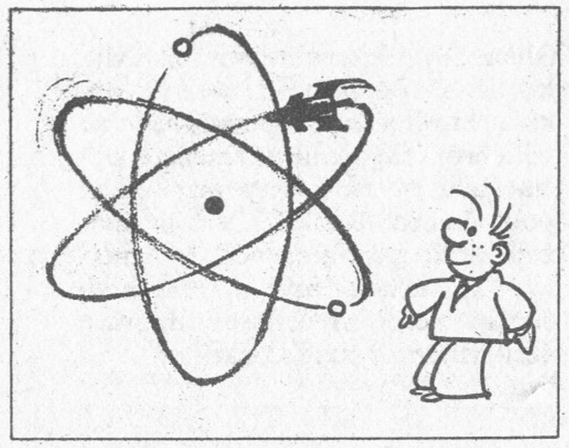


Sl. 5. Uređivanje magnetnih dipola;
a) neuređeni magnetni dipoli,
b) delimično uređeni magnetni dipoli u magnetnom polju,
c) potpuno uređeni magnetni dipoli u magnetnom polju.

Kod feromagnetika postoji spontana uređenost magnetnih momenata molekula. Magnetni momenti molekula međusobno interaguju i uređuju se duž određenog pravca i kada se sistem ne nalazi u magnetnom polju. Kaže se da feromagnetici imaju spontanu magnetizaciju. Što je veća spontana magnetizacija, to je veća sila međusobnog delovanja magnetnih momenata molekula. Svi stalni magneti su feromagnetici, tj. izrađuju se od feromagnetnih materijala.

I fenomenološka (možda je tačnije reći formalna) teorija magnetizma polazi od pojma elementarnog magnetnog dipola, ali definisanog na bitno drugačiji način, Dok u mikroskopskoj teoriji nema mesta za pojam *magnetnog pola,* dotle je fenomenološka teorija zasnovana upravo na tom pojmu. U njoj se pod elementarnim magnetnim dipolom podrazumeva sistem od dva elementarna magnetna pola, $+\mu$ i $-\mu$, koji su na međusobnom rastojanju l. Magnetni moment ovako shvaćenog elementarnog dipola definiše se relacijom $\vec{m} = \mu \vec{l}$. Prema tome, on je jednak proizvodu »količine magnetizma« μ i rastojanja l, a usmeren je od negativnog ka pozitivnom magnetnom polu. Fenomenološka teorija ne može da odgovori šta je i kako se može odrediti »količina magnetizma« μ. Savremenu fiziku to i ne interesuje. Praktično je nepotreban pojam »količine magnetizma«, isto tako i fenomenološka teorija magnetizma, kada postoji mnogostruko eksperimentalno potvrđeni mikroskopska teorija magnetizma.

Amper *je bio veoma rasejan. Kada je u jedno predvečerje šetao Jelisejskim Poljima, iza leđa mu je prišao* **Arago** *i rekao:* „*Reč ima akademik Amper!*“ *Amper je, ne okrećući se, zastao. Zatvorio je oči, popravio kaput, uspravio se i počeo:* „*Dobro. Biću kratak. Moja istraživanja...*“



NAJMANJI DELIĆI MATERIJE KOJE POZNAJEMO

BOJAN POMORIŠAC (Beograd)

Ljudi su od davnih vremena bili zainteresovani za pitanje od čega se nešto sastoji. Pitanja da li je neki materijal deljiv do neograničeno malih delića, ili postoje li neki osnovni delići od kojih je sve sastavljeno, interesovala su mislioce još u starim kulturama; na primer, grčke filozofe Demokrita, Heraklita i Platona. Oni su pokušavali da nađu odgovor na ta pitanja razmišljanjem i (kao što bi se moglo očekivati) razni mislioci su nalazili različite odgovore. Otprilike u vreme renesanse (XV—XVI vek) pojavila se veoma važna ideja o istraživanju prirode. Ideja je bila da svet oko nas treba istraživati eksperimentima i razmišljanjem na bazi rezultata tih eksperimenata, a ne stvarati zamišljenu šemu u koju priroda treba da se uklopi. Ovakvim metodama fizika se veoma burno razvijala. Krajem devetnaestog veka, zahvaljujući istraživanju ponašanja gasova, postalo je jasno da se elementi (na primer kiseonik, vodonik i gvožđe) sastoje od nekih osnovnih delića. Ovi delići, koji imaju osobine karakteristične za posmatrani element, nazvani su *atomima*. U to doba se mislilo da su atomi nedeljivi. Početkom ovog veka saznalo se mnogo novog o osobinama atoma. Veoma važno je bilo otkriće Rutherford-a (1911. godine) da atom ima složenu strukturu. On je otkrio, resejavajući takozvane α-čestice na atomima, da se atomi sastoje od teškog pozitivno naelektrisanog *jezgra* i lakog, negativno naelektrisanog omotača. Omotač se sastoji od *elektrona*, lakih čestica koje su u to doba već bile poznate kao nosioci struje u metalima. Ovakva slika se dalje komplikovala otkrićem novih čestica. Tako je 1932. godine otkriveno da je jezgro atoma složeno — sastoji se od dve vrste teških čestica, pozitivnih *protona* i neutralnih *neutrona*. Na primer, α-čestica, sastavljena je od dva protona i dva neutrona. Ove čestice su u jezgru čvrsto vezane jakim nuklearnim silama. Nešto ranije otkriven je *pozitron*, koji je takozvana anti-čestica elektrona. Pozitron ima istu masu kao i elektron, ali ima suprotno naelektrisanje. Kada se pozitron i elektron sudare, nastaje burna reakcija u kojoj se oni »anihiliraju«, odnosno prelaze u dva *fotona* (foton je naziv za česticu svetlosti). Pri tome mase elektrona i pozitrona prelaze (prema Einstein-ovoj formuli $E = mc^2$) u energiju dobijenih fotona, pa je

$E_1 + E_2 = 2mc^2$. Ovde su E_1 i E_2 energije fotona, m je masa elektrona odnosno pozitrona, a c je brzina svetlosti u praznom prostoru. Vidimo da se u ovom procesu energija održava. Energija početnih čestica, pozitrona i elektrona je tačno jednaka energiji dobijenih fotona. Ova ekvivalencija mase i energije je postala toliko uobičajena stvar za fizičare da oni masu čestica izražavaju preko jedinica energije podeljenih sa c^2. U ovakvim jedinicama masa elektrona je oko pola MeV/c^2, dok je masa protona oko 938 MeV/c^2 (MeV je energija koju dobije čestica naelektrisanja jednog elektrona ubrzana potencijalom od milion volti). Jedan MeV/c^2 je jednak masi od oko $1{,}8 \cdot 10^{-30}$ kilograma*. Vidimo da su u odnosu na predmete naše veličine mase ovih čestica fantastično male.

Zakon održavanja energije igra veoma važnu ulogu u procesima između čestica. Pomoću tog zakona otkriveno je više novih čestica. Ilustrujmo to na primeru raspada neutrona. Slobodan neutron, kako se mislilo tridesetih godina ovog veka, raspada se na proton i elektron (simbolično predstavljeno, $n \rightarrow p + e$). Neutron je neutralan, proton ima jedinično pozitivno naelektrisanje, a elektron jedinično negativno naelektrisanje, pa je naelektrisanje u ovom procesu održano. Međutim, energija u ovom procesu naizgled nije bila održana. Proton i elektron izletali su prilikom ponavljanja ovakvog procesa sa različitim brzinama, preciznije rečeno, sa »različitom ukupnom energijom«. Ponekad, oni bi imali maksimalnu moguću energiju, koja je tačno odgovarala masi neutrona pomnoženoj sa c^2. Ovo ponašanje objasnio je Pauli, koji je pretpostavio da jedan deo energije odnosi neka laka, neutralna čestica (koju je zato što je neutralna teško otkriti). Ova čestica je nazvana *neutrino* i označava se grčkim slovom ν (*ni*). Tako, raspad neutrona izgleda ovako: $n \rightarrow p + e + \nu$. Mnogo godina kasnije, eksperimentalno je potvrđeno postojanje neutrina.

Počevši od tridesetih godina ovoga veka, otkriveno je mnogo novih čestica posmatranjem kosmičkih zraka. Kosmički zraci pretstavljaju snopove čestica (na primer protona) koji dolaze na Zemlju iz međuzvezdanog prostora. Postoji puno pretpostavki o ovim zracima ali se precizan mehanizam njihovog postanka još ne zna.

Da bi se ispitivali kosmički zraci u balonima ili na visokim planinama (da se zraci ne bi rasejali prolaskom kroz debeo sloj vazduha) postavljaju se slojevi foto filma. Čestica iz kosmičkih zraka udari u materijal filma i, ako je njena energija velika, proizvede puno novih čestica. Putanja proizvedenih čestica ostaje zabeležena na filmu. Zabeleženi su slučajevi da je proizvedeno preko sto novih čestica u jednoj ovakvoj reakciji. Ispitivanjem osobina tragova proizvedenih čestica otkrivene su mnoge nove čestice. Jedna od njih je *mion*, koji se označava grčkim slovom μ (*mi*). Ova čestica ima potpuno iste osobine kao i elektron, osim što je oko dve stotine puta teža.

Sa povećanjem broja čestica, pojavila se potreba da se one sistematizuju. Čestice se razlikuju prema masi i naelektrisanju. Ako se raspadaju, možemo ih razlikovati prema vremenu i proizvodima raspada. Takođe, razlikujemo ih prema jednoj osobini koja se naziva spin, prema engleskom »*to spin*« — vrteti se. Postojanje spina nam kaže da se čestica vrti oko svoje ose, mada ovo ne treba shvatiti bukvalno, jer nije jasno šta bi značilo da se jedna »tačka« vrti oko svoje ose. Spin može imati tačno određene vrednosti: 0, 1/2, 1, 3/2 i

tako dalje u jedinicama Plank-ove konstante h (u vezi ovoga vidi članak »Pojam kvantne veličine«, Mladi Fizičar br. 17, 1980). Lista nekih čestica sa nabrojanim osobinama izgleda ovako:

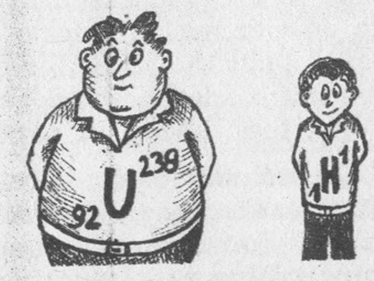
Naziv	Simbol	Masa u MeV/c^2	Naelektrisanje u jedinicama protonskog n.	Spin	Vreme raspada	Produkt raspada
foton	γ	0	0	1	stabilan	
elektron	e	0,511	−1	1/2	stabilan	
neutron	ν	0 (ili vrlo malo)	0	1/2	stabilan	
mion	μ	105,7	−1	1/2	$2{,}2\cdot10^{-6}$	$e\bar{\nu}\nu$
pion (neutralni)	π^0	135	0	0	$0{,}8\cdot10^{-16}$	$\gamma\gamma$
pion (naelektrisan)	π^+	140	1	0	$2{,}6\cdot10^{-8}$	$\mu^+\nu$
proton	p	938	1	1/2	stabilan	
neutron	n	940	0	1/2	917	$pe\bar{\nu}$

Svaka od ovih čestica ima svoju anti-česticu, koja se od nje razlikuje promenom svih vrsta naelektrisanja (postoje više vrsta naelektrisanja ali se u ovoj tabeli pominje samo uobičajeno električno naelektrisanje). Na primer, μ^+ je anti-mion, a ν^- je anti-neutrino.

U novije vreme, za ispitivanje čestica, umesto kosmičkih zraka, više se koriste *akceleratori* — mašine koje ubrzavaju naelektrisane čestice u elektromagnetnom polju. Korišćenjem akceleratora otkriveno je još više novih čestica. Kada bismo gornjoj tabeli dodali sve ove čestice, uključivši i one koje se vrlo brzo raspadaju, broj čestica bi narastao na nekoliko stotina. Zbog toga je bilo nužno naći neki sistem po kome se čestice klasifikuju, nešto slično sistemu Mendeljejeva za elemente. Prvi korak ka rešenju ovog problema učinjen je početkom šezdesetih godina kada je rasejanjem elektrona na protonu utvrđeno da i proton ima neku strukturu. Otkrilo se da proton nije »tačkast«, već je objekt konačnih dimenzija; prečnik protona je otprilike 10^{-13} centimetara. Prirodno je pitanje: ako proton nije »tačkast«, da li se i on sastoji od nekih delića? Prema ideji fizičara Gell—Mann-a, proton (i neke druge čestice) se sastoji od tri čestice koje su nazvane *kvarkovi*. Time se objašnjava da proton

nije »tačkast« a, takođe, i veliki broj otkrivenih čestica — ove su objašnjene kao različite kombinacije kvarkova u raznim stanjima međusobnog kretanja. Na primer, proton se po ovom modelu sastoji iz tri takozvana *u* kvarka (od engleske reči *up* — gore) i obeležava se sa *uuu*. Jedan *u* kvark ima naelektrisanje* 1/3, pa ceo proton ima naelektrisanje $3\cdot1/3 = 1$. Neutron se sastoji od dva *u* i jednog *d* kvarka (od engleskog *down* — dole). Ovaj *d*-kvark ima naelektrisanje $-2/3$, pa neutron ima nealektrisanje $2\cdot1/3-2/3 = 0$. Pion π^+ se sastoji od *u* i *d* kvarka, gde *d* označava anti-česticu od *d* kvarka. Ovakav model dobio je puno nezavisnih eksperimentalnih potvrda. Uprkos tome, kvarkovi u slobodnom stanju još nisu pronađeni. Pretpostavlja se da su kvarkovi veoma čvrsto vezani, međutim, o prirodi sila koje ih vezuju još uvek se malo zna. Za razliku od protona, elektron je, po svemu što se zna, »tačkast«. Prema eksperimentima izvedenim prošle godine u Hamburgu, elektron je manji od 10^{-15} centimetara. Mion i neutrino su takođe »tačkasti«. Ove čestice (e, μ, ν) se nazivaju *leptoni*. Leptoni su, po svemu što mi znamo, »tačkasti« i ne sastoje se iz kvarkova. Postoji izvesna sličnost između leptona i kvarkova. Oni se slično ponašaju pri raspadima čestica i svakom leptonu izgleda da odgovara jedan kvark.

Moramo naglasiti da postoje još mnoga nerešena pitanja o svetu čestica. Na primer, mi znamo za šest vrsta leptona, ali samo pet vrsta kvarkova. Gde je šesti kvark? Cele prošle godine rađeni su eksperimenti da se nađu čestice koje u sebi imaju ovu vrstu kvarka. Rezultat je da njih nema na energijama manjim od 30 000 MeV-a. Drugo pitanje koje možemo postaviti je šta je sa fotonom? On je čestica koja prenosi elektromagnetne interakcije i u tom smislu je jedinstven na našoj listi čestica. Postoje li čestice koje prenose interakcije odgovorne za raspad čestica? Fizičari veruju da ovakve čestice postoje i da imaju masu od oko 90 000 MeV/c^2. Prave se novi akceleratori i za nekoliko godina ovo će se saznati. Onda, zašto ne možemo da otkrijemo slobodne kvarkove i kakva je priroda sila koje ih vezuju? Ne smemo zaboraviti da i u ovoj oblasti verovatno postoje neka iznenađenja, neka otkrića koja još ne možemo ni da zamislimo. Prema tome, mi još uvek odgovaramo na pitanja postavljena pre više od dve hiljade godina, u staroj Grčkoj.



* Naelektrisanja ćemo izražavati u jedinicama protonskog naelektrisanja

KOSMOLOGIJA-NAUKA O RAZVOJU I GRAĐI VASIONE

MILAN S. DIMITRIJEVIĆ (Beograd)

Danas, u doba energetske krize, u našem društvu se sve više insistira na što tešnjem povezivanju nauke s proizvodnjom i teži se za pronalaženjem načina za samofinansiranje naučnih istraživanja. Ipak, bilo bi pogrešno pretpostaviti da je celokupan razvoj nauke utilitarističkog karaktera. Mnoga razmišljanja o pojavama u prirodi i spekulacije u Vasioni potstaknuti su ljudskom radoznalošću i željom da se prodire dublje u nepoznato. Jedna od naučnih disciplina čija je »dohodovna« vrednost jednaka nuli, ali nam pomaže da bolje shvatimo svet u kome živimo je *kosmologija* — nauka o razvoju i građi Vasione.

Mada su spekulacije o Vasioni stare kao i ljudska misao, tek je *Opšta teorija relativnosti* »premestila« kosmološke probleme iz filozofije u fiziku. Možemo reći da je moderna kosmologija »rođena« kada se 1917. godine, u izveštajima Pruske akademije pojavio Ajnštajnov članak s naslovom »*Kosmološka razmatranja u opštoj teoriji relativnosti*«. Mada ovaj članak ima danas samo istorijsku vrednost, on je započeo rušenje starih shvatanja o Vasioni i stvaranje moderne kosmologije. U ovom broju »*Mladog fizičara*« videćemo kako izgleda naša Vasiona u svetlu opšte teorije relativnosti.

Početkom devetnaestog veka mnogi astronomi su smatrali da je Vasiona beskonačna i da sadrži beskonačan broj zvezda slučajno raspoređenih u svim pravcima. Smatralo se da u prostoru koji nas okružuje važe zakoni *Euklidove geometrije*, odnosno da prave linije u svakom pravcu odlaze u beskonačnost. Nemački astronom, Henri Olbers, izneo je 1826. godine ozbiljnu primedbu na ovakav pogled na svet. Ako je broj zvezda beskonačan u beskonačnoj Vasioni i ako su one raspoređene na slučajan način, prava linija upravljena od Zemlje u bilo kom pravcu proći će »odavde do beskonačnosti«, kroz beskonačan broj zvezda. U tom slučaju, naše nebo bi predstavljalo površinu koja ispušta zaslepljujuću svetlost zvezda. Ovo je takozvani *Olbersov paradoks* i gotovo čitav vek astronomi su pokušavali da nađu zadovoljavajuće objašnjenje činjenice da je noćno nebo tamno.

Tek u prvoj polovini našeg veka, kada je otkrivena prava priroda galaksija, švedski matematičar V. K. Šarlije je dao oštroumno objašnjenje Olbersovog paradoksa. Galaksije, govorio je on, grupišu se u asocijacije, asocijacije galaksija u superasocijacije, superasocijacije u super-superasocijacije i tako dalje, do beskonačnosti. Na svakoj stepenici objedinjavanja, rastojanja među grupama rastu brže nego dimenzije grupe. Na taj način, što dalje produžavamo pravu liniju koja je upravljena od naše galaksije ka beskonačnosti, sve je manja verovatnoća da će ona naići na drugu galaksiju. Hijerarhija ovakvih asocijacija je beskonačna, tako da možemo da kažemo da beskonačna Vasiona sadrži beskonačan broj zvezda. Matematički, Šarlijevo objašnjenje Olbersovog paradoksa nije pogrešno, ali teorija relativnosti nudi mnogo elegantnije i prostije objašnjenje koje se, osim toga, slaže i sa posmatračkim činjenicama.

Ajnštajnov princip ekvivalentnosti, o kome smo govorili u prošlom broju »Mladog fizičara«, kaže da polje sile koja nastaje kada se telo ubrzava, može da se smatra kao inercijalno ili gravitaciono zavisno od izbora referentnog sistema. Ali u okviru teorije relativnosti, gravitacija uopšte ne mora da se shvati kao sila. Prosto, u blizini tela velike mase *prostor se zakrivljuje*. Zamislimo gumeni čaršav nategnut na pravougaoni ram. Oko jabuke koju stavimo na čaršav napraviće se ulegnuće. Kliker postavljen blizu jabuke skotrljaće se

ka njoj. Međutim, jabuka ne privlači kliker, nego stvara »polje« (ulegnuće) takve strukture da se kliker kotrlja prema njoj. Ovaj primer može da nam pomogne da lakše shvatimo (poređenje je svakako veoma grubo) da se u blizini tela kao što je Sunce prostor krivi. Ovo zakrivljenje prostora stvara gravitaciono polje koje utiče na kretanje tela u okolini. U okviru teorije relatinosti prostor i vreme se posmatraju zajedno. Oni su objedinjeni u četvorodimenzionalnu strukturu prostor-vreme koja ima tri prostorne koordinate i jednu vremensku. Unutar svake galaksije postoje mnoga zakrivljenja u strukturi prostor-vreme usled prisustva zvezdanih masa. A kako je u praznom prostoru između galaksija? Što je veće udaljenje neke tačke od okolnih galaksija, to je prostor u njenoj okolini manje zakrivljen. Ako bi Vasiona bila potpuno prazna, prostor bi bio savršeno »ravan«. Ako bi iz neke tačke povukli pravu liniju, ona bi odlazila u beskonačnost i Vasiona bi se, matematički gledano, prostirala bez granica, onako kako su to zamišljali naučnici devetnaestog veka. Ali tada bi bilo besmisleno govoriti o bilo kakvoj strukturi prostora i vremena. Pretpostavimo da je količina materije u Vasioni takva da je krivina prostora dovoljno velika da se on zatvori sam u sebe. To se ne može u potpunosti shvatiti bez udubljivanja u četvorodimenzionalnu geometriju, ali kao primer u trodimenzionalnom prostoru može da nam posluži sferna površina. Dvodimenzionalno biće na površini sfere smatraće da je njegov svet beskonačan. On nema ni periferiju ni centar. Ajnštajn je pretpostavio da je naš prostor trodimenzionalna »površina« ogromne hiposfere (četvorodimenzionalne sfere). Ako u takvom prostoru povučemo pravu liniju od neke tačke, ona će se na kraju vratiti u tu tačku. To nije beskonačan put, pa Olbersovom paradoksu, koji nastaje kada operišemo sa beskonačnim veličinama, nema mesta.

Početak savremene etape razvitka kosmologije, obeležen je radovima sovjetskog matematičara A. A. Fridmana iz 1922—1924. godine. Na osnovu Ajnštajnove teorije relativnosti, on je izgradio matematički model kretanja materije u Vasioni pod delovanjem gravitacije. A. A. Fridman je dokazao da se materija Vasione ne može nalaziti u miru, odnosno Vasiona ne može da bude stacionarna. Ona treba ili da se širi ili da se sažima, a gustina materije u njoj treba da se smanjuje ili da raste. Otkriće *crvenog pomaka* linija u spektrima galaksija, što je bio praktično dokaz njihovog udaljavanja od nas, pokazao je da mi živimo *u Vasioni koja se širi*. Širenje je u stvari blag izraz. Mi se nalazimo usred snažne eksplozije u kojoj se čitave galaksije bacaju na sve strane brzinama koje se približavaju svetlosnoj. Međutim, ako se danas Kosmos u kome se nalazimo širi, to znači da su nekada galaksije bile mnogo bliže jedna drugoj. Ustvari, kada bismo se vraćali nazad, u prošlost, galaksije bi se sve više međusobno približavale, dok ne bi došle tako blizu da ni galaksije, ni zvezde, pa čak ni atomi, ni atomska jezgra ne bi više mogli da postoje.

Danas se smatra da je pre oko 15 milijardi godina sva supstancija Vasione bila sakupljena u homogenu kuglu beskonačno velike temperature i gustine. Tada se desio *veliki prasak*, kako često nazivaju početak eksplozije u kojoj se rodio Svemir, a koja i danas traje. U to doba atomi nisu postojali. Nije bilo čak ni protona i neutrona koji su se raspali na još »elementarnije« »elementarne« čestice — *kvarkove*.

Smatra se da se Kosmos u doba svoje najranije istorije, u vremenu kada je bio star manje od stohiljaditog dela sekunde, sastojao od fotona, elek-

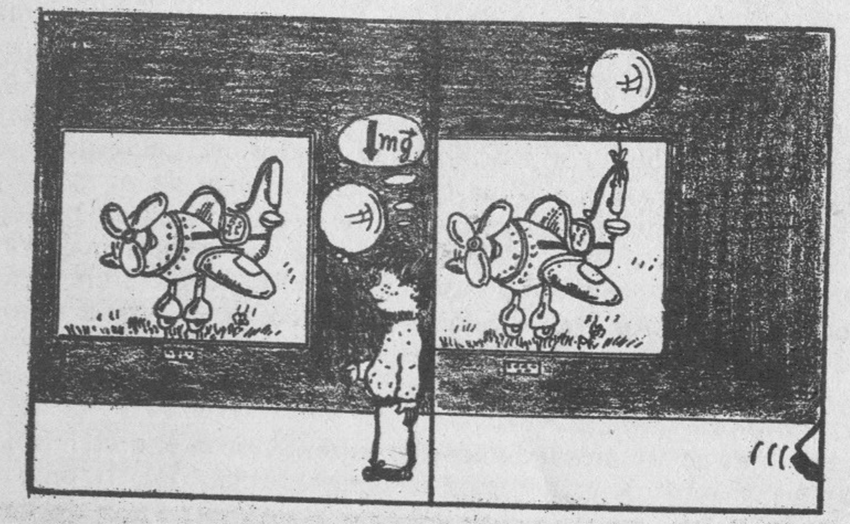
trona, pozitrona, neutrina, antineutrina i kvarkova. U ovoj fazi Kosmos se jako menjao. Širio se i hladio, a važni događaji su se smenjivali brzinom koja se meri milionitim delovima sekunde. Slobodni kvarkov inestaju i, kako izgleda, više nikada neće moći da budu u slobodnom stanju. Nastaje veliki broj težih elementarnih čestica sa egzotičnim imenima, kao što su pioni, hiperoni, mezoni i familijarniji protoni, antiprotoni, neutroni i antineutroni. Sve ove čestice se jendim imenom zovu hadroni. Temperatura je tada bila nekoliko hiljada milijardi stepeni, a gustina 10^{14} g/cm^3. Sa daljim padom temperature, broj hadrona se smanjivao.

Posle 0.11 sekundi temperatura je spala na trideset milijardi stepeni. Lake elementarne čestice, elektroni, pozitroni, fotoni, neutrini i antineutrini još kine osnovni sadržaf Vasione.

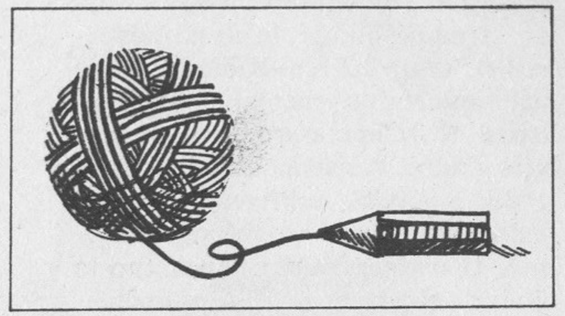
Kada je temperatura spala na deset milijardi stepeni, Vasiona je *već* bila stara 1.09 sekundi. Sada je gustina samo 380.000 puta veća od gustine vode. Posle 13.82 sekundi od velikog praska, srednja temperatura u Vasioni je već spala na tri milijarde stepeni. Slika Vasione počinje da se menja. Broj elektrona i pozitrona se naglo smanjuje i oni prestaju da budu glavni sastojci Univerzuma. Oni nestaju u spektakularnim eksplozijama u minijaturi, u kojima se elektron i pozitron koji su se sreli pretvaraju u energiju. Taj proces zove se anihilacija. U ovom stadijumu počinju da se formiraju i prva jezgra helijuma.

Prošlo je tri minute i dve sekunde. Srednja temperatura iznosi jednu milijardu stepeni, što je »samo« oko sedamdeset puta toplije od središta Sunca. Elektroni i pozitroni su uglavnom nestali i Kosmos se sastoji od fotona, neutrina i antineutrina, a javljaju se i jezgra helijuma. Malo kasnije počinje da se stvara deuterijum. U nuklearnim reakcijama u kojima učestvuje deuterijum počinju da se stvaraju teža jezgra.

Posle sedamsto hiljada godina od ovih jezgara već mogu da se formiraju stabilni atomi, a oko 15 milijardi godina kasnije na Zemlji se pojavio *čovek*.



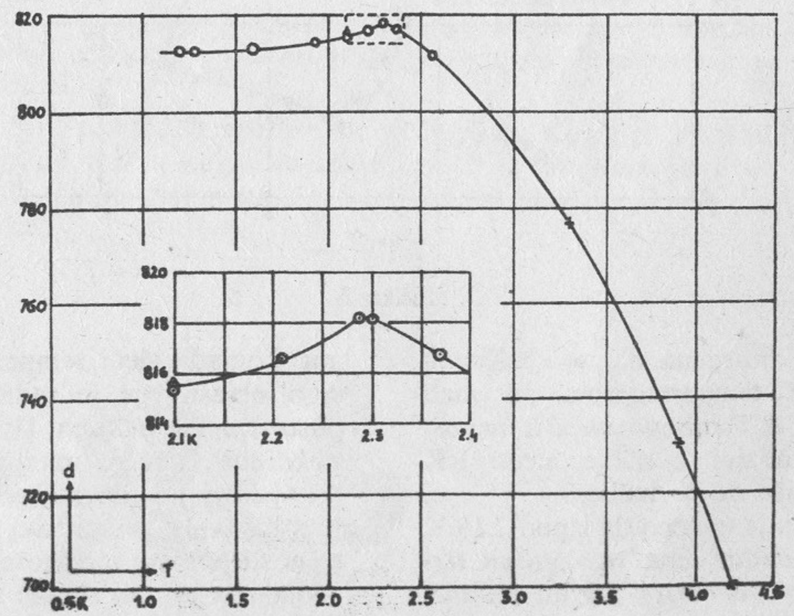
VELIKI EKSPERIMENTI



O ČUDNOM PONAŠANJU TEČNOG HELIJUMA

M. POPOVIĆ-BOŽIĆ (Beograd)

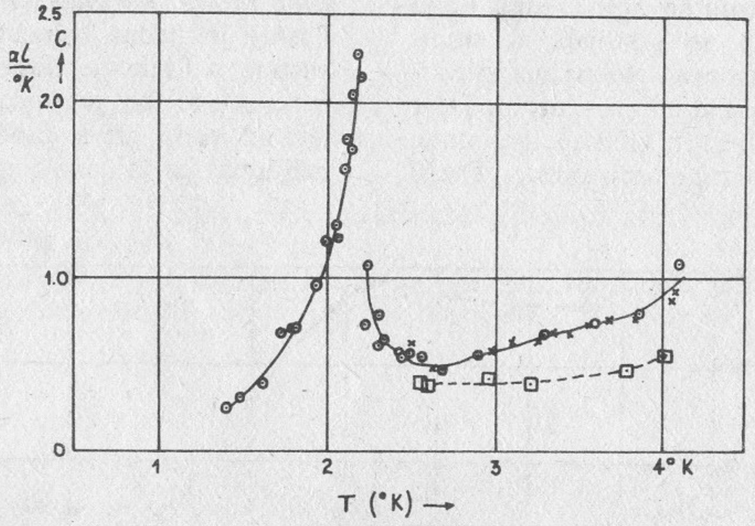
Holandski naučnik Kamerling Ones uspeo je 1908. godine da snizi temperaturu helijuma toliko da helijum pređe u tečno stanje. Tačka ključanja helijuma na atmosferskom pritisku je 4,4, K. Time je otvorena era studiranja pojava u blizini apsolutne nule. Jedna linija istraživanja se sastojala u studiranju promena električne otpornosti metala sa temperaturom. Tako je, zahvaljujući tečnom helijumu, otkrivena *superprovodnost*. Drugi pravac istraživanja je bilo studiranje osobina samog tečnog helijuma. Odmah je postalo jasno da je to vrlo neobična supstancija. Sam Kamerling Ones je već 1911. utvrdio da pri snižavanju temperature *kriva zavisnosti gustine tečnog helijuma od temperature ima maksimum* (sl. 1). Postoji još jedna tečnost čija kriva gustine u funkciji temperature ima maksimum. To je voda. Ali dok je kod vode kriva zaobljena, kod helijuma je taj maksimum oštar.



Slika 1.

Gustina ostalih tečnosti opada sa porastom temperature. Sledeće važno saznanje bilo je da se na temperaturi oko 2,2 K osobine tečnog helijuma bitno menjaju, odnosno ispod te temperature helijum ima vrlo čudna svojstva. U periodu od 1935. do 1938. otkrivene su četiri jedinstvene osobine tečnog helijuma. U ovome članku opisaćemo ta čudna svojstva ove supstancije.

Neobična svojstva tečnog helijuma ispoljavaju se na temperaturama ispod T = 2,19 K. Ta temperatura se naziva temperatura λ tačke, zato što kriva specifične toplote (sl. 2) ima oblik grčkog slova λ. Sa te slike se vidi da je



Slika 2.

toplota potrebna da se helijumu promeni temperaturama za mali interval ΔT mnogo veća u neposrednoj blizini λ tačke, nego 1 K niže i više od te tačke.

Brzo je uočeno da ispod 2,19 K tečni helijum ima *vrlo veliku termičku provodnost*. Drugim rečima, ako su dva komada metala razdvojena tečnom helijumom i jedan komad se zagreje, temperatura drugog tako brzo da se ne može uočiti nikakva temperaturska razlika između njih, pa ni pad temperature kroz sloj tečnog helijuma. Izmereno je da je toplotna provodnost tečnog helijuma na temperaturama nižim od 2,19 K veća $3 \cdot 10^6$ puta od toplotne provodnosti tečnog helijuma iznad te temperature. Tako je tečni helijum ispod λ tačke nazvan helijum II, a iznad λ tačke helijum I.

Ovo čudno ponašanje izazvalo je interes fizičara i njihovu povećanu aktivnost u cilju objašnjenja toga ponašanja. Ruski naučnik Kapica predložio je objašnjenje i novi eksperiment, koji je trebalo da ispita to ponašanje. Naime, Kapigog komada sledi temperaturu prcino objašnjenje je sadržalo pretpostavku da helijum II ima *malu viskoznost*, mnogo manju nego što je viskoznost normalne tečnosti.

Kada se jedan sloj normalne tečnosti pomera u odnosu na drugi, javljaju se jače ili slabije sile trenja. Sloj koji se kreće brže deluje na sloj koji se kreće sporije, ubrzavajući ga. Obrnuto, sloj koji se kreće

(Nastavak na str.

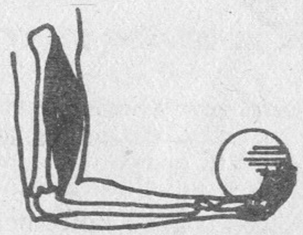
ZADACI ZADACI ZADACI ZADACI ZADACI

KONKURSNI ZADACI

A/ Za učenike VI razreda

184. Kolikim pritiskom deluje na podlogu vrh igle, čija je površina 0,01 cm^2, ako na iglu deluje sila od 10 N? Pravac sile je normalan na površinu podloge.

185. Na Sl. 1 prikazana je kugla u čovečjoj šaci. Kugla je teška 80 N. Rastojanje od centra kugle do lakta iznosi 32 cm. Rastojanje od lakta do mesta gde je spojen mišić s kosti iznosi 4 cm. Kolika je sila zatezanja mišića?



Slika 1.

186. Može li čoveka mase 70 kg držati na vodi drveni balvan zapremine 0,5 m^3? Uzeti da je gustina drveta 440 kg/m^3.

B/ Za učenike VII razreda

187. Kamen mase m = 2 kg pao je sa neke visine h. Naći njegovu kinetičku energiju u tački na sredini puta, ako je padanje trajalo t = 6 s.

188. U jednom kalorimetru nalazi se voda, a u drugom ista masa neke druge tečnosti čiju specifičnu toplotu želimo da odredimo. U ove kalorimetre su uneta dva jednaka električna provodnika i povezana redno u električno kolo. Kolika je specifična toplota nepoznate tečnosti, ako se posle nekog vremena od priključivanja električnog izvora, temperatura vode povisila za 5 K, a temperatura nepoznate tečnosti za 8 K? (Specifična toplota vode je 4200 J/kgK)

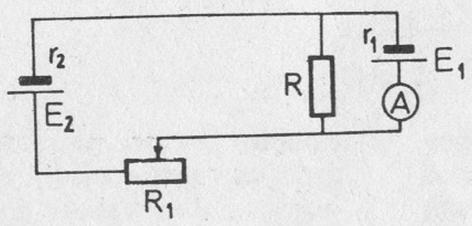
189. Kugla je bačena vertikalno uvis početnom brzinom $v_0 = 12$ m/s. Do koje visine će odskočiti kugla posle trećeg udara o podlogu, ako se prilikom svakog udara kugle o podlogu 10% njene kinetičke energije pretvori u toplotu.

C/ Za učenike VIII razreda

190. Tri identična strujna izvora, elektromotornih sila od po E = 2 V i unutrašnjih otpora r = 0,3 Ω vezana su paralelno. Na ovako vezane strujne izvore priključen je otpornik R = 1,9 Ω. Kolika je jačina struje koja protiče kroz izvor ems? Koliki je stepen korisnog dejstva ovog električnog sistema?

191. Pri kojoj je vrednosti otpora R u spoljašnjem delu električnog kola snaga P, koju daje izvor elektromotorne sile E = 12 V i unutrašnjeg otpora r = 2 Ω, u tom delu kola maksimalna? Kolika je pri tom jačina struje i snaga?

192. Pri jačini struje od 10 A u spoljašnjem delu kola oslobađa se snaga od 200 W, a pri struji od 15 A — snaga od 240 W. Koliki je unutrašnji otpor elektromotorna sila i »struja kratkog spoja« izvora?



Slika 2.

193. Poznato je da ako se otpor uključen u neko kolo menja (na primer pomeranjem ručke na reostatu), onda se menja i jačina struje u kolu. Međutim, pri promeni otpora R_1 u kolu, prikazanom na slici 2. pokazivanje ampermetra se ne menja. U čemu je stvar? Pri kojim uslovima je ovo moguće?

D/ Za učenike I razreda zajedničkih osnova usmerenog obrazovanja

194. U laboratorijskom koordinatnom sistemu nalazi se nepokretni štap dužine l = 1 m, nagnut pod uglom α = 45° prema x-osi. Naći njegovu dužinu l' u koordinatnom sistemu koji se kreće brzinom V = c/2 (c — brzina svetlosti u vakuumu) u odnosu na laboratorijski u pravcu x-ose. Kako će se ugao α promeniti u pokretnom koordinatnom sistemu?

195. Na strmu ravan (klin) mase m = 1 kg, koja se nalazi na horizontalnoj ravni, pada kuglica mase $m_1 = 0{,}2$ kg sa visine h = 5 m i odskoči u horizontalnom pravcu. Kolika je brzina strme ravni posle udara kuglice, ako je ovaj udar bio elastičan? Trenje između strme ravni i podloge zanemariti.

196. Odnos mase Zemlje M_z i mase Meseca M_M iznosi 81, a rastojanje od središta Zemlje do središta Meseca je d = 60 R, gde je R — srednji poluprečnik Zemlje. Na kolikom rastojanju od centra Zemlje, a na pravcu Zemlja—Mesec, intenziteti gravitacionih sila, kojim Zemlja i Mesec deluju na neko telo, su jednaki?

E/ Za učenike II razreda zajedničkih osnova usmerenog obrazovanja

197. Rastojanje između kristalografskih ravni date porodice (sloja) nekog kristala iznosi 0,210 nm. Kolika je talasna dužina rendgenskih zraka, koji padaju na kristal, ako se difrakcioni maksimum prvog reda uočava pod uglom od 45°?

198. U sudu zapremine 3 dm nalazi se 4 mg heliuma, 70 mg azota i $5 \cdot 10^{21}$ molekula vodonika. Koliki je pritisak ove smeše gasova, ako je njena temperatura 27°C?

199. Fotoelektroni, izbačeni s površine nekog metala svetlošću frekvence $2{,}2 \cdot 10^{15}\ s^{-1}$, potpuno se zaustavljaju potencijalom od 6,6 V, a izbačeni svetlošću frekvence $4{,}6 \cdot 10^{15}\ s^{-1}$ — potencijalom od 16,5 V. Naći vrednost Plankove konstante.

Zadatke pripremili:
J. Dojčilović i
A. Srećković

UPUTSTVA ZA REŠAVANJE KONKURSNIH ZADATAKA

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

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

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

ZADACI PITANJA

A. Verovatno ste imali prilike da sedite pored otvorenog prozora u kupeu voza koji se krće, slušajući ravnomerno kloparanje točkova. Da li ste tom prilikom primetili da je kloparanje drugug voza, koji prolazi pored vašeg, znatno jače od kloparanja točkova voza u kome se vi nalazite? Zašto drugi voz stvara znatno veću buku od voza u kome se nalazite?

B. Kao ogledalo glatka i ravna ledena ploča (površina) je manje klizava od valovite, rapave ledene ploče. Po ovoj drugoj teže se hoda, lakše se vuku sanke. Znate li zašto?

C. Koja je osnovna namena stakla kod petrolejske lampe, za koju pretpostavljamo da znate kako izgleda? Napominjemo da to nije zaštita plamena od vetra, promaje ili slično.

Odabrao **Lj. Ristovski**

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 rešenja 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 .....

ZADATAK 5E

Data slika pokazuje kako je rešen praktični deo sledećeg eksperimentalnog zadatka:

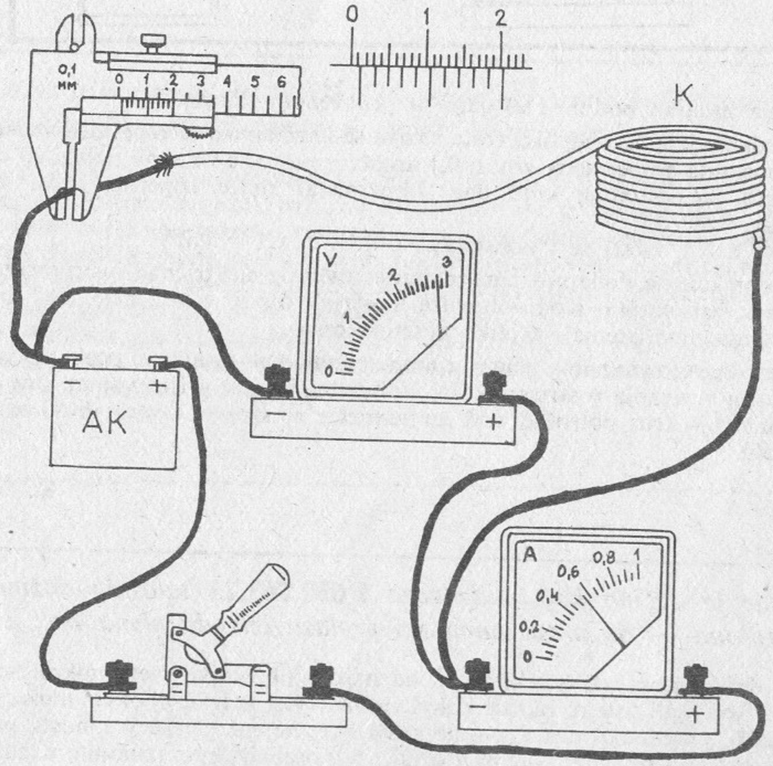
Na stolu se nalazi kalem izolovane žice od manganina (legura mangana i bakra) i sav potreban pribor (po jedan ampermetar i voltmetar, izvor jednosmerne struje, prekidač, nonijus i žica za povezivanje elemenata u strujno kolo

1) Koristeći se podacima koje pokazuju merni instrumenti odrediti otpor kalema K i ukupnu dužinu manganinove žice, znajući da je specifični otpor manganina 0,00000039 Ωm, što se može napisati i kao $3{,}9 \cdot 10^{-7}\,\Omega m$.

2) Strujno kolo koje pokazuje data slika prikazati shematski i pored simbola za električne merne instrumente označiti polaritet (+, —).

3) Označiti strelicama smer struje u kolu.

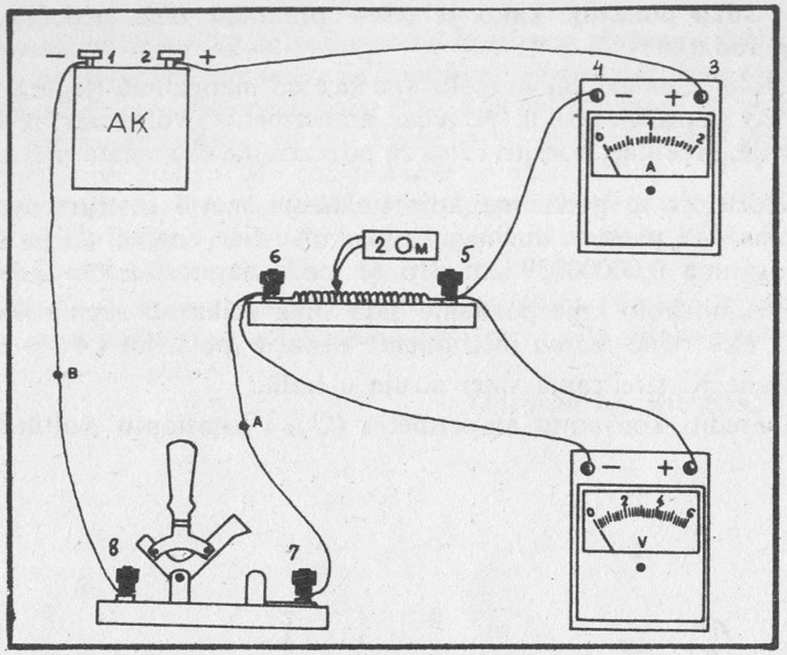
4) Odrediti konstantu ampermetra (C_A) i konstantu voltmetra (C_V).



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, Beograd, Knez Mihailova 35/IV.

REŠENJE ZADATKA 4E



Rešenja zadatka pod 1) i 2) data su priloženom slikom.

3) Vrednost jednog podeljka skale naziva se **konstantom mernog instrumenta**. Sa slike se vidi da konstanta ampermetra iznosi 0,1 ampera, pošto se na skali nalazi 20 odeljaka pa opseg (najveća jačina struje koju dati ampermetar može izmeriti) znosi 2 A.
($C_A = 2\ A/20 = 0{,}1\ A$).

Na isti način nalazi se i konstanta voltmetra, $C_V = 0{,}2\ V$.

4) Otpor kalema dodatnih otpora unutar mernog električnog instrumenta naziva se **unutrašnjiotpor instrumenta**. Kod voltmetra unutašnji otpor je veći nego kod ampermetra, (nekoliko hiljada oma prema nekoliko desetina oma).

Zahtev da voltmetar ima veliki, a ampermetar mali unutašnji otp or u vezi je sa na činom njihovog vezivanja u strujno kolo. Voltmetar svojim prisustvomne sme mnogo dai menja jačinu struje kroz potrošač, dok ampermetar ne sme da stvara veliki pad napona u strujnom kolu.

T. Petrović

Metar je dužina kojoj odgovara **1 650 763,73** *talasnih dužina zračenja atoma kriptona —* **86** *u vakuumu pri prelazu između nivoa* $2p_{10}$ *i* $5d_5$

Ova definicija sadrži u sebi jednu od najbitnijih odlika sveta mikročestica. Naime, atom ili bilo koji mali sistem, za razliku od vidljivih tela iz naše okoline, može, shodno sopstvenoj prirodi, posedovati samo izvesne tzv. diskretne energetske vrednosti, nazvane svojstvenim enegretskim nivoima sistema i označene posebnim sporazumnim oznakama. Bitno je, međutim, da prelaz, zapravo skok atomskih elektrona sa višeg na niži energetski nivo prati elektromagnetsko zračenje tačno određene talasne dužine. U tom smislu u definiciji navedeni broj talasnih dužina zračenja između naznačenih nivoa atoma kriptona iznosi baš jedan metar.

D.K.

NAGRADNI ZADATAK BROJ 16

Kako biste odredili zapreminu učionice, kada biste imali na raspolaganju kalem bakarne žice, terazije, akumulator, volmetar, ampermetar i udžbenik fizike snabdeven iscrpnim tabličnim podacima?

Odabrao: **D. Koledin**

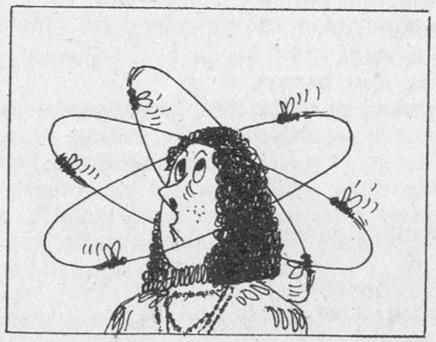
Napomena Rešenje pošaljite na adresu Društvo matematičara, fizičara i astronoma SR Srbije (nagradni zadatak iz fizike). p.p. 791,11001 Beograd. Na samom radu i kuponu ispišite svoje ime i prezime, razred, naziv škole, svoju adresu i ime i prezime svog nastavnika fizike. Za tačno rešenje ovog zadatka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

Kilogram je jednak masi međunarodnog etalona kilograma. Ovaj prototip sastoji se od legure platine sa **20%** *iridijuma i čuva se u Medunarodnom birou za mere i tegove u Sevru, kraj Pariza.*

Sekunda je vreme od **9 129 631 770** *perioda zračenja koje odgovara prelazu između dva hiperfina nivoa osnovnog stanja atoma cezijuma* **133**.

Atom ili blo koji mali sistem može, shodno sopstvenoj prirodi, posedovati samo izvesne tzv. diskretne energetske vrednosti, nazvane svojstvenim energetskim nivoima. Najniži energetski nivo sistema opisuje njegovo osnovno stanje. Međutim, energetski nivoi, koji čine spektar atoma ili nekog malog sistema, ne moraju biti jedinstveni. Naime, u slučaju atoma, recimo, ako se, najopštije govoreći, uzmu u obzir sadejstva između magnetskih polja jezgra i elektrona, svojstevni energetski nivoi se »cepaju« na podnivoe. Ti podnivoi, odnosno odgovarajuća stanja atoma, nazivaju se hiperfinim. Prelaz između dva hiperfina nivoa osnovnog stanja cezijuma praćen je zračenjem određene talasne dužine i perioda. U definiciji navedeni broj tih perioda iznosi baš jednu sekundu.

D. K.



REŠENJA KONKURSNIH ZADATAKA IZ MF 18

168. Srednja brzina u ovom slučaju nije prosto $(v_1 + v_2)/2$. Naime, srednja brzina je ona brzina kojom bi trebalo da se kreće telo jednakim kretanjem, pa da se za isto vreme pređe isti put. Označimo pređeno rastojanje sa p. Vreme, potrebno čoveku da pređe rastojanje p u jednom smeru iznosi $t_1 = p/v_1$, a u suprotnom $t_2 = p/v_2$. Ukupno vreme kretanja je $t = t_1 + t_2 = p/v_1 + p/v_2$, a ukupni pređeni put je $S = 2p$. Srednja brzina se dobija deljenjem ukupnog pređenog puta sa ukupnim vremenom kretanja. Znači,

$$v_{sr} = S/T = \frac{2p}{p/v_1 + p/v_2}.$$

Posle sređivanja dobijamo:

$$v_{sr} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2} = 1{,}2 \text{ m/s}.$$

J.D.

169. Put koji pređe prvo telo izražava se formulom $s_1 = v_1 t$, a za drugo telo je $s_2 = s_0 + v_2 t$. Pri ovome pređeni put za oba tela računamo od početnog položaja prvog tela.

Tela se sustižu za vreme t koje dobijamo iz uslova $s_1 = s_2$; odnosno $v_1 t = s_0 + v_2 t$. Ono iznosi $t = s_0/(v_1 - v_2) = 10$ s.

J.D.

170. Pošto se voda nalazi u bazenu dugom a = 40 m i širokom b = 20 m, onda je njena zapremina određena relacijom V = abh, gde je h-visina (dubina vode u bazenu. Odavde je $h = V/ab = 1{,}5$ m. Da bi odredili pritisak kojim voda deluje na dno bazena, treba odrediti težinu vode. Prema definiciji težina tela je jednaka proizvodu specifične težine i zapremine tela: $Q = \gamma V$. S druge strane, specifična težina se dobija iz relacije: $\gamma = \rho g$ — gde je ρ-gustina tela (u našem slučaju $\rho = 1000$ kg/m³) i g-ubrzanje Zemljine teže. Tako je težina vode $Q = \rho g V$. Pritisak kojim voda deluje na dno bazena jednak je odnosu težine vode i površine bazena: $P = Q/S = \rho g V/ab = \rho g abh/ab = \rho g h = 14715$ N/m²

J.D.

171. Na osnovu uslova datih u zadatku možemo zaključiti da će čelična kugla, potopljena u posudu sa vodom i živom lebdeti. Ovo zaključujemo s obzirom na vrednosti gustina čelika, zive i vode. Označimo deo zapremine kugle u živi sa V_2, deo zapremine kugle u vodi sa V_1 a ukupnu zapreminu kugle sa V. Na kuglu deluje sila potiska P jednaka zbiru potisaka P_1 i P_2, koji potiču od vode odnosno žive. Svaki od ovih potisaka jednak je težini istisnute tečnosti. Označimo sa ρ_1 i ρ_2 gustine vode i žive. Sledi,

$$P = P_1 + P_2 \quad \rho_1 g V_1 + \rho_2 g V_2 = \rho_1 g V_1 + \rho_2 g (V - V_1) \quad (\rho_1 - \rho_2) g V_1 + \rho_2 g V$$

S druge strane znamo da će kugla lebdeti ukoliko je potisak brojno jednak njenoj težini:

$$P = \rho g V$$

Izjednačavanjem desnih strana prethodnih dveju jednačina dobijamo:

$$\rho g V = (\rho_1 - \rho_2) g V_1 + \rho_2 g V$$

Daljim sređivanjem dobijamo

$$(\rho_2 - \rho_1) g V_1 = (\rho_2 - \rho) g V$$

tako da je konačno, odnos zapremine kugle koja se nalazi u vodi u odnosu na njenu ukupnu zapreminu jednak

$$\frac{V_1}{V} = \frac{\rho_2 - \rho}{\rho_2 - \rho_1} =$$

$$= \frac{13\,600 \text{ kg/m}^3 - 7\,800 \text{ kg/m}^3}{13\,600 \text{ kg/m}^3 - 1\,000 \text{ kg/m}^3} = 0{,}46$$

Do istog rezultata možemo doći polazeći od poznate činjenice da telo lebdi ukoliko je njegova gustina jednaka gustini tečnosti. U ovom slučaju imamo smešu dveju tečnosti tako da moramo uzeti njenu srednju vrednost gustine i to onog dela koji je istisnut. Znači

$$\rho = \rho_{sr} = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 (V - V_1)}{V}$$

Sređivanjem ovog izraza dobijamo

tako da je konačno

$$\frac{V_1}{V} = \frac{\rho_2 - \rho}{\rho_2 - \rho_1} = 0{,}46$$

A.S.

172. Označimo indeksima »1« veličine koje se odnose na telo koje pada kroz vodu a indeksima »2« veličine koje se odnose na telo koje se u vodi kreće vertikalno naviše. Na telo »1« deluje sila Zemljine teže Q_1 i sila potiska P_1. Rezultantna sila je $Q_1 - P_1$. Pod dejstvom ove sile telo mase $m_1 = Q_1/g$ dobija ubrzanje a_1, vertikalno naniže

$$Q_1 - P_1 = m_1 a_1 = Q_1 a_1/g$$

Na telo »2« deluje sila Zemljine teže Q_2 i potisak P_2. Rezultantna sila je $P_2 - Q_2$. Pod dejstvom ove sile telo mase $m_2 = Q_2/g$ dobija ubrzanje a_2 vertikalno naviše

$$P_2 - Q_2 = m_2 a_2 = Q_2 a_2/g$$

Kako su zapremine datih tela jednake sledi da su sile potiska koje deluju na njih jednake $P_1 = P_2 = P$ S obzirom na zadnji zaključak sledi, na osnovu prethodnih jednačina, da je

$$Q_1 = \frac{P}{1 - \frac{a_1}{g}} \quad \text{i} \quad Q_2 = \frac{P}{1 + \frac{a_2}{g}}$$

Odavde se lako dobija da je

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{1 - \frac{a_1}{g}}{1 + \frac{a_1}{g}} = \frac{g - a_1}{g + a_1} = \frac{g - \frac{g}{2}}{g + \frac{g}{2}} = \frac{1}{3}$$

Težina traženog tela iznosi

$$Q_2 = Q_1/3 = 10/3 \text{ N} = 3{,}33 \text{ N}$$

A.S

173. Kada je telo u miru sila zatezanja užeta jednaka je težini rela $F_{z0} = mg$. Ukoliko se uže vuče vertikalno naviše ubrzanjem a_1 na telo deluje dodatna, inercijalna sila $F_1 = ma_1$ u suprotnom smeru od ubrzanja (znači u smeru sile Zemljine teže). U ovom slučaju sila zatezanja užeta jednaka je zbiru ovih sila $Fz_1 = mg + ma_1$

Kada se telo spušta vertikalno naniže ubrzanjem a_2 inercijalna sila je ma_2 i usmerena vertikalno naviše. Sila zatezanja užeta je u ovom slučaju

$$F_{z2} = mg - ma_2$$

Odnos sila zatezanja užeta u prethodna dva slučaja iznosi

$$\frac{F_{z1}}{F_{z2}} = \frac{g + a_1}{g - a_2} = \frac{g + a}{g - a} =$$

$$= \frac{9{,}81 \text{ m/s}^2 + 1{,}81 \text{ m/s}^2}{9{,}81 \text{ m/s}^2 - 1{,}81 \text{ m/s}^2} = 1{,}45$$

A.S.

174. Kako je elektromotorna sila E_1 veća od E_2 to će smerovi struja u pojedinim granama kola biti kao na Sl. 1. Nepoznate su vrednosti struja I_1, I_2 i I_3. Na osnovu kirhovljevih pravila sledi

$$I_3 = I_1 - I_2 \quad \ldots (1)$$

$$E_1 = RI_3 + r_1 I_1 \quad \ldots (2)$$

$$E_2 = RI_3 - r_2 I_2 \quad \ldots (3)$$

Izrazimo jačine struja I_1 i I_2 iz jednačina (2) i (3) u funkciji struje I_3

$$I_1 = \frac{E_1}{r_1} - \frac{R}{r_1} I_3 \ldots (2')$$

Amper je jačina stalne električne struje koja prolazeći kroz dva pravolinijska, paralelna i neograničeno dugačka provodnika zanemarljivog preseka, postavljena u vakuumu na međusobnom rastojanju od jednog metra, prouzrokuje između njih silu uzajamnog dejstva od $\mathbf{2 \cdot 10^{-7}}$ *njutna po metru dužine provodnika.*

Još su Erstedovi eksperimenti pokazali da se oko provodnika električne struje stvara magnetno polje. S druge strane, provodnik električne struje u magnetnom polju izložen je dejstvu sile. Tu silu, zavisnu od jačine same struje i magnetnog polja, opisao je Amper. Otuda je čitava pojava obuhvaćena zakonom koji nosi njegovo ime. Kako se oko svakog od provodnika navedenih u definiciji stvara magnetno polje, oni će jedan na drugog delovati silom. Ako su ispunjeni uslovi definicije, koja zapravo pretstavlja samo teorijski model, odgovarajuća jačina električne struje je baš jedan amper.

D.K.

$$I_2=\frac{RI_3}{r_2}-\frac{E_2}{r_2}\ldots(3')$$

Smenom dobijenih vrednosti za struje I_1 i I_2 iz jednačina (2') i (3') u jednačinu (1) dobijamo

$$I_3=\frac{E_1}{r_1}-\frac{R}{r_1}I_3-\frac{R}{r_2}I_3+\frac{E_2}{r_2}$$

Grupisanjem veličina koje figurišu pored I_3 dobijamo

$$\left(1+\frac{R}{r_1}+\frac{R}{r_2}\right)I_3=\frac{E_1}{r_1}+\frac{E_2}{r_2}$$

Svođenjem na zajednički imenilac i množenjem celog izraza sa proizvodom r_1r_2 dobijamo

$$(r_1r_2+r_2R+r_1R)I_3=r_2E_1+r_1E_2$$

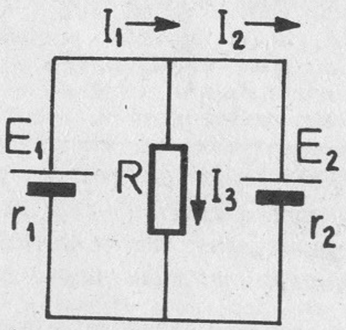
Odavde dobijamo da je tražena vrednost struje I_3 koja protiče kroz otpornik R jednaka

$$I_3=\frac{r_2E_1+r_1E_2}{r_1r_2+r_2R+r_1R}=$$

$$=\frac{1{,}5\,\Omega\cdot 12\,V+2\,\Omega\,8\,V}{2\Omega\cdot 1{,}5\Omega+1{,}5\Omega\cdot 6\Omega+2\Omega\cdot 6\Omega}=1{,}417\,A$$

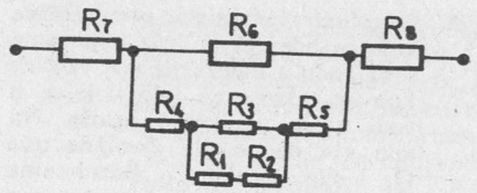
Očigledno, struja koja protiče kroz otpornik R ne može biti jednaka nuli pri konačnim vrednostima otpora R.

A.S.



Slika 1.

175. Na Sl. 2 predstavljena je šema koja je ekvivalentna šemi predstavljenoj na Sl. 2 iz MF 18. Radi praćenja toka rešavanja zadatka izvršimo označavanje otpora kao na prilo-



Slika 2.

ženoj šemi. Otpor R_3 je paralenlo vezan sa redno vezanim otporima R_1 i R_2, tako da je

$$\frac{1}{R_{12,3}}=\frac{1}{R_1+R_2}+\frac{1}{R_3}=\frac{1}{R+R}+\frac{1}{R}=$$

$$=\frac{3}{2R}\Rightarrow R_{1,2,3}=\frac{2}{3}R$$

Otpor R_6 je paralalno vezan sa redno vezanim otporima $R_{1,2,3}$, R_4 i R_5, pa je

$$\frac{1}{R_{1,2,3,4,5,6}}=\frac{1}{R_6}+\frac{1}{R_4+R_5+R_{1,2,3}}=$$

$$=\frac{1}{R}+\frac{1}{R+R+\frac{2}{3}R}=\frac{11}{8R}$$

Odavde dobijamo

$$R_{(1,2,3,4,5,6)}=\frac{8}{11}R$$

Konačno, otpori $R_{1,2,3,4,5,6}$, R_7 i R_8 su redno vezani, tako da je ekvivalentan otpor datog dela strujnog kola

$$R_{eqv}=R_{1,2,3,4,5,6}+R_7+R_8=\frac{8}{11}R+R+$$

$$+R=\frac{30}{11}R=\frac{30}{11}\Omega=2{,}73\,\Omega$$

A.S.

A.S.

176. Električni kapacitet metalne kugle je proporcionaln njenom poluprečniku ($C = k\cdot R$, k-koeficijent proporcionalnosti). Kada se kugle spoje provodnikom, onda će doći do preraspodele naelektrisanja sve dotle, dok se ne izjednače električni potencijali kugli. To znači da se ukupno naelektrisanje koje iznosi 2q raspoređuje na kugle tako da je ispunjen uslov $V_1=V_2$,

odnosno $q_1/kR_1 = q_2/kR_2$ gde su q_1 i q_2 — respektivno količine naelektrisanja kugli sa poluprečnikom R_1 odnosno R_2. Prema zakonu o održanju količine naelektrisanja imamo da je $2q = q_1+q_2$. Iz poslednje dve relacije za q_1 i q_2 nalazimo da je:

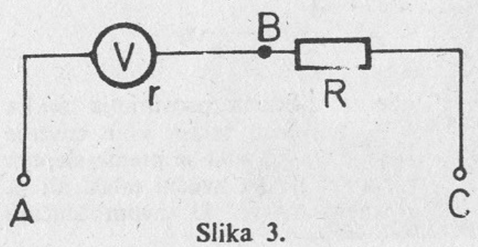
$$q_1=2q\frac{R_1}{R_1+R_2}=28{,}8\text{ nC},$$

$$q_2=2q\frac{R_2}{R_1+R_2}=43{,}2\text{ nC}.$$

J.D.

177. Opseg voltmetra predstavlja napon U između tačaka A i B pri kome kazaljka voltmetra skrene do kraja skale. Ako se dodavanjem otpornika R opseg voltmetra poveća n puta, onda to znači da kazaljka instrumenta treba da skrene do kraja skale kada je napon U_{AC}(sl.3) između tačaka A i C n puta veći od napona U, tj. kada je $U_{AC} = nU$. Tada kroz otpornik R i instrument teče neka struja jačine I, pa je, prema Omovom zakonu, za deo kola AB: $U = rI$, a za deo kola AC: $U_{AC} = (R+r)I$. Iz poslednje tri relacije sledi da je otpor jednak: $R = (n-1)r = 200\,\Omega$.

J.D.

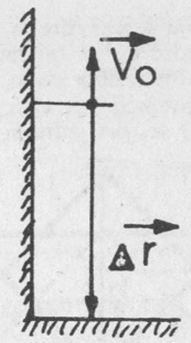


Slika 3.

178. U tekstu zadatka nije ukazano na smer u kome je bačena loptica — vertikalno naviše ili naniže. Međutim, ova neodređenost nije bitna za rešavanje zadatka. U oba slučaja kretanje će biti jednako ubrzano sa ubrzanjem $\vec{a}=\vec{g}$, a visina balkona, koja je data u zadatku, potpunosti određuje pomeranje $\Delta\vec{r}$ (sl.4). Zato je za rešavanje zadatka dovoljno da se koristi formula za jednako ubrzano kretanje (hitac uvis ili slobodno padanje)

$$y = v_0t+at^2/2$$

Predpostavimo, da je loptica bačena vertikalno uvis brzinom v_0. Neka je koordi-



Slika 4.

natna osa usmerena naniže. Koristeći gornju relaciju i uzimajući u obzir odgovarajuće znakove imamo

$$y = -v_0t+gt^2/2$$

Odavde je

$$v_0=\frac{gt^2-2y}{2t}=10\text{ m/s}.$$

Pozitivan znak veličine v_0 ukazuje na to da je početna brzina loptice imala smer onako, kako smo pretpostavili, tj. vertikalno naviše.

J.D.

179. Da bi donje telo bilo na konstantnoj visini, njegova težina se mora uravnotežavati radijalnom silom čije dejstvo trpi gornje telo pri rotaciji. Pošto su mase oba tela jednake treba da je ispunjen uslov $mg = mv^2/r$. Odavde, za periferijsku brzinu gornjeg tela dobija se relacija $v=\sqrt{rg}$.

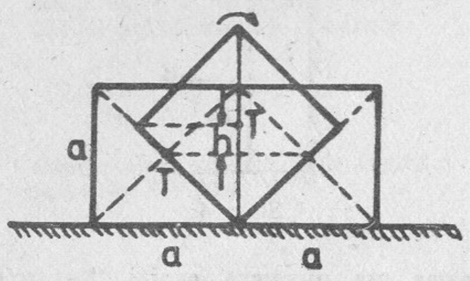
S druge strane, periferijska brzina kod rotacionog kretanja jednaka je proizvodu ugaone brzine i poluprečnika putanje, odnosno $v = wr$ ili $v=\frac{2\pi n}{60}r$, gde je n-broj obrta u minutu koji treba da izvrši gornje telo. Koristeći ovu, poslednju i prvu relaciju dobijamo da je broj obrta u minutu jednak

$$n=\frac{60}{2\pi}\sqrt{g/r}=67\text{ obr/min}.$$

J.D.

180. Ako se stena vuče (gura) po podlozi vrši se rad protiv sile trenja koje postoji između stene i podloge. Rad koji se tom prilikom izvrši da bi se stena pomerila za, na primer, a (dužina ivice kocke) iznosi $A_1 = F_{tr}\,a = \mu\,Qa$.

Kod prevrtanja kocke preko jedne njene ivice trenje može da se zanemari. Rad se vrši za podizanje težišta stene, tj. za povećanje njene potencijalne energije. Težište T kocke (sl.5) se, pri jednom prevrtanju,



Slika 5.

podiže na visinu $h = d/2 + a/2 = \frac{a}{2}(\sqrt{2}-1)$ gde je d-mala dijagonala kocke, pa se tom prilikom izvrši rad $A_2 = Q \cdot h = Qa(\sqrt{2}-1)/2$.

Odnos izvršenih radova u ova dva slučaja je:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\mu Qa}{Qa(\sqrt{2}-1)/2} = \frac{2\mu}{\sqrt{2}-1} = 1{,}95.$$

Radovi A_1 i A_2 se odnose na pomeranje stene za isto rastojanje (u našem slučaju za rastojanje a). Međutim, kao što se iz poslednje relacije vidi, odnos tih radova ne zavisi od dužine pomeranja ukoliko su ona u oba slučaja jednaka, već samo od koeficijenta trenja između podloge i stene.

J.D.

energije) tela koje vrši harmonijsko oscilovanje konstantna i srazmerna kvadratu amplitude a:

$$E = ka^2/2 \quad \ldots(2)$$

Ako zamenimo konstantu k iz izraza (2) u (1) dobijamo elongaciju u funkciji sile, ukupne energije i amplitude:

$$x = -F/k = -Fa^2/2E \quad \ldots(3)$$

Zamenom brojnih vrednosti za F, a i E dobijamo

$$x = -\frac{2{,}25 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{N} \cdot (2 \cdot 10^{-2})\,\mathrm{m}^2}{2 \cdot 3 \cdot 10^{-7}\,\mathrm{J}} =$$

$$= -1{,}5 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{m}$$

Znak »—« označava da je elongacija, koja se računa od ravnotežnog položaja prema telu koje osciluje, suprotnog smera od sile.

A.S.

182. Po tekstu zadatka prepoznajemo pojavu Doplerovog efekta u akustici. U ovom slučaju izvor zvuka (slepi miš) kreće se brzinom v prema zidu. Zamislimo da se posmatrač nalazi pored zida. On bi čuo zvučne talasne frekvence

$$\nu_1 = \frac{u}{u-v} \cdot \nu_0$$

gde je u-brzina prostiranja zvuka a ν_0-frekvenca talasa koje emituje slepi miš. Od zida se prema slepom mišu reflektuju zvučni talasi ali sa frekvencom ν_1. U ovom slučaju izvor (zid) je nepokretan a posmatrač (slepi miš) se kreće brzinom v. Slepi miš, osim frekvence koju sam emituje $\nu_0 = 4{,}50 \cdot 10^4$ Hz, čuje i reflektovane zvučne talase frekvence

$$\nu_2 = 1 + \left(\frac{v}{u}\right)\nu_1 = \frac{u+v}{u}\nu_1 = \frac{u+v}{u} \cdot \frac{u}{u-v}\nu_0 = \frac{u+v}{u-v}\nu_3 =$$

$$= \frac{340\ \mathrm{m/s} + 6{,}0\ \mathrm{m/s}}{340\ \mathrm{m/s} - 6{,}0\ \mathrm{m/s}} \cdot 4{,}50\ \mathrm{Hz} =$$

$$= 4{,}66 \cdot 10^4\ \mathrm{Hz}.$$

A.S.

183. S obzirom da je aktivan (termogeni) otpor prijemnog kola radioprijemnika zanemarljivo mali, možemo primeniti Tomsonovu formulu za period datog oscilatornog kola u funkciji induktiviteta L i kapaciteta C:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Kako je $T = \nu^{-1}$ i $\nu\lambda = c$, gde je ν-frekvenca, c-brzina prostiranja elektromagnetnih talasa a λ-talasna dužina, dobijamo:

$$\lambda = 2\pi c\sqrt{LC}$$

Na osnovu zadnjeg izraza dobijamo da je, za donju graničnu vrednost kapaciteta C_1, gračnična talasna dužina

$$\lambda_1 = 2\pi c\sqrt{LC_1} = 2\pi \cdot 3 \cdot 10^8\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

$$\sqrt{1{,}5 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{H} \cdot 75 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{F}} \cong 632\ \mathrm{m}$$

dok je za gornju graničnu vrednost kapaciteta C_2 granična talasna dužina

$$\lambda_2 = 2\pi c\sqrt{2C_2} = 2\pi \cdot 3 \cdot 10^8\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

$$\sqrt{1{,}5 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{H} \cdot 650 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{F}} \cong 1861\ \mathrm{m}$$

A.S.

Znači, datim radioprijemnikom možemo »čuti« radio talase u intervalu talasnih dužina od približno 630 m do 1860 m.

Kelvin je termodinamička temperatura koja je jednaka **1/273,16** *delu termodinamičke temperature trojne tačke vode.*

Postoji, naime, samo jedna temperatura za svaku supstancu pri kojoj ona može postojati istovremeno u čvrstom, tečnom i gasovitom stanju. Za vodu tu tzv. trojnu tačku karakteriše baš temperatura od 273,16 kelvina.

D.K.

---

181. Kod harmonijskog oscilovanja sila F, koja deluje na telo koje osciluje, srazmerna je rastojanju datog tela od ravnotežnog položaja (elongacji):

$$F = -kx \quad \ldots(1)$$

gde je k-konstanta proporcionalnosti. S druge strane, poznato nam je da je ukupna energija (zbir kinetičke i potencijalne

---

Kandela je jačina svetlosti koja normalno pada na površinu od **(1/600 000)** *kvadratnog metra crnog tela koje se nalazi na temperaturi očvršćavanja platine i na pritisku od* **101 325** *paskala.*

U opštem slučaju, kada osvetlimo neki predmet, odgovarajuće elektromagnetsko zračenje se delimično apsorbuje, delimično reflektuje i delom biva propušteno. Telo koje apsorbuje svako zračenje, bez obzira na njegovu talasnu dužinu, naziva se crnim. Nijedno telo ne ispunjava potpuno taj uslov. Otuda je crno telo jedan od tipičnih fizičkih modela. Međutim, ono se sa dobrom približnošću može ostvariti pomoću suda koji samo na jednom zidu ima mali otvor. (Obično je sud iznutra nagaravljen). Kada kroz otvor prođe svetlosni zrak u takvo telo, on je u njemu gotovo potpuno apsorbovan, pre nego što oslabljen, nakon višestrukog odbijanja, slučajno opet prođe kroz sam otvor. Jedinica za jačinu svetlosti definisana je na modelu crnog tela.

D.K.

REŠENJA NAGRADNOG ZADATKA BROJ 15

Da bi započeo kretanje ka brodu, astronaut mora baciti neki predmet u smeru od letilice. (Inače, u nedosatku nekog predmeta, njegova situacija bi mogla biti bezizlazna i tragična). Nakon toga, prema zakonu o održanju impulsa, brzina astronauta će biti usmerena ka letilici i iznosiće $V=\frac{m}{M}v$, gde je M masa čoveka, m je masa pomenutog predmeta, a v je brzina poslednjeg.

Istim zakonom objašnjava se kretanje same rakete kroz slobodan prostor. Naime, u jednom smeru se poriskuju produkti sagorevanja, da bi se raketa kretala u suprotnom.

Mol je količina supstancije sistema koji sadrži onoliko elementarnih delića koliko ima atoma u **0,012** *kilograma ugljenika* **12**.

Uz iznos mola potrebno je naznačiti o kojim se elementarnim delićima radi. To mogu biti atomi, joni, molekuli, elektroni, druge čestice ili posebno izdvojene grupe čestica. Kako 0,012 kilograma ugljenika 12 sadrži $6{,}023.10^{12}$ atoma, što je Avogardov broj, 1 mol elektrona sadrži upravo taj broj elektrona. Sl.čno, u molekularnoj biologji 1 mol svetlosti ($6{,}023.10^{12}$ kvanata), predstavlja na izvestan način izvedenu jedinicu, a naziva se ajnštajn.

D.K.

ODGOVORI NA ZADATKE PITANJA IZ BROJA 18

A. Čovek može da stoji, a da pri tome ne padne, samo ako se njegovo težište nalazi iznad površine ograničene njegovim stopalama. Reč je o površini koju čine površine obeju stopala i površina koja se nalazi između njih. Inače, težište čoveka se nalazi u trbušnoj duplji na oko 0,2 m iznad ravni u kojoj leži pupak. Kada sedi na stolici, težište nije iznad površine ograničene stopalima. Da bi ustao mora da učini nešto da svoje težište postavi u položaj koji je iznad ove površine. Treba da se nagne napred, ili podvuče noge ispod stolice i ispod svog težišta.

B. Težine kofa su jednake. Tačno je da se u jednoj od kofa nalazi više vode, jer je u drugoj drvo koje je ima manju specifičnu težinu od vode. To može da navede na pogrešan zaključak da je kofa u kojoj je samo voda teža, ako se zaboravi da je težina istisnute vode iz druge kofe jednaka težini drveta.

C. Da prvo kažemo zašto je odabran razmak od osam meseci? Zato što se tada merenja vrše u različitim klimatskim uslovima, tj. u različitim godišnjim dobima. Ako je prvo merenje izvršeno u februaru, onda se drugo merenje vrši u oktobru, kada je vrlo verovatno da će biti znatno topl je. Rezultati merenja će se razlikovati zato što se 300 m visoka Ajfelova kula produži za 0,003 m pri promei temperature za 1 K. Ako je temperatura u februaru bila —5°C (268 K), a u oktobru +25 °C (298 K), onda će Ajfelova kula u oktobru biti za 0,09 m viša nego u februaru.

D. Nije tačno. Izlazak i zalazak Sunca uslovljeni su obrtanjem Zemlje oko njene ose u Sunčevim zracima osvetljenom prostoru. Zemlja se uvek nalazi u prostoru koji je stalno osvetljen, pa zato brzina prostiranja Sunčevih zraka nema nikakve veze sa izlaskom i zalaskom Sunca na Zemlji. Sunce niti izlazi niti zalazi, nego Zemlja ka njemu iz časa u čas okreće različite delove svoje površine.

REŠENJA ZADATAKA KOJE JE ZA VAS U PROŠLOM BROJU ODABRAO B. IRIČANIN

1. a) Prema Pitagorinoj teoremi je $a^2=b^2+c^2$. Tako je $s^2=s_1^2+s_2^2$, gde je $s_1^2=(vt)^2$ i $s_2^2=\left(\frac{at^2}{2}\right)^2$. Sada je:

$$s=\sqrt{(vt)^2+\left(\frac{at^2}{2}\right)^2}=$$

$$=\sqrt{v^2t^2+\frac{a^2}{4}t^4}=\sqrt{t^2\left(v^2++\frac{a^2t^2}{4}\right)}=$$

$$=t\sqrt{8^2+\frac{4^2}{4}t^2}$$

$s=t\sqrt{64+4t^2}=t\sqrt{4(16+t^2)}=$
$=2t\sqrt{16+t^2}$. Dakle $s=2t\sqrt{16+t^2}$.

b) U formuli $s=2t\sqrt{16+t^2}$ umesto t stavi se 3. Tako je $s=2\cdot3\sqrt{16+3^2}=$
$=6\sqrt{16+9}=6\sqrt{25}=6\cdot5=30$. Dakle, za $t=3$ s je razdaljina $s=30$ m.

$s=2t\sqrt{16+t^2}$ i $s=30$ m.

2. Kamion prelazi put $s_2=vt$, a otkočena prikolica $s_1=\frac{at^2}{2}$. Kako je kod jednoliko udrzanog (ili usporenog) kretanja $a=\frac{v}{t}$, to je i $s_1=\frac{\frac{v}{t}\cdot t^2}{2}=\frac{vt}{2}$. Odnos puteva kamiona i prikolice pod datim uslovima za vreme t je $s_1:s_2=1:2$

3. $v=108$ km/h $=30$/s.
$k=0{,}25$
$g=10$ m/s²
$s=?$

Pošto je $a=\frac{v}{t}$, to je $v=at$, ili $v^2=a^2t^2$. Kako je $s=\frac{at^2}{2}$, to je i $v^2=2as$. Drugi Njutnov zakon mehanike je $a=\frac{F}{m}$, pa je $v^2=2\frac{F}{m}s$. Trenje je $F=kQ$, pa je $v^2=2\frac{kQ}{m}s$, ili $v^2=2kgs$, a odatle je $s=\frac{v^2}{2kg}$. Dalje je

$$s=\frac{(30\text{ m/s})^2}{2\cdot0{,}25\cdot10\text{ m/s}^2}=\frac{900\text{ m}^2/\text{s}^2}{0{,}5\cdot10\text{ m/s}^2}=$$

$\frac{900\text{ m}}{5}=180$ m. Dakle, automobil će se zaustaviti posle 180 metara.

$s=180$

4, t_1 = opterećenje mosta (maksimalno)
t_2 = opterećenje mosta (ukupno
$D=150$ m
$d=150$ m
$t_1:t_2=?$

Most je opterećen od stupanja lokomotive na most do silaska poslednjeg vagona s mosta. Most je pod najvećim opterećenjem kada se na celoj dužini mosta.

5. a) $v=54$ km/h $=15$ m/s
$a=1{,}5$ m/s²
$d=450$ m
$t=?$

Da bi trolejbus što pre stigao na sledeću stanicu, mora se maksimalno ubrzavati i usporavati! Putevi i vreme pri usporavanju i ubrzavanju su jednaki (t_1), pa je najkraće vreme kretanja trolejbusa $t=2t_1+t_2$, gde je $t_1=\frac{2s}{v}=\frac{v}{a}$ (ovde je s — put ubrzavanja, odnosno usporavanja). Dalje je

---

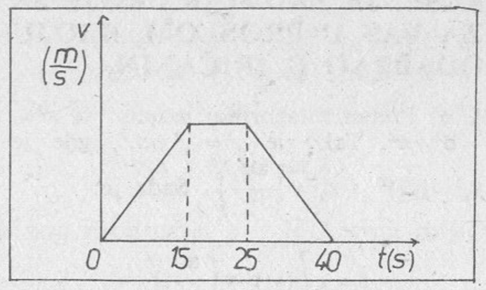
Radijan je ugao u ravni između dva poluprečnika koji na krugu isecaju luk dužine jednaka poluprečniku.

Steradijan je ugao u prostoru koji je jednak prostornom uglu kupe s temenom u središtu lopte koja na površini te lopte zahvata površinu jednaku kvadratu poluprečniku lopte.

$t_2=\frac{d-2s}{v}=\frac{d}{v}-\frac{v}{a}$. Konačno formula se dobija iz $s=\frac{v^2}{2a}$. Tako je $t=\frac{v}{a}+\frac{d}{v}$, ili $t=\frac{15\,m/s}{1{,}5\,m/s^2}+\frac{450\,m}{15\,m/s}=10\,s=40s.$

Najkraće vreme kretanja trolejbusa je $t=40$ s.

b. Dijagram kretanja trolejbusa prikazan je na slici.



PRAVILNA REŠENJA KONKURSNIH ZADATAKA IZ BR. 16 DOSTAVILI SU

1. OŠ »Karađorđe«, Topola, (nastavnik-profesor fizike: Milomir Mladenović): Petrović Dejan 126, 127, 128, 142, 143, 144; Cvetinović Dejan 126, 127, 128; Đorđević Boban 142, 143, 144; Spasić Zoran 142, 143, 144; Ristić Nenad 129, 130, 131; Cvetinović Dejan 142, 143, 144; Radojević Radmila 145, 146, 147; Ristić Nenad 145, 146, 147; Urošević Snežana 145, 146, 147; Jevđić Nataša 148, 150; Janković Kosovka 142, 143; Đorđević Jasminka 142, 143; Živanović Aleksandar 143, 144; Gigić Biljana 145, 146; Tanasijević Ljubiša 145, 146: Ristović Nataša 145, 146; Milovanović Ljiljana 148; Mihailović Tatjana 148; Tanasković Aleksandar 148.
2. OŠ »Sava Kovačević«, Beograd, (Smiljević Dragan): Stolić Milan 142, 143, 144; Bzik Gordana 142, 143, 144; Babić Duško 142, 142, 144; Jelić Zoran 142, 144; Pljakić Saša 142, 144; Cvejić Đorđe 142, 144.
3. OŠ »Svetozar Marković«, Leskovac, (Radivojević Branka): Tasić Nataša 142, 143, 144; Petković Igor 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149 i 150.
4. OŠ »Braća Nedić«, Osečina, (Đuka Ljubica): Radulović Željko 142, 143, 144; Jančić Gordana 142.
5. OŠ »Svetozar Sinđelić«, Veliki Popović: Simić Tatjana 142, 143, 144, 146, 147, 148, 149, 150 i 151.
6. OŠ »Josip Broz—Tito«, Novi Beograd, (Jakovljević Ružica): Iričanin Bratislav 142, 143, 144, 145, 147, 148, 149 i 160.
7. OŠ »Bratstvo-jedinstvo«, Split, (Milić Mario): Smoljanović Lada 142, 143 i 144,
8. OŠ »Oton Župančić«, Zemun, (Jelica Crnjanski): Spasojević Mirjana 129, 130 131, 132, 133, 134, 135.
9. OŠ »Vuk Karadžić«, Čačak, :Zorica Vukomanović 142, 143, 144.
10. OŠ »Milan Milošević Čopo«, Mrčajevci, (Milisavljević Stanojka): Petrović Mili-
9. OŠ »Vuk Karadžić«, Čačak, :Zorica Vukomanović 142, 143, 144.
10. OŠ »Milan Milošević Čopo«, Mrčajevci, (Milisavljević Stanojka): Petrović Milijana 142, 143 i 144.
11. OŠ »Miroslav Cerovac«, Vrčin, (Baričević Milan): Andrić Goran 142, 143, 144.
12. OŠ »Gavrilo Princip«, Zemun, (Abramović Bogdan): Simić Kristina 143, 144.
13. OŠ »Branko Radičević«, N. Beograd, (Bogovac Jadranka): Milisavljević Vladimir 148, 149, 150.
14. OŠ »Moma Stanojević«, Kragujevac, (Marković Slavoljub): Antonijević Branko 129, 130 i 131.
15. OŠ »Dr Dragiša Mišović«, Čačak, (Nidžović Dragonja): Pešic Gordana 143, 144.ić
16. OŠ «Radovan Kovačević-Maksim«, Lebane, (Cvetković Smilja): Stevčnov Ljljana 142, 143.
17. OŠ »Karlo Rajc«, Šargovac, Zaštro Ivanka 116 i 118.
18. OŠ »Rada Miljković«, Svetozarevo, (Živanović Tomislav): Milosavljević Tanja 116 i 118.
19. OŠ »Marko Orešković«, N. Beograd, (Radaković Ljiljana): Pavičević Ivamka 116
20. OŠ »Vladislav Ribnikar«, Beograd, (Kozarac Ivanka): Bogunović Olivera 129.
21. OŠ »Moša Pijade«, Vitoševac, (Stefanović Milorad): Šapić Miroslav 127.

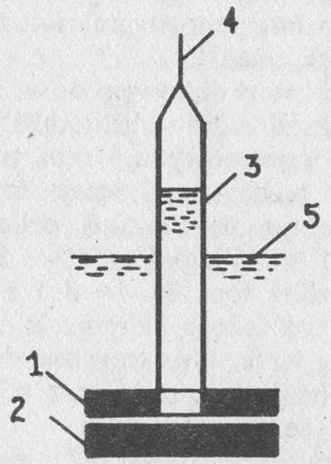
(Nastavak na str. 30)

(Nastavak sa str. 16)

sporije deluje na brži sloj silom koja teži da ga uspori. Ta sila je srazmerna površini dodira slojeva tečnosti, promeni brzine između tih slojeva, a koeficijent srazmernosti zove se koeficijent viskoznosti.

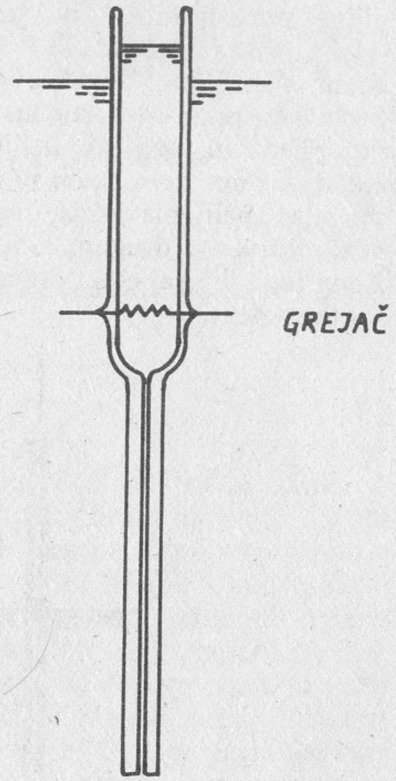
Eksperimenti koje je izvršio Kapica pokazali su da su sile viskoznog trenja između slojeva teč nosti u helijumu II praktično jednake nuli. Zbog male viskoznosti helijum II može da teče kroz vrlo uske kapilare i vrlo uske otvore, tamo gde normalna tečnost uopšte ne protiče.

Kapicin eksperiment u kome je konstatovana ta osobina i u kome je izmerena njegova viskoznost prikazana je na sl. 3. U tom eksperimentu tečnost teče između dva diska (1 i 2). Diskovi su od stakla i moguće je vrlo precizno



Slika 3.

podesiti rastojanje između njih. Iznad diska 1, koji ima kružni otvor, postavljena je cev koja može da se potopi ili izvuče iz suda sa tečnim helijumom. Količina tečnosti koja protekne između diskova merena je pomoću razlike nivoa tečnosti (5) van cevi i nivoa tečnosti (3) u cevi.

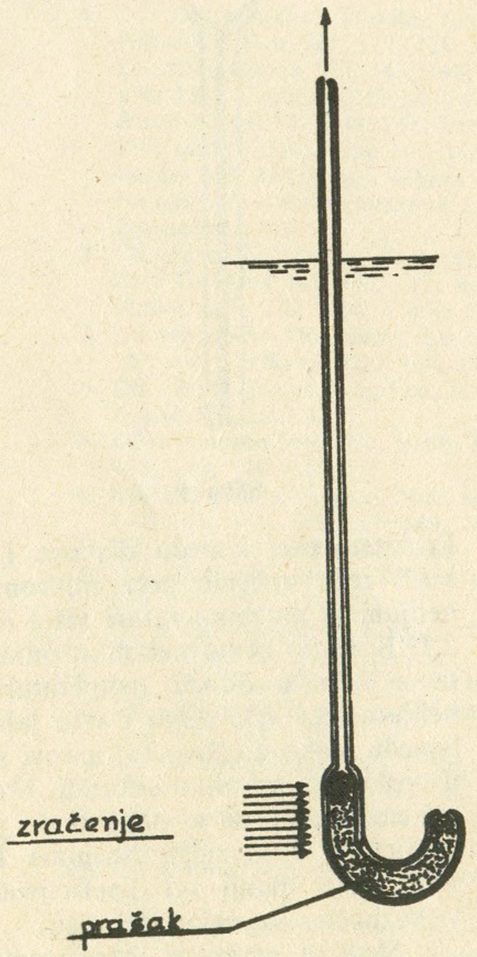


Slika 4.

Pri rastojanju između diskova (1) i (2) reda veličine pola mikrona, helijum je na temperaturi višoj od 2,19 K tekao samo nekoliko minuta. Ali, niže od te temperature, helijum teče vrlo dugo i vrlo lako između diskova. Nivo (3) u cevi se uspostavi za nekoliko sekundi. Merenjem tog nivoa je nađeno da je koeficijent viskoznosti helijuma II 1500 puta manji od koeficijenta viskoznosti normalne tečnosti.

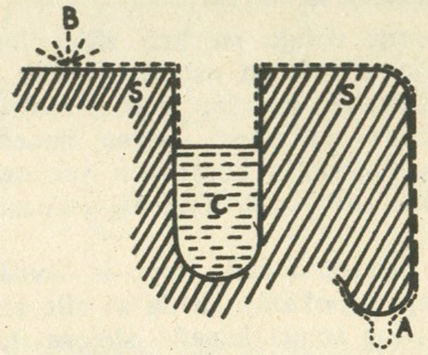
Sledeća etapa u istraživanju dovela je do otkrića najspektakularnijeg fenomena. Najpre je uočeno da kada se staklena cev, otvorena na obadva kraja, potopi u sud sa tečnim helijumom i u unutrašnjost cevi se unese grejač, nivo helijuma u cevi se diže iznad nivoa helijuma u sudu (sl. 4).

Isti efekt, ali sa spektakularnijim posledicama, tzv. *fontana-efekt*, prikazan je na sl. 5. U prošireni deo jedne dugačke cevi je postavljen prah od korunda. Cev je potopljena u sud sa helijumom. Kada se dno cevi ozrači, pojavljuje se mlaz helijuma visok nekoliko centimetara na drugom kraju cevi. Zbog toga je ovaj efekt dobio naziv fontana-efekt.



Slika 5.

Na slici 6. prikazano je svojstvo helijuma da teče u vrlo tankim slojevima duž čvrstih površina koje su u kontaktu sa njim. Sve površine, koje su u kontaktu



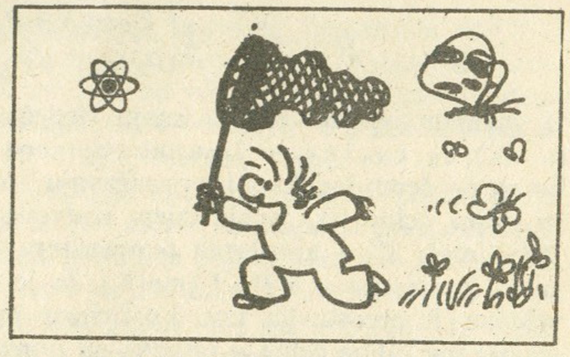
Slika 6.

sa sudom u kome se nalazi helijum II, bivaju prekrivene slojem helijuma debljine 3,5 10^{-6}m. Sloj se širi po celoj površini, sve dok ne padne u obliku kapi kao slobodna tečnost na mestima ispod nivoa u C, ili ne ispari. Ako se sloj ukloni na bilo koji način, površina će uskoro biti ponovo prekrivena slojem helijuma II.

Slično se dešava pri delimičnom potapanju suda u helijum II. Pri delimičnom potapanju suda u normalnu tečnost, sud ostaje prazan. U slučaju da se sud delimično potopi u helijum II, počeće da se puni zbog toga što se duž zidova javlja tok tečnog helijuma u obliku tankog sloja. Ovo traje sve dok se nivoi helijuma u sudu i van suda ne izjednače.

Istovremeno sa izvođenjem svih ovih eksperimenata razvijana je i teorija. Teorija je vrlo složena a njena osnovna postavka je da se helijum II sastoji iz dve komponente. Jedna komponenta je normalna tečnost, a druga je tzv. superfluidna tečnost koja može da teče kroz vrlo uske kapilare i pukotine bez trenja.

FIZIKA I...



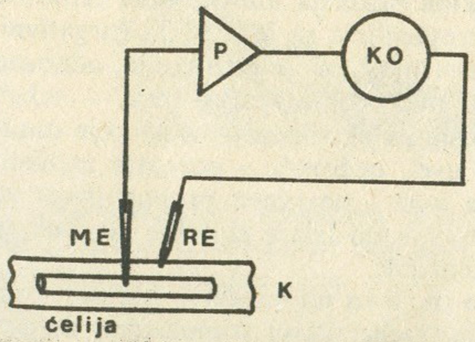
ELEKTRIČNA AKTIVNOST BILJAKA

DRAGANA POPOVIĆ (Beograd)

Životinjski organizmi i čovek pokazuju izvesnu električnu aktivnost čiji zapis (elektrokardiogram, elektroencefalogram) može da nam pruži određene podatke o stanju i funkcionisanju pojedinih organa, kao i organizma u celini (vidi MF, br. 15). Slična vrsta aktivnosti primećena je i kod biljaka.

Jednu biljnu ćeliju, na primer, neku zelenu algu nalik na končić, stavićemo u komoru sa rastvorom čiji sastav odgovara njenoj prirodnoj sredini. Pomoću aparature prikazane na sl. 1 moći ćemo da registrujemo, između unutrašnjosti ćelije[1] i spoljašnjeg rastvora, određenu razliku potencijala tzv. *potencijal mirovanja* ili potencijal u stanju mirovanja. Ova potencijalna razlika je negativnog predznaka (unutrašnjost ćelije je negativna u odnosu na spoljašnji rastvor) i iznosi stotinak milivolti. Potencijal mirovanja je jedna od električnih karakteristika biljne ćelije — on je analog potencijalnoj razlici koja bi se uspostavila između dva rastvora elektrolita različitih koncentacija, koje razdvaja jedna polupropustljiva membrana, odnosno membrana nejednako propustljiva za pojedine jone u rastvoru.

Pokazalo se da se sa dovoljnom tačnošću potencijal mirovanja može prikazati sledećim izrazom (tzv. Goldman-Hočkin-Hakslijeva jednačina bioelektričnih potencijala):

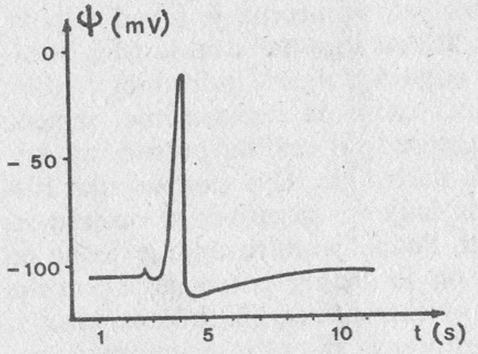


Sl.1 — Blok shema aparature za merenje potencijala mirovanja: K-komora u kojoj se nalazi biljna ćelija; P-pojačavač; ME-mikroelektroda u ćeliji (sastoji se iz staklene mikrokapilare, napunjene rastvorom kalijumhlorida, u kontaktu sa srebrohloridnom elektrodom); RE-referentna elektroda koja se nalazi u spoljašnjem rastvoru; KO-katodni oscioskop.

$$\psi = -\frac{RT}{F} \ln \left\{ \frac{P_K (c_K)^i + P_{Na} (c_{Na})^i + P_{Cl} (c_{Cl})}{P_K (c_K)^\circ + P_{Na} (c_{Na})^\circ + P_{Cl} (c_{Cl})^i} \right\}$$

U gornjem izrazu veličine imaju sledeća značenja: ψ-potencijal mirovanja (u mV), c_K, c_{Na} i c_{Cl} — koncentracije jona kalijuma, natrijuma i hlora (u molima), pri čemu indeksi *i* i *o* označavaju koncentracije ovih jona u unutrašnjosti biljne ćelije (i) i spoljašnjem rastvoru (o); F — jedan faradej = $9{\cdot}65 \times 10^4$ C/mol; T — apsolutna temperatura u stepenima K; R — univerzalna gasna konstanta = 8·314 J/(molK); *ln* je oznaka za prirodni logaritam, dok veličina P predstavlja tzv. koeficijent perneabilnosti (meru propustljivosti membrane biljne ćelije u odnosu na pomenute jone) i izražava se u cm/s.

Međutim, ako biljnu ćeliju na bilo koji način »pobudimo«, doći će do nagle i prolazne depolarizacije njene membrane, odnosno nagle i kratkotrajne promene potencijala ka pozitivnijim vrednostima i ponovnog »pada« na vrednost potencijala mirovanja. Stručnim jezikom elektrofiziologije[2] reći ćemo da je došlo do generisanja tzv. *akcionog potencijala*. Tipičan oblik akcionog potencijala prikazan je na sl. 2: jasno se vidi da je akcioni potencijal sastavljen



Sl. — Tipičan izgled akcionog potencijala kod biljaka

iz dve komponente — kratkotrajne *depolarizacije* (promene potencijala ka pozitivnijim vrednostima) i postepene *repolarizacije* (povratka na nivo potencijala mirovanja). (Kao da je unutrašnjost ćclije naglo postala pozitivnija, da bi odmah zatim ponovo postala negativna u odnosu na spoljašnji rastvor). Ceo ovaj proces odnosno, dužina trajanja akcionog potencijala traje oko dvadesetak sekundi, pri čemu je proces depolarizacije veoma kratak, 2—3 sekunde, dok ostalo vreme odlazi na ponovno uspostavljanje potencijala mirovanja. Danas se smatra da do pojave akcionog potencijala na biljnim ćelijama dolazi stoga što membrana ćelije, koja razdvaja unutrašnjost ćelije od spoljašnje sredine, postaje naglo veoma propustljiva za jone hlora (negativni, joni), koji izlaze iz ćelije i tako njena unutrašnjost ostaje pozitivnija, odnosno manje negativno naelektrisana. Međutim, ovo veoma kratko traje — težeći da povrati svoje »normalno« stanje odnosno, elektronegativnost svoje unutrašnje sredine, ćelija, pomoću nama još uvek nedovoljno poznatih mehanizama, smanjuje propustljivost za hlorne jone i povećava propustljivost za jone kalijuma (pozitivni joni). Oni nastavljaju da izlaze iz ćelije sve dok se ponovo ne uspostavi pređašnji nivo potencijala.

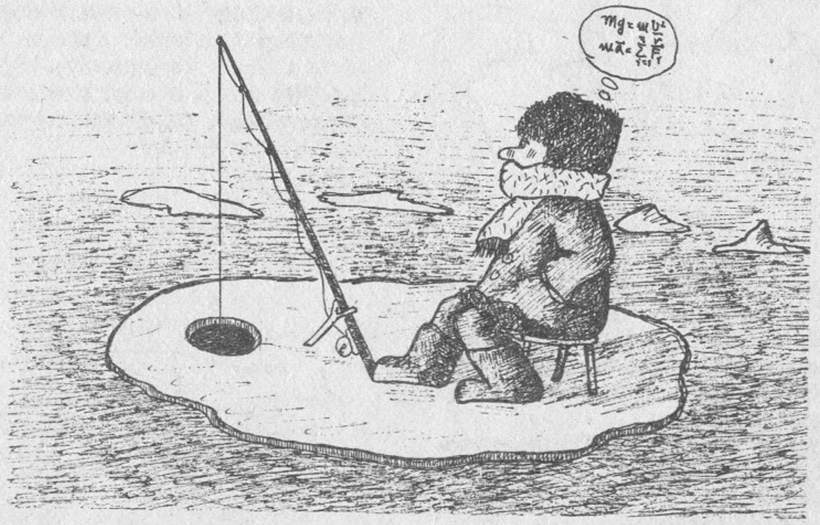
Pobudivanje biljne ćelije može da se izvrši na najrazličitije načine: strujnim impulsom određene jačine i trajanja, mehaničkim stimulusom, naglim promenama temperature i sastava spoljašnjeg rastvora, svetlosnim stimulusom, ozračivanjem (ultravioletnim, alfa i gama zracima) itd. Amplituda akcionog potencijala iznosi 90—100 mV, zavisno od više faktora. Akcioni potencijal se duž biljne ćelije »prostire« brzinom od 4—40 cm/s, a u nekim slučajevima može i da »pređe« sa jedne na drugu, susednu ćeliju.

Kao odgovor biljne ćelije na spoljašnji nadražaj, akcioni potencijal je veoma značajan za ispitivanje stanja ćelije i njenih reakcija na promenu spoljašnjih uslova. Od posebnog je interesa spontana pojava akcionih potencijala (u odsustvu spoljašnjeg stimulusa), kao i pojava čitavih nizova akcionih potencijala, koji veoma potsećaju na akcione potencijale nervnih ćelija (o čemu će biti više reči u sledećem broju). Da li osim regulatorne uloge, akcioni potencijal možda vrši i prenos informacija duž ćelije ili predstavlja neki oblik komunikacije između dve ćelije, ostaje još jedno od nerešenih pitanja nauke.

---

1) unutrašnjost biljne ćelije može da se, aproksimativno, predstavi kao smeša elektrolita — hloridnih soli natrijuma i kalijuma

2) elektrofiziolog'ja — oblast fiziologije koja se bavi ispitivanjem funkcionisanja nadražljivih tkiva i određenih električnih karakteristika ćelije, organa i organizma u celini (bioelektričnih potenc'jala, električne otpornosti, kapacitivnosti itd.) uz korišćenje odgovarajuće elektrodne i elektronske tehnike



Komentarišući **Amperovu** *stvaralaštvo,* **Maksvel** *je rekao — Iz glave tog „Njutna elektriciteta“ teorija i ogled kao da su u punoj snazi i savršenstvu potekli u isti mah*

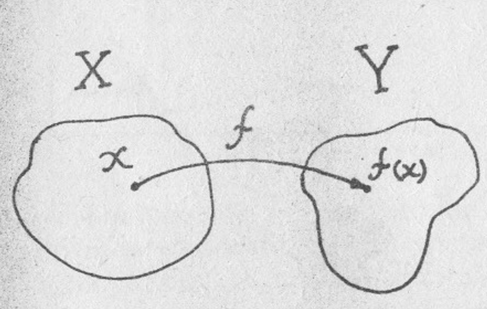
D. K.

GRAFIČKO PREDSTAVLJANJE VELIČINA U FIZICI

S. MILOŠEVIĆ (Mladenovac)

Rešavanje grafičkih zadataka u fizici je od velikog značaja, posebno ako se zna da postoje zadaci koj se mogu rešiti jedino grafičkim putem. Rešavanje zadataka nije jedini cilj grafičkog predstavljanja, već je grafik pogodan za kvalitativnu analizu problema i to u vrlo koncicznoj formi. Grafičkim prikazom upotpunjavamo pretstavu i kvantitativnim zavisnostima fizičkih veličina, koje najčešće iskazujemo u vidu formula. Zbog svega napred iznetog potrebno je, od samog početka izučavanja fizike, naučiti konstruisanje i »čitanje« dijagrama. Poznato vam je iz matematike za peti razred *preslikavanje* funkcija, gde su uključeni i pojmovi kao što su: uređeni par (uređena dvojka), koordinatna ravan i slično. Razmotrimo neke primere iz matematike na koje ćemo se kasnije direktno nadovezati.

Ako svakom elementu skupa V po određenom zakonu f odgovara jedan element skupa Z (sl. 1), kažemo da je izvršeno



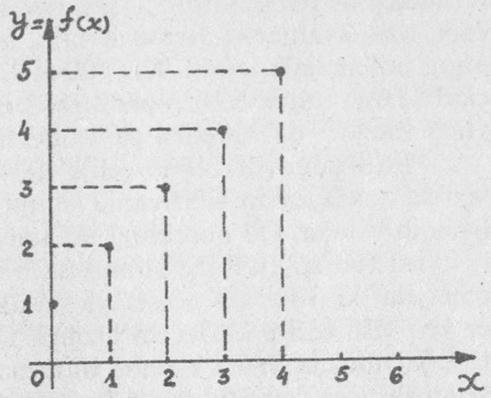
Slika 1.

preslikavanje skupa V u skup Z. $y = f(x)$ (čitamo: *ipsilon* jednako *ef* od *iks*), gde je x-original, a $f(x)$-slika. Uzimamo primer preslikavanja prikazanog tablicom, a zatim grafički, odgovarajućim skupom tačaka koordinatne ravni.

Neka je: $f(x) = x+1$. Preslikavanje tablicom bi bilo:

x	0	1	2	3	4
f(x)	1	2	3	4	5

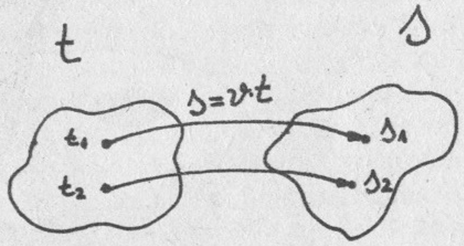
Svakom uređenom paru brojeva $[x, f(x)]$ pridružili smo tačku kordinatne ravni $M[x, f(x)]$, (sl. 2), i na taj način smo tačkama koordinatne ravni grafički prikazali



Slika 2.

preslikavanje skupova. Pokažimo kako se na primerima iz fizike mogu iskoristiti navedena stečena znanja i na taj način izvršiti punija povezanost fizike i matematike.

Pošto se grafički mogu predstaviti samo međusobno zavisne vel.čine, uzmimo *primer pređenog puta i vremena*, odnosno brzine kretanja i vremena. Neka u oba slučaja bude jednoliko kretanje sa konstantnom brzinom čiji intenzitet iznosi $v = 20$ m/s. Grafičko predstavljanje pređenog puta u zavisnosti od vremena: umesto skupa V, u opštem slučaju, uzmimo skup t, a umesto skupa Z uzmimo skup s; tada se umesto $y = f(x)$ dobija $s = f(t)$ gde je $s = vt$, nama dobro poznata relacija, pa je zakon preslikavanja sada $f = vt$ (sl. 3).



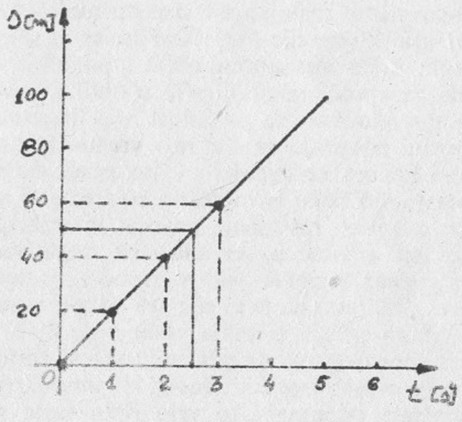
Slika 3.

Preslikavanje prikazano tablicom bi bilo:

t	0	1	2	3
s	0	20	40	60

Preslikavanje tačkama koordinatne ravni pokazano je na sl. 4. Sada smo izvršili spajanje dobijenih tačaka u liniju i tako dobili grafički prikaz koji pokazuje da se pređeni put menja kontinuirano. Koristeći grafik (na slici 4.) možemo rešavati zadatke grafičkim putem. Uzmimo određeni vremenski trenutak kao original i potražimo njegovu sliku.

Primer: Koliki je pređeni put posle 2,5 sekundi? Posle povlačenja odgovarajućih normala lako se zaključuje da je taj put 50 m. To je na sl. 4 prikazano punom linijom.



Slika 4.

Razmotrimo i *primer grafičkog pretstavljanja brzine u funkciji od vremena*. Uzmimo opet brzinu $v = 20$ m/s = const. Na sl. 5. prikazano je preslikavanje skupa t u skup v, gde zakon preslikavanja ima oblik: $v = s/t = \text{const}$. Nije teško zaključiti da skup v ima samo jedan element zbog toga što brzina ima uvek istu vrednost, bez obzira na vremenski trenutak. Preslikavanje tablicom bi izgledalo:

t	0	1	2	3	4
v	20	20	20	20	20

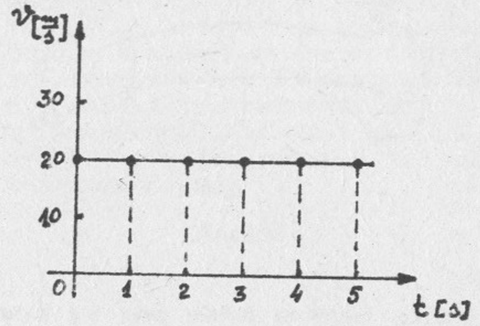
Preslikavanje tačkama u koordinatnoj ravni pokazano je na sl. 6. I ovde se mogu rešavati zadaci grafičkim putem kao i u prethodnom slučaju.

Iz napred iznetog izlaganja mogu se izvući sledeći važni *zaključci*:

— grafik promenljive veličine ima izgled linije koja se »penje« ili »spušta« prema apscisnoj osi;

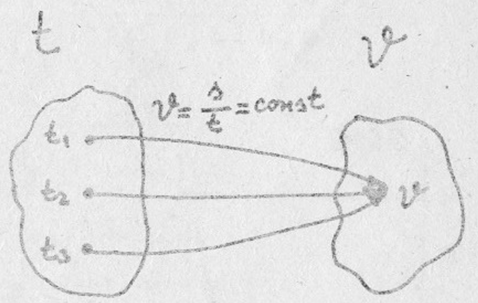
— brža promena funkcije predstavljena je većim nagibom, a sporija promena manjim nagibom grafika u odnosu na apscisnu osu;

— konstanta se predstavlja grafikom bez nagiba tj. linijom paralelnom sa apscisnom osom.



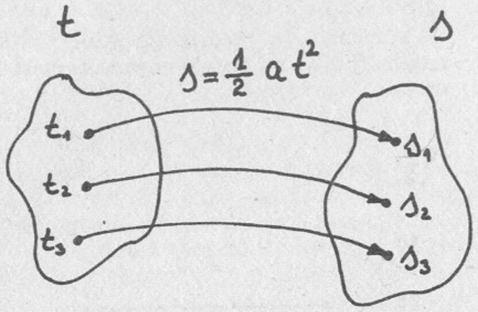
Slika 5.

Već koristimo termin grafik iako nismo rekli precizno šta se podrazumeva pod tim terminom. Nije teško razumeti da se pod grafikom funkcije $y = f(x)$ podrazumeva njena »slika« u ravni xOy, tj. skup tačaka $M(x,y)$ u ravni xOy, čije koordinate zadovoljavaju jednačinu $y = f(x)$. Ovako definisan grafik omogućava njegovu široku primenu.



Slika 6.

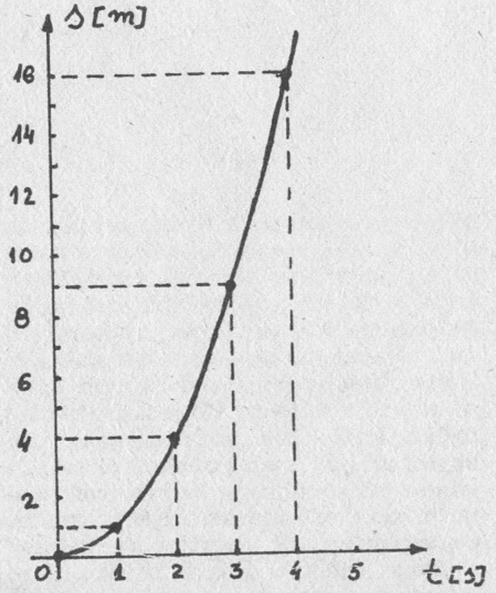
Do sada smo razmatrali takozvanu linearnu zavisnost »slike« od »originala«, tj. linearnu zavisnost funkcije od argumenta, što spada u najprostije funkcije. Sličan postupak je i kod složenije zavisnosti, s tom razlikom što je tada grafik u obliku krive linije koja nekada može imati i prekide iz čijeg oblika i položaja u odnosu na koordinatne ose možemo zaključiti kako se »ponaša« funkcija zavisno od argumenta, ne ulazeći u razmatranje složenih jednačina takvih grafika. Razmotrićemo jedan primer takve funkcije da bi smo naučili da »čitamo« i takve



Slika 7.

grafike. Uzmimo *primer pređenog puta kod ravnomerno ubrzanog pravolinijskog kretanja sa konstantnim ubrzanjem* čiji intenzitet iznosi $a = 2\ m/s^2 = const$. Na sl. 7. prikazano je preslikavanje skupa u skup s, gde je zakon preslikavanja $s = 1/2\ at^2$ nama poznata formula za izračunavanje puta kod promenljivog kretanja sa konstantnim ubrzanjem. Sada je zavisnost složenija, tzv. kvadratna zavisnost. Preslikavanje tablicom bi izgledalo:

t	0	1	2	3	4
s	0	1	4	9	16

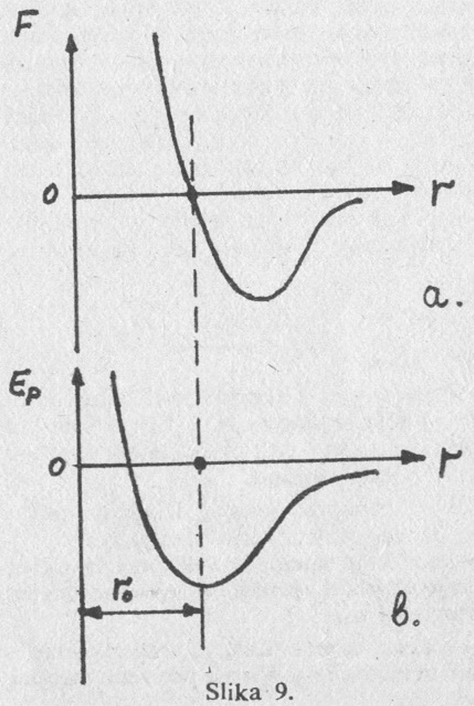


Slika 8.

Preslikavanje tačkama u koordinatnoj ravni prikazano je na sl. 8. Grafik je u obliku krive linije, tzv. parabole, jer zavisnost nije više linearna, već stepena. U ovom slučaju to je kvadratna funkcija vremena. Grafik može da ima složeniji, oblik kao i da se nalazi u drugim kvadrantima, a ne samo u prvom, zatim funkcija može da menja i znak ako njen grafik »silazi« ispod apscisne ose i td.

Koristeći zaključke iz dosad izloženog, razmotrimo sledeće grafike.

Na sl. 9a. grafički je prikazana zavisnost intenziteta međumolekulske sile F u zavisnosti od rastojanja r između molekula, tj. grafik funkcije $F(r)$. Kao što se sa slike vidi, kriva ima složeni oblik i pokušajmo da ga »pročitamo«. Grafik u obliku krive linije »govori« da zavisnost nije linearna, zatim pokazuje da sila ima vrednost nula pri nekom rastojanju r , što znači da je nastupilo neko ravnotežno stanje; ako se međusobno rastojanje poveća, interakcija će biti privlačna, jer sila ima negativan predznak (grafik »ide« ispod apscisne ose), ali tako da je ta sila sve veća u negativnom smislu, a onda počinje da slabi i za velika rastojanja teži nuli. Ako se rastojanje smanji ispod vrednosti r , interakcija postaje odbojna i to vrlo brzo raste sa smanjenjem rastojanja r.



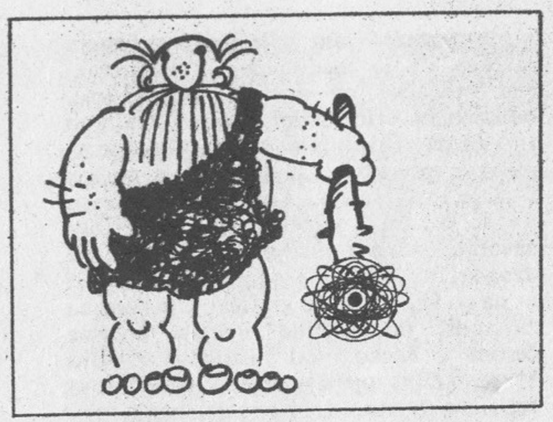
Slika 9.

Poznato vam je iz fizike u šestom razredu da je međumolekulska interakcija privlačna na manjim rastojanjima, odbojna na vrlo malim rastojanjima, kao i to da na vrlo velikim rastojanjima nema nikakve interakcije. Znate i to da postoji i takvo rastojanje na kome molekuli »vole« da ostanu i »protive« se kako približavanju, tako i udaljavanju jedan od drugog; to rastojanje odgovara rastojanu r na sl. 9a. Na sl. 9b grafički je prikazana zavisnost potencijalne energije sistema čestica u funkciji od rastojanja r. Ova kriva $E(r)$ opisuje interakciju parova čestica u čvrstom telu gde dejstvuju privlačne i odbijne sile koje održavaju sastavne čestice čvrstog tela na određenim rastojanjima ($r = r_0$). Ovi razmaci odgovaraju ravnoteži privlačnih i odbojnih sila: $F = 0$ (sl. 9a) i minimumu potencijalne energije E (sl. 9b). Taj deo krive $E(r)$ ima oblik jame, pa se često i naziva »potencijalna jama«. Kao što se vidi, za velika rastojanja r potencijalna energija sistema teži nuli. Poznato vam je da svako telo ili sistem tela teži da se nađe u stanju s minimalnom energijom; to važi i za mikročestice i ovaj grafički prikaz (sl. 9a i 9b) to slikovito ilustruje.

Plodotvornost elektronske teorije elektromagnetskih pojava, koju je u prvom i necelovitom obliku predložio jaš **Amper**, *lord* **Kelvin** *je često komentarisao rečima: „Kažite mi šta je elektricitet, objasniću vam sve ostalo!“*

D. K.

IZ ISTORIJE



A. Jofe (1880—1960)

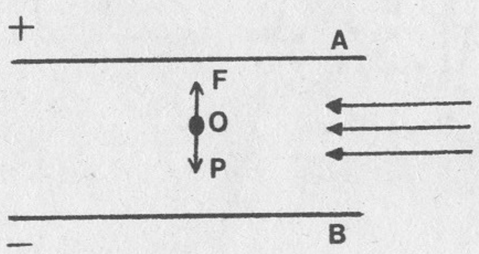
ELEKTRON

1. Naelektrisanje elektrona

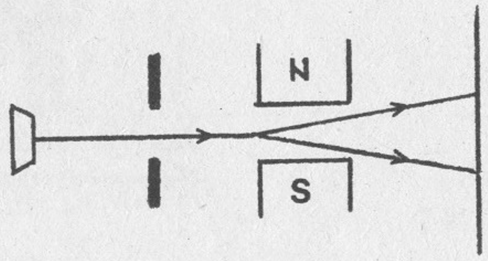
Jedan od sastavnih delova atoma — negativno naelektrisani elektron — bio je otkriven još u XIX veku. Godine 1897. grubo je izmereno naelektrisanje elektrona; kasnije je bila izmerena njegova masa, a još kasnije su bila otkrivena druga njegova svojstva — obrtni i magnetni momenti.

Pri osvetljavanju, osobito ultravioletnom svetlošću, negativno naelektrisano telo postepeno gubi svoje naelektrisanje, a neutralno telo — naelektriše se pozitivno. Ova pojava, nazvana fotoelektričnim efektom ili, kraće rečeno, fotoefketom, bila je ispitivana od strane Stoletova još u XIX veku. Karakter naelektrisanja — elektrona — koje ispušta telo pri fotoefektu, osobito je uočljivo u eksperimentu koji sam postavio 1912. godine.

U prostor među dvema paralelnim horizontalnim pločama A i B (Slika 1) dospevala su sitna naelektrisana metalna zrnca 0.



Slika 1.



Slika 2.

Abram Fedorovič Jofe, (1880—1960) — veliki sovjetski fizičar, takođe je fizičar svetskog renomea. Imao je izvanrednu sposobnost da usvaja i samostalno razvija nove ideje i pravce, kako u eksperimentalnoj, tako i u teorijskoj fizici. Poznati su njegovi radovi iz kvantne fizike, fizike dielektrika, teorije mehaničke trvdoće, unutrašnjeg fotoefekta, plastične deformacije i fizike poluprovodnika. Uporedo sa Milikenom izvršio je niz opita koji su pokazali postojajen elementarnog naelektrisanja — elektrona. Osim toga bio je izvanredan pedagog. Jedan od najvećih sovjetskih Instituta za fiziku koji se nalazi u Lenjingradu nosi njegovo ime.

Ako je zrnce naelektrisano negativno njegovo padanje se može zaustaviti naelektrisanjem gornje plce (A). Pozitivno naelektrisano zrnce zadržava se poljem suprotnog znaka. Može se izabrati takva razlika potencijala U_1 među pločama, da električna sila F uravnotežava silu teže. Tada zrnce »visi« nepokretno mnogo sati.

Električna sila koja deluje na naelektrisanje e_1 usmerena je nagore i jednaka je $e_1 \frac{U_1}{d} = F$, gde je d-rastojanje među pločama A i B. Označimo silu teže koja deluje na zrnce sa P. Uslov ravnoteže zrnca u prostoru među pločama je jednakost sile teže P i električne sile F: $P = e_1 \frac{U}{d} = F$

U tom stanju ja sam osvetljavao zrnce izvorom svetlosti koja je izazivala fotoefekat.

Posle nekog vremena, ranije nepokretno zrnce je počinjalo da pada. Pošto se sila teže P nije mogla promeniti od osvetljavanja, a nisu se promenili ni U_1 i d, stoga se smanjivalo naelektrisanje e_1 do neke veličine e_2.

Uvećavajući razliku potencijala U_1 do nove vrednosti U_2, moguće je bilo ponovo zaustaviti padanje zrnca; prema tome potrebno je da bude zadovoljena jednakost $e_2 \frac{U}{d_2} = P$.

Naelektrisavanjem i ponovo razelektrisavanjem, moguće je bilo taj proces ponoviti stotinu puta: svaki put pri odgovarajućim potencijalima U_1, U_2, U_3, ... Pokazalo se da različita naelektrisanja e_1, e_2, e_3, ..., koja je imalo zrnce, stoje u sledećem odnosu:

$$e_1 : e_2 : e_3 = \frac{1}{U_1} : \frac{1}{U_2} : \frac{1}{U_3} = 1 : 2 : 3 : \ldots$$

Naelektrisanja zrnceta menjala su se kao niz celih brojeva.

Kada je na zrncu ostajalo jedno negativno naelektrisanje, to ga je ono gubilo u celini pri osvetljavanju i ostajalo je nenaelektrisano. Stvarno, nikakva razlika potencijala U (ni pozitivna ni negativna) nije uspevala da zadrži padanje čestice. No, ako se za vreme padanja nastavi osvetljavanje, to je posle nekog vremena zrnce, gubeći još jedno naelektrisanje, bilo naelektrisano pozitivno. Tada je njega ponovo moguće zaustaviti, ali sa suprotnom razlikom potencijala.

Hiljade takvih eksperimenata sa zrncima od različitih materijala pokazali su da se naelektrisanje bilo kog zrnca uvek sastoji iz celog broja potpuno određenih porcija, čija je vrednost 1,6021892 10 C. Svaki put, kada je zrnce pri osvetljavanju gubilo negativno naelektrisanje, ono je bilo jednako e.

Ova jedinačna negativna naelektrisanja su dobila naziv **elektroni.**

Nikada i nigde nije se uspelo primetiti nčelektrisanje manje od naelektrisanja elektrona ili jednako necelom broju naelektrisanja elektrona. Isto tako naelektrisane čestice — elektrone — ispuštaju usijana tela.

Ova pojava se naziva **termoelektronskom emisijom**; ona se koristi u elektronskim cevima.

Pri ispuštanju naelektrisanja kroz jako razređene gasove, iz negativno elektrode (katoda) izlazi bujica negativnih naelektrisanja koji se nazivaju

kâtodni zraci. Uspelo se pokazati da su i katodni zraci — bujica tih istih elektrona. Ako se katodni zraci ili fluks fotoelektrona smeste u magnetno polje, moguće je da se odredi odnos naelektrisanja elektrona **e** i mase **m**, a i sama masa elektrona.

Pokazalo se da ne samo naelektrisanja, nego i mase elektrona koji su imali različito poreklo imaju iste vrednosti.

U toku prve decenije našeg veka elektron je bio jedinstvena (jedina) poznata »elementarna« čestica. Fizičari su mislili da je elektron poslednji i najprostiji element prirode, i pretstavljali su ga, kao ranije atom, u obliku kuglice, po čijoj zapremini ili po površi je raspoređeno naelektrisanje.

2. Spin i magnetni moment elektrona

Pokazalo se da elektron poseduje obrtni moment (**spin**), **s**, i magnetni moment, μ. Magnetni moment elektrona određuje maksimalni moment sila koje deluju na elektron u magnetnom polju s indukcijom **B**: $M_{max} = |\vec{B}|\,\mu$.

Magnetna svojstva elektrona s potpunom očiglednošću zapažaju se u eksperimentima koje su postavili Štern i Gerlah. Po ovom metodu izučava se fluks molekula u obliku tanke trake, izdvojen pomoću sistema uskih pukotina u prostoru u kojem je ostvaren visok vakuum (razređenje).

Svako otklanjanje takvog snopa molekula od pravolinijskog puta može biti izazvano jedino dejstvom sila, a te sile mogu biti izračunate na osnovu po četne brzine molekula i veličine otstupanja od pravolinijskop puta. Ovaj metod se primenjuje za utvrđivanje različitih uticaja (sila), u tom smislu i tako slabih, kao što su gravitaciona sila.

Ako se propusti molekularni snop kroz jako i veoma nehomogeno polje, to se pojedini molekuli otklanjaju, tim više što je veći njihov magnetni moment i što je manji ugao među pravcem magnetnog momenta i pravcem magnetnog polja.

Magnetni moment može da potiče kako od magnetnih osobina samog elektrona, tako i od električne struje koju elektron stvara, krećući se po zatvo renoj orbiti. Ako se, na primer, elektron kreće po krugu prečnika r s brzinom v, to kroz poprečni presek kruga elektron prolazi $v/2\pi r$ puta u sekundi, prenoseći svaki put svoje naelektrisanje. Na taj način, obrćući se po krugu radijusa r, elektron predstavlja struju $i = ev/2\pi r$. Magnetni moment μ elektrona koji se kreće po kružnoj orbiti jednak je $\mu = \pi r^2 i = \frac{evr}{2}$.

Moment količine kretanja elektrona koji se obrće po orbiti je $L = mvr$. Na taj način, za elektron $\frac{\mu}{L} = \frac{e}{2m}$.

U atomima vodonika (H), litijuma (Li) i srebra (Ag) moment količine kretanja elektrona koji se kreću po orbitama jednak je nuli. Stoga i magnetni moment μ mora biti jednak nuli.

Međutim, snopovi svih ovih atoma su otstupili od pravolinijske putanje pri prolazu kroz magnetno polje (Slika 2).

Pri tome se snop razdvaja na dva dela koji su otklonjeni za isti ugao, ali na suprotne strane. Iz rezultata ovog opita zaključujem:

1) elektroni, nezavisno od svog kretanja, poseduju određeni magnetni moment čak i kada je $L = 0$.
2) prolazeći kroz magnetno polje, elektroni avih atoma orijentišu se tako da su njihovi magnetni momenti usmereni bilo u smeru magnetnog polja (paralelna orijentacija), bilo u suprotnom smeru (antiparalelna orijentacija); druge orijentacije (između ove dve) ne postoje.

Pokazuje se da pored magnetnih osobina, elektron poseduje određent moment obrtanja s; međutim, odnos između μ i s u tom slučaju ima vrednost $\frac{\mu}{s} = \frac{e}{m}$.

Postojanje mehaničkig momenta, povezanog s magnetnim, bilo je po kazano u opitima za koje su ideju dali Ajnštajn i de Has, a koje smo u osobito očiglednom vidu realizovali P.L. Kapica i ja 1920. godine.

U dovoljno ispražnjenoj kvarcnoj cevi o dugoj niti bio je obešen namagnetisani štapić od nikla (Ni). Magnetno polje Zemlje bilo je eliminisano. Stavlja jući cev u vruću peć, bilo je moguće brzo zagrejati štapić do temperature više od 360°C, pri kojoj se nikl razmagnetiše; u tom trenutku štapić je počinjao da se uvrće (u suštini nit se uvrtala, a štapić se obrtao — prim. prev.).

Namagnetisavanje nikla je prouzrokovano time što se magnetni momenti postavljaju u istom smeru. Pri razmagnetisavanju oni se, obrnuto, razuređuju usled toplotnog kretanja.

Pošto se elektronski magnetici u isto vreme obrću oko svoje ose, to namagnetisani štapić poseduje u njegovim elektronima skriven moment obrtanja. Pri razmagnetisavanju, ovaj ukupni moment nestaje. No, saglasno osnovnim zakonima mehanike, moment obrtaja (moment količine kretanja — po savremenoj terminologiji) sistema je neizmenjen (sačuvan), kao što je neizmenjena i njegova energija.

U našem slučaju, obešeni u vakuumu (bez vazduha) štapić ne može da preda svoj obrtni moment sredini koja je okružuje. Moment količine kretanja elektrona namagnetisanog štapića pri razmagnetisavanju je prešao u moment količine kretanja celog štapića — štapić se počeo obrtati.

Prvobitni opiti Ajnštajna i de Hasa, izvršeni sa gvožđem (Fe), dali su za odnos μ/L vrednost koja se poklapala s veličinom $e/2m$ u granicama od 20%. Odnos $e/2m$ za veličinu μ/L se odnosi na kretanje elektrona po kružnom putanjama. Međutim, kasnije, odstranivši prethodno neprimećene greške u opitu, oni su utvrdili, da je $\frac{\mu}{L} = \frac{e}{m}$, kao što je potrebno da bude za elektrone koji se obrću oko sopstvene ose. Na taj način, opiti Ajnštajna i de Hasa su pokazali da se namagnetisavanje gvožđa objašnjava postojanjem sopstvenih magnetnih momenata elektrona koji nisu povezani s uređenjem elektrona po orbitama.

Odnos među μ i s je odredio Barnet drugim metodom: dovodeći u brzo obrtanje štapove iz različitih materijala, Barnet je na taj način orijentisao mehaničke momente (spinove) elektrona i tako prevodio štapove u magnete. Ova merenja su dala odnos μ i s koji je karakterističan za spin elektrona.

Preveo **M. Kulić** (Beograd)

PRAVILNA REŠENJA KONKURSNIH ZADATAKA IZ BR. 17 DOSTAVILI SU:

1. »Jovan Jovanović Zmaj«, Vranej, (nastavnik fizike Barać Biljana): Stamenković Dan'jela 152, 153, 154; Spasić Sunčica 152, 153; Stašić Dan jela 152, 153; Milošević Predrag 152 ,153; Mitić Biljana 152, 153; Nikolić Dan jela 152, 153; Jovanović Sonja 152, 153; Bogdanović Milena 152, 153; Stamenković Slavoljun 152, 153; Stojanović Ljubinka 152, 153; Stojmenović Jasmina 152, 153; Cvetković Tatjana 152, 153; Petrović Stojanka 152, 153; Petrović Stojka 152, 153; Marković Goran 152, 153; Milosavljević Nebojša 152, 153; Stoilković Slađan 152, 153; Aleksić Ljilja 152; Mirković Ivana 152, 153; Ristić Boban 152, 153; Petrović Slađana 152, 153; Ćorić Dragan 152; Rusinović Sunčica 152; Simonović Dušica 152; Valčić Sonja 152, 153; Jovanović Negovan 152, 153; Mladenović Slađan 152, 153; Stojković Nebojša 152, 153; Stojšić Jugoslav 152, 153; Mitić Vesna 152; Jovanović Violeta 152, 153; Stojanović Vesna 152, 153; Bojkov Blaža 152, 152, 153; Vorkapić Dan'jela 152, 153; Krstić Goran 152, 153; Tomić Nebojša 152, 153; Stojković Nebojša 152, 153; Stojšić Jugoslav 152, 153; Mitić Vesna 152; Jovanović Violeta 152, 153; Stojanović Vesna 152, 153; Bojkov Blaža 152, 152, 153; Vorkapić Dan'jela 152, 153; Krstić Goran 152, 153; Tomić Nebojša 152, 153; Stevanović Jadranka 152, 153; Jovanović Slavica 152, 153; Stošić Gordana 152, 153; Nedeljković Dan'jela 152, 153; Stojković Suzana 152, 153.
2. OŠ »Karađorđe«, Topola, (Jevđić Živadinka): Aleksandrović Snežana 152, 153, 154; Manojlović Vesna 152, 153, 154; Nikolić Dan'jela 152, 153, 154; Đorđević Nebojša 152, 153, 154; Komnenić Gorica 152, 153, 154; (Mladenović Milomir): Ristić Nenad 152, 153, 154, 155, 156, 157, 160, 162; Jovanović Snežana 152, 153, 154; Stefanović Nada 152, 153, 154; Srećković Dejan 152, 153; Jelić Vesna 152, 153, 154; Ješić Olivera 152, 153, 154; Mihailović Mirko 152, 153, 154; Nikolić Gordana 152, 153, 154; Ješić Milan 152, 153, 154; Gajić Ivan 152, 153; Nekić Zoran 152, 153, 154; Cvetinović Dejan 155; (Jevđić Živadinka): Stevanović Jasna 152, 153, 154; Nikod'jević Snežana 152, 153, 154; Filipović Vesna 152, 153, 154.
3. OŠ »Miodrag Čajetinac Čajka«, Trstenik, (Pešić Milorad i Lazrlević Vojislav): Filipović Dragana 152, 153; Jakovljević Zoran, 152, 154, 155, 158; Trošić Jasna 152, 154, 155; Šaranović Vladimir, 152, 153, 155; Miličević Dragana, 152, 153, 154, 155, 158; Marković Dejan, 152, 154, 155, 158; Pantović Suzana, 152, 153, 154, 155, 158; Subotić Svetlana 152, 154, 157; Vukomanović Mirjana 152, 153, 154, 155; Gajić Vladimir, 152, 154, 155; Radmanovac Zoran 152, 154, 155, 158; Erac Žaklina 152, 153, 154, 155, 158
4. OŠ »Olga Milošević«, Smederevska Palanka, (Vukmanović Borivoje): Nikolić Svetlana ,152, 154; Tošević Dan'jel 152, 153, 154; Petrovski Btanko 157; Miletić Branka 155; Milošević Olja 157; Petrović Aleksandar 155; Ristić Radica 155; Slavković Milovan 157; Pavlović Novica 157; Blagojević Biljana 157, 158; Kostadinović Slavica 157; Simović Nadežda 152; Ribarić Nenad 152, 153, 154; Vladisavljević Nebojša 152; Radovanović Saša 157; Petrovski Stamenka 152; Milanović Nenad 152, 153, 154.
5. OŠ »8 oktobar«, Vlasotince, (Đokić Mihajlo): Stanojević Slađana 152, 153, 154; Krstić Milivoje 152, 153, 154; Đorđević Elizabeta 152, 153, 154; Đokić Zoran 152, 153, 154; Stojanović Ljubica 152, 153, 154; Stojanović Ljubica 152, 153, 154; Krstić Marina 152, 153, 154; Stamenković Srđan 152, 153, 154; Miljković Slaviša 152, 153, 154; Stojanović Antonio 152, 153, 154; Jovanović Sava 152, 153, 154; Stanković Marina 152, 153, 154; Petrović Vesna 152, 153, 154; Stanković Milena 152; Randelović Vesna 152, 154; Cvetković Nenad 152, 153, 154; Nešić Nedeljko 152, 153, 154; Marković Goran 152, 153, 154.
6. OŠ »Dr Dragiša Mišović«, Čačak, (Nidžović Draginja): Bojović Snežana 152, 153, 154; Mečanin Đurđe 152, 153, 154; Blagojević Olivera 152, 153, 154; Gazdić Vladimir 152, 153, 154; Pešić Gordana 152, 153, 154, 157, 158; Čakajac Dejan 152, 153, 154; Radičević Gordana 152, 153, 154; (Aćimović Rada); Žižović Valentina 152, 153.
7. OŠ »Milan Milošević-Ćopo«, Mrčajevci, (Milisavljević Stanojka): Milošević Radenko 153; Adamović Gordana 158; Simović Duška 152, 153, 154; Stanojlović Biljana 152; Joksović Natalija 152; Ćosić Dejan 152, 153, 154; Baralić Mirjana 152.

8. OŠ »Moša Pijade«, Vitoševac, (Stefanović Miodrag): Žarković Sonja 152, 153, 160; Šapić Saša 155, 157, 158; Žarković Dan'jela 152, 153; Jovanović Boban 152, 153; Kadrić Slavoljub 155, 157; Šapić Miroslav 155; Nkolić Vesna 155, 158; Milisavljević B.ljana 155, 157; Milovanović Vesna 155, 157 i Šapić Goran 155.
9. OŠ »Sava Kovačević«, Beograd, (Smiljević Dragan): Janković Boris 152, 163, 154, 161; Petrov'ć Zoran 158; Stolić M lan 152, 153, 154, 157, 158; Smiljević Aleksandar 152, 153, 154; Ivanović Blažo 152; Jović Predrag 152, 153, 154; Nedeljković Gordana 152, 153, 154; Pavlović Aleksandar 152, 153, Bzik Gordana 152, 157; Uović Predrag 157.
10. OŠ »Milan Munjas«, Ub, (Nedić Živka): Dragićević Drag'ca 152; Rakić Srđan 152; Jagodić Slavica 152; Simić Zorica 152; Avramović Slavica 152; Đorđević Petar 152; Krsmić Milan 152; Lukić Milica 152; Nikolić Dragan 152; Bošković Zorica 152 i Ninković Igor 152.
11. OŠ »20 oktobar«, N. Beograd, (Antonić Irena i Vuković Mira): Jovanović Marina 152, 153, 154; Jocić Tatjana 152, 153, 154; Stamenić Ljiljana 152, 153, 154; Ćirković Radomir 155, 158; Arsić Snežana 152, 153, 154; Kovačević Tamara 152, 153, 154; Maslar Snežana 157, 158; Mačak Gordana 153, 154; Grba Mirjana 160.
12. OŠ »Stanimir Veljković-Zele«, Bojnik, (Maksimović Blagoje): Arsić Saša 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158; Mitić Nebojša 159, 160, 161; Jevđić Srđan 152, 153, 154; Krst'ć Dejan 152, 153, 154; Đorđević Oliveea 155, 156, 157 i 158.
13. OŠ »Drago Tojić-Ganga«, Crnjelovo, Vidić Biljana 153; Krbanjević Ivica 152; Krbanjević Stanko 152; Stevanović Radiša 152; Pejić Vesna 152; Arsenović Ljubiša 152; Stevanović Mihajlo 152.
14. OŠ »17 oktobar«, Svetozarevo, (Mikić Milun): Jovanović Petar 152, 153; Miličević Nenad 152, 153; Petrović Miroslav 152, 153, 154; Vučković Goran 152, 154; Vujošević Bojan 152, 135, 154; Tanevska Dan'jela 152.
15. OŠ »12 decembar«, Katun, (Mitić Slobodan): Lukić Jasmina 162, 155, 157; Vukašinović Tatjana 152, 155, 157; Milovanović Slađana 157, 158; Branković Gordana 152, 155, 158; Milojković Slađana 155, 158; Tasić Lid ja 152, 155; Pešić Svetlana 152, 155; Đorđević Svetlana 152, 157; Milutinović Anđelka 152, 153, 157; Živanović Slađana 152, 157.
16. OŠ »August Šenoa«, Zagreb, (Žugić Milan): Kundić Tomislav 152, 153, 154 155, 156, 157, 158; Cavor Damir 152, 153, 154, 157, 158.
17. OŠ »Petar Vragolić«, Ljubovija, (Perić Pavle): Tomić Siniša 152; Vesić Milenko 152; Vasić Jovan 152; Mićanović Milorad 152, Simić Vlado 155, 156.
18. OŠ »IV kraljevački bataljon«, Kraljevo, (Savićević Zagorka): Lešević Svetlana 158; Kajtaranović Jasna 157; Delevski Vladimir 155, 157, 158; (Stanimirović Radom'r): Anđelić Milosav 152, 153, 154; Čalić Sanja 158; Lakić Nikola 161.
19. OŠ »Vuk Karadžić«, Žitkovac, (Milovanović Desim'r): Milojević Biljana 152, 153; Đokić Dejan 152, 153; Momčilović Dragan 152; Pavić Dragan 152, 153.
20. OŠ »Vuk Karadžić«, Vranje, (Đorđević Miodrag): Stojmenović Dušica 152, 153; Marković Dragan 152.
21. OŠ »Aca Aleksić«, Aleksandrovac, (Bekrić Anka): Petrović Jovica 152, 153, 154; Pavlović Dejan 158.
22. OŠ »Branko Radičević«, N. Beograd, (Radić Vidosava): Strugar Sonja 155, 156, 157, 158; Burzić Tatjana 152.
23. OŠ »Milinko Kušić«, Bukovica kod Ivanjice, (Bogićević Zorica): Luković Dragan 158; Lazović Duško 158.
24. OŠ »29 novembar«, Novi Šeher, (Mekić Aljo): Zlatić Slavica 152, 153; Jurišić Stipo 152, 153.
25. OŠ »Jovan Popović«, Beograd, (Lijaković Milenka): Vujičić Boeis 152, 153; Stević Igor 157, 158.
26. OŠ »Josip Broz—Tito«, N. Beograd, (Stevanović Vitor): Iričanin Bratislav 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 160, 162, 163, 165, 166, 167.
27. OŠ »Đura Jakšić«, Ćuprija, (Milovanović Aco): Stojanović Zoran 152, 153, 154; Radivojević Predrag 152.
28. OŠ »Stevan Čolović«, Arilje, (Vuković Mošo): Tomić Gordana 152; Novitović Olgica 152,

29. OŠ »Igmanski Marš«, Vogošća, (Habul Sadik): Košaeac Ranka 161; Simpraga Leonida 161.
3y. OŠ »Kosta Stamenković«, Leskovac, (Milenković Boško): Marković Gvozden 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158; Stojković Bratislav 152, 154.
31. OŠ »I kongres USAOJ-a«, Bihać, (Dedić Husnija): Savin Zoran 152, 153, 154, 157.
32. OŠ »Vuk Karadžić«, Čačak: Vukomanović Zorica 152, 153, 154, 155, 157.
33. OŠ »Vuk Karadžić«, Ćuprija: Đorđević Slađana 152, 153, 154.
34. OŠ »25 maj«, Pleš kod Aleksandrovca, (Nikolić Branislav): Stojković Ljiljana 152, 153, 157, 158.
35. OŠ »Svetozar Miletić«, Zemun, (Jovanović Branislava): Obradović Dragan 152, 153, 154.
36. OŠ »Mirko Filipović«, Bijeljina, (Miljanović Nadežda): Atić Almiz 160, 161.
37. OŠ »Jovan Popović«, Kragujevac: Vranić Mira 152, 153, 154.
38. OŠ »Živadin Apostolović«, Trstenik, (Savić Živko): Vučković Slađana 152, 153, 154, 158.
154, 158.
39. OŠ »Moša Pijade«, 37223 Razbojna, (Dudović Danica): Savić Zlatan 152, 153, 154.
40. OŠ »Branko Perić«, Rudna Glava, (Aleksić Svetlana): Vladić Jovan 152, 153, 154.
41. OŠ »Ćele Kula«, Niš, (Prvulović Jasmina): Cvetković Nataša 152, 153, 154, 158; Nikolić Zorica 158.
42. OŠ »Radoje Domanović«, Manojlovac, Stojković Aleksandar): Mitić Nenad 152, 153, 154.
43. OŠ »Milica Vučetić«, Trnava kod Čačka, (Smiljanić Slobodan): Marinković Milan 152, 157.
44. OŠ »22 decembar«, Surčin, (Zdjelarić Dragica): Čkonjević Dragana 152, 158; Jovanović Vera 152.
45. OŠ »Predrag Kostić«, Pirot, (Nikolić Petar): Danković Bratislav 162, 163.
46. OŠ »Vuk Karadžić«, Surčin, (Crnjanski Ljubica): Milovanović Snežana 152, 153.
47. OŠ »Radovan Kovačević-Maksim«, Lebane, (Mitrović Svetozar): Stevanović Ljiljana 159, 160.
48. OŠ »Dušan Jerković«, Titovo Užice, (Jekić Milun): Srndaćević Nenad 152, 154.
49. OŠ »Boris Kidrič«, Gornji Matevac, (Ristić Vukadin): Krstić Boban 153, 154.
50. OŠ »Stevan Joksimović«, Rogačica, (Pavićević Vidan): Leontijević Dragica 152, 153.
51. OŠ »Sedam partizana«, Knić, (Stepanović Ljubica): Paunvoić Milka 152, 154.
52. OŠ »Branko Radičević«, Bunar, Simić Jasmina 158.
53. OŠ »Franjo Rezač«, Tuzla, (Jovanović Jadranka): Spasojević Romana 152, 153.
54. OŠ »Branko Miljković«, Niš, (Živković Olivera): Vulić Ivan 152, 154.
55. OŠ »Jovan Cvijić«, Loznica, (Pejak): Mitrović Vesna 152.
56. OŠ »9 maj«, Šabačka Kamenica, (Petrović Radmila): Trifunović Zoran 152.
57. OŠ »22 decembar«, Alekinac, (Mitić Slobodan): Branković Goran 152, 155, 158.
58. OŠ »Jovan Šerbanov «, Krepoljin, (Milovanović Bratislav): Živanović Bojan 152.
59. OŠ »14 oktobar«, Kraljevo, (Radulović Jelena): Aleksić Goran 165, 166.
60. OŠ »Miroslav Jovanović-Cerovac«, Vrčin, (Baričević Milan): Vagić Dragan 161; Andrić Goran 158.
61. OŠ »Milutin Todorović«, Kragujevac, (Kržanović Radmila): Aksić Ivica 152.
62. OŠ »Sava Kerković«, Ljig, (Stojanov Branko): Janković Dragan 157, 158.
63. OŠ »Branko Radičević«, Pančevo, (Mirčetić Dušan): Veselinović Saša 157.
64. OŠ »Stevan Sinđelić«, Beograd: Radoman Valentina 152.
65. OŠ »Jovan Popović«, Beograd, (Ljiljaković Milenka): Budanović Branko 152.
66. OŠ »Milenko Brković-Crni«, Zaječar, (Mirov Negosava): Aranđelović Ivana 152.
67. OŠ »Ivo Lola Ribar«, Raška, (Kostić Milijana) Pantović Dejan 158.

(Nastavak u sledećem broju)

»Mladi fizičar« objavljuje sadržaje prethodna četiri broja časopisa. Na ovaj način Uređivački odbor želi da izađe u susret onima čitaocima koji su propustili pretplatu i eventualno su zainteresovani za neki od ranije objavljenih tekstova. Porudžbine prethodnih brojeva 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 01-638-263.

SADRŽAJ »MLADOG FIZIČARA«, BROJ 15

D. Koledin: Maksvel
Lj. Ristovski: Maksvelove jednačine elektrodinamike
J. Dojčilović: Magnetno polje Zemlje
M. Dimitrijević: Šta se dogodilo u fizici tokom poslednje decenije
D. Popović: O električnim i magnetnim osobinama živih sistema
B. Radojević: VF telefonija
M. Popović: O razvoju naučnog metoda
R. Mladenović: Beleška o Epikuru
Lj. Ristovski: Svetozar Kovačević
T. Petrović: Zanimljivi ogledi iz fizike
Kao i u ostalim brojevima, objavljen je veći broj zadataka, zadataka — pitanja i testova, uz rešenje zadataka iz prošlog broja.

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 reflekcija
M. Bralović: Promena unutašnje 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 za učenike osnovne škole, objavlejni 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
Zadaci
Rešenja zadataka