OBAVEŠTENJE UREDNIŠTVA

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

PRILOZI KOJE NAM ŠALJETE, osim rešenja zadataka, treba da budu otkucani sa dvostrukim proredom na hartiji formata A4 i ne treba da budu duži od pet kucanih strana. Crteži moraju biti izrađeni tušem na posebnoj hartiji. Na odvojenom listu treba ispisati ime i prezime, zvanje i zanimanje, adresu i broj žiro računa, odnosno potpisanu izjavu da se ne poseduje žiro račun.

RUKOPISI SE NE VRAĆAJU. Uređivački odbor zadržava pravo da ukopise rediguje i objavljuje redom koji ne zavisi od reda prispeća.

MLADI FIZIČAR izlazi četiri puta godišnje, a **GODIŠNJA PRETPLATA ZA SVA ČETIRI BROJA IZNOSI 140 DINARA**. Možete da postanete pretplatnici kada to poželite. Potrebno je samo da nas običnim pismom obavestite o broju kompleta na koje se pretplaćujete, da napišete svoju adresu i da istovremeno izvršite uplatu potrebne sume novca na žiro račun Društva fizičara Srbije,

60806-678-77766

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

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

MOŽETE NARUČITI I KOMPLETE RANIJIH GODIŠTA.

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

Studentski trg 14/III p.p. 550., 11001 Beograd.
Sva ostala obaveštenja na telefon 011-638-919.

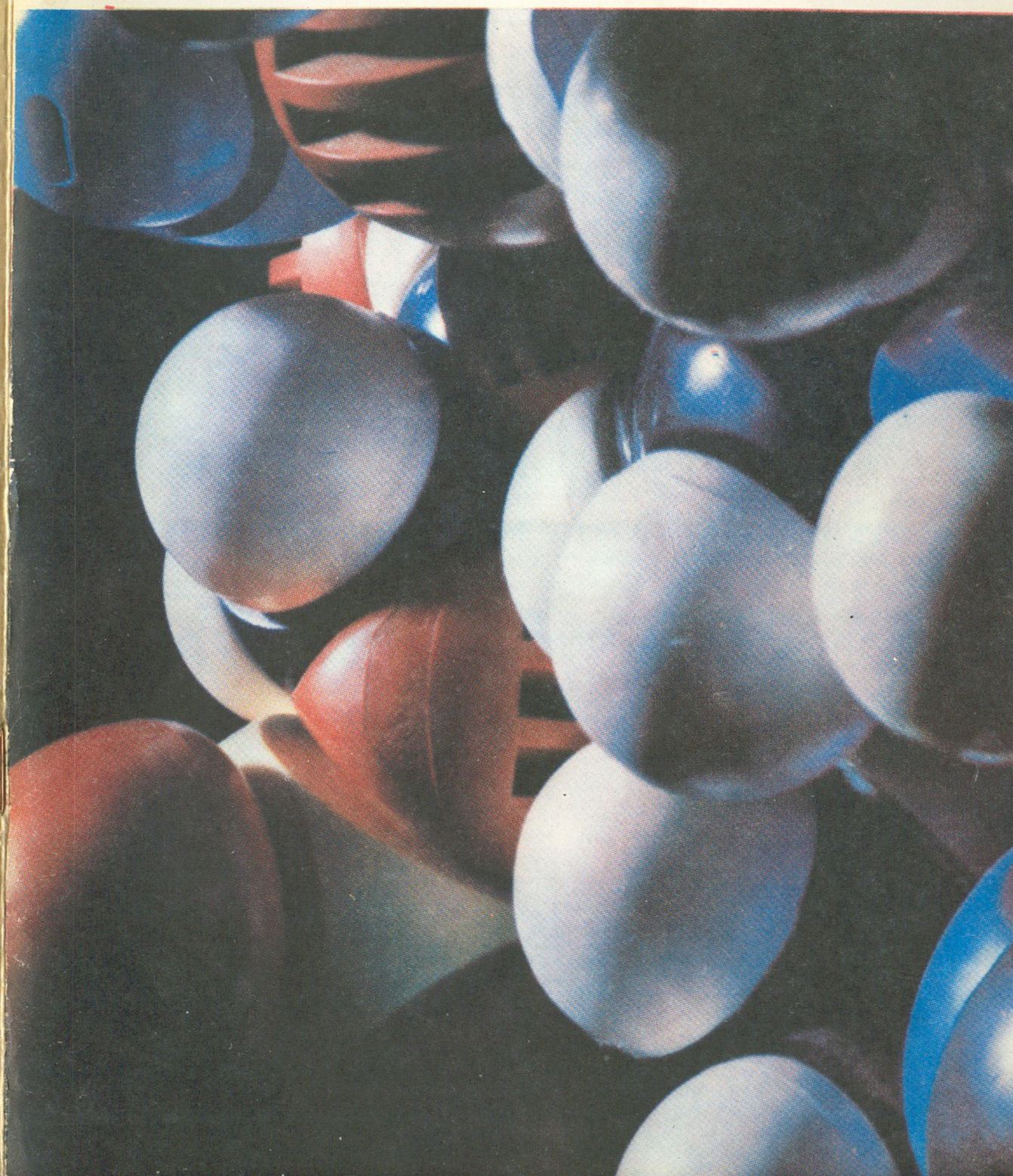
Cena 35 DIN

YU ISSN 0351 - 5575

mladi fizičar

28
82/83

časopis iz fizike za učenike



DRUŠTVO FIZIČARA SRBIJE
SERBIAN PHYSICAL SOCIETY

MLADI FIZIČAR
časopis
za one koji uče
i vole fiziku
godina VII
broj 28
(1982/83)

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

IZDAJE
DRUŠTVO FIZIČARA SRBIJE
Beograd
Studentski trg 14/*III*
p.p. 550

glavni i odgovorni urednik
Dušan KOLEDIN

urednici
Dragana POPOVIĆ
Jablan DOJČILOVIĆ

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

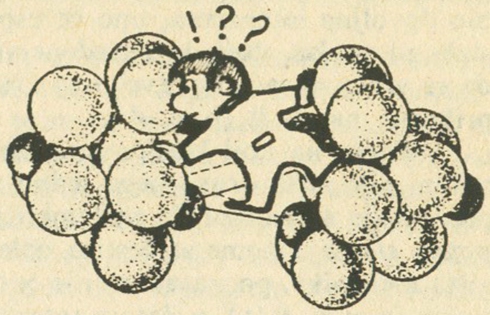
SADRŽAJ

Lj. i N. Nedeljković: Evolucija kvantnog stanja 1
M. Jurić: Egzotični atom 5
M. Livada: Čudesni blizanci 7
„Montažā" elektriciteta 10
M. Dimitrijević: Tokamak 12
M. Sekulić: O gubicima svetlosti na odbijanje 15
I. Vince: Elektromagnetno zračenje Sunca 18
T. Senćanski: Paskalov ogled 22
Konkursni zadaci Z241
Nagradni zadatak Z245
Zadaci pitanja Z245
Test Z246
Rešenja zadataka Z251
Spisak rešavača 31

Ilustracije: *N. Ubović* i *S. Milić*

»**Mladi fizičar**« izlazi od školske 1976/77. godine. Časopis su uređivali: **Đorđe Basarić** i **Slobodan Žegarac** (1976/77), **Dušan Ristanović** i **Draško Grujić** (1977/78) i **Ljubo Ristovski** i **Dušan Koledin** (1978/79—1981/82).

ŠTA JE...



EVOLUCIJA KVANTNOG STANJA

LJUBIŠA I NATAŠA NEDELJKOVIĆ (Beograd)

»U strogoj formulaciji principa uzročnosti — kad znamo tačno sadašnjost, možemo proračunati budućnost — nije pogrešan zaključak, nego pretpostavka.«

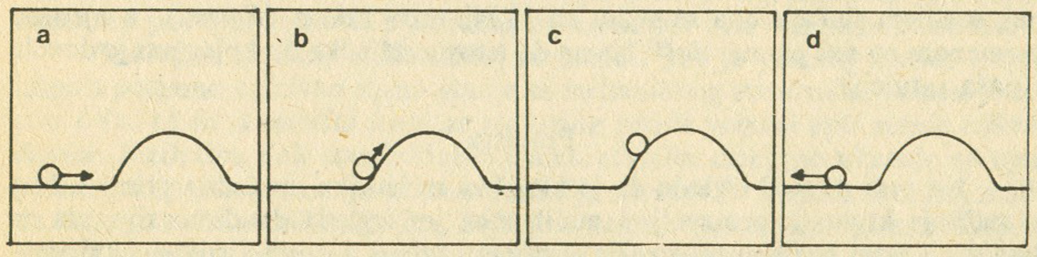
Hajzenberg

Klasična vizija

Svest o vremenu je u nama duboko prisutna, ali ga pritom doživljavamo na različite načine. Najelementarniji *pojam vremena*, koji je neposredno izrastao iz analize naših doživljaja, naglašava ono što bi se moglo označiti kao čisto, kontinualno, jednoliko i neuznemireno trajanje.

Upravo ovakvo shvatanje vremena leži u osnovi oblasti fizike koja se bavi izučavanjem kretanja tela svakodnevnog iskustva i koja se naziva *klasičnom mehanikom*. Da bismo protumačili kako se u njoj izučava kretanje tela, poslužićemo se jednostavnim primerom i pokušati da izvedemo neke opštije zaključke.

Naime, razmotrićemo kretanje tela po glatkoj podlozi koja na jednom delu ima neku vrstu prepreke, brega (sl. 1.a). Pretpostavićemo da smo u nekom »početnom« trenutku pokrenuli telo u pravcu prepreke. Osnovno pitanje koje se sa stanovišta proticanja vremena postavlja je: šta će se desiti sa takvim telom? Nema sumnje da će globalni odgovor dati naša intuicija:



Slika 1.

telo će početi da se kreće prema prepreci. Nadalje, ukoliko je početni impuls bio dovoljno intenzivan, ono će uspeti da pređe prepreku, dok će u slučaju slabog impulsa, doći do određene visine brega, zaustaviti se, a zatim početi da se vraća nazad. Upravo ovaj drugi tok događaja će nas zanimati i on je prikazan na sl. 1., b, c, d.

Način na koji klasična mehanika prilazi analizi problema kretanja u suštini nije ništa drugo nego jedno »pročišćavanje« naše prirodne intuicije i prevođenje na simbolički matematički jezik. Naime, u osnovi tog jezika leži *pojam stanja* u kome se čestica nalazi u datom trenutku t, $S(t)$. Sa stanovišta mehanike, poznavati stanje čestice, znači poznavati njen položaj, $X(t)$, i njen impuls, $P(t)$, u datom trenutku. Stanje se, dakle, može prikazati kao skup ovih karakteristika, $S(t)=\{X(t), P(t)\}$. Ako sa t_0 označimo neki »početni« trenutak, onda ćemi imati odgovarajuće početno stanje $S(t_0)=\{X(t_0), P(t_0)\}$. Otuda se sama činjenica kretanje tela manifestuje kao promena tog početnog stanja, tj. kao *evolucija (početnog) stanja*. Dakle, kontinualni tok vremena »nosi« kontinualnu promenu stanja.

Konkretan način na koji početno stanje čestice evoluira zavisi od *sklopa fizičkih okolnosti u kojima se čestica nalazi*. U primeru to je činjenica da je čestica u kretanju i činjenica da postoji prepreka određenog oblika. Fizička veličina koja karakteriše kretanje čestice naziva se *kinetičkom energijom*, E_{kin}, dok se postojanje prepreke manifestuje kao pojavljivanje određene *potencijalne energije* čestice, E_{pot}. Dakle, čitav sklop okolnosti u kojima se čestica nalazi može se rezimirati u novoj veličini koja je zbir ove dve i naziva se *Hamiltonovom funkcijom*, H. Znači, $H=E_{kin}+E_{pot}$.

Stroga zakonitost koju smo u iskustvu primetili pri mehaničkom kretanju tela i na kojoj smo školovali našu intuiciju, mora, dakle, biti u vezi sa nekim simboličkim postupcima pomoću kojih se iz datog početnog stanja $S(t_0)$ i datih fizičkih uslova (tj. iz datog H), izračunava, a time i predviđa buduće stanje $S(t)$. Drugim rečima, evolucija pri kojoj $S(t_0)$ prelazi u $S(t)$ mora biti neka vrsta »množenja« početnog stanja $S(t_0)$ nekom veličinom koja karakteriše samu evoluciju stanja od trenutka t_0 do trenutka t, i koja, kao što smo videli, mora zavisiti i od H. Označićemo takvu karakteristiku sa $U(H, t_0, t)$ i nazvati je *evolucionim operatorom*. Tako ćemo imati da je $S(t)=U(H, t_0, t)\,S(t_0)$.

Ovo je fundamentalna relacija klasične mehanike i naziva se *evolucionom jednačinom stanja* (ili jednačinom kretanja). Ona je matematički zapis odavno primećene okolnosti da živimo u fizičkom svetu u kome se može predviđati budućnost mehaničkih kretanja koju nam donosi kontinualni vremenski tok. Njene konkretne matematičke forme mogu biti različite i u najprostijem slučaju ona se svodi na II Njutnov zakon ($F=ma$), a njenom primenom na naš primer došli bismo do istog zaključka do kojeg nas je dovela i naša intuicija.

Problem

Na prvi pogled izgleda da je klasičnu mehaniku mogućno primeniti na tumačenje kretanja proizvoljno malih tela, jer izgleda da dimenzije tela ne igraju nikakvu baznu ulogu. To je zaista i tačno u dosta širokim okvirima. Međutim, ispostavlja se da tako nešto nije mogućno u slučaju kada je reč

o *mikročesticama* (molekulima, atomima, elektronima, itd.) od kojih su sama makrotela sačinjena.

Da bismo se jasnije suočili sa ovom neobičnom okolnošću, izabraćemo jednu dosta tipičnu pojavu iz sveta mikročestica koja se naziva *α-raspad* i koja je na neki način analogna našem primeru sa nailaskom makrotela na prepreku. Reč je o pojavi da neka atomska jezgra mogu iz svoje unutrašnjosti da izbacuju tzv. α-česticu, sastavljenu od dva protona i dva neutrona

Usled prisustva vrlo jakih, tzv. nuklearnih sila, neutroni i protoni u atomu se, iako u nekoj vrsti vrlo dinamičnog kretanja, drže uvek u obliku jedne relativno kompaktne strukture koja se naziva jezgrom atoma. Naime, postoji neka vrsta *zarobljavanja* ovih čestica unutar jezgra, a samim tim i grupe koja se naziva α-česticom. Drugim rečima, površina jezgra pojavljuje se kao neka vrsta prepreke, neka vrsta »potencijalnog« bedema, u odnosu na raspoloživu energiju kretanja α-čestice unutar jezgra. Prema tome, ako se stanje α-čestice i njegova vremenska evolucija podvrgavaju opisu datom klasičnom mehanikom, onda nema nikakve mogućnosti da čestica takvu prepreku pređe. Međutim, činjenica da se α-raspad zaista događa u mikrosvetu ukazuje da *stanje α-čestice ne evoluira po zakonu klasične mehanike*.

Otuda je za razumevanje ove, a i ogromnog broja sličnih pojava mikrosveta, neophodno izvršiti radikalnu modifikaciju većine osnovnih elemenata od kojih je izgrađena klasična mehanika. Takav izmenjen tip mehanike, primenljiv u mikrosvetu, naziva se *kvantnom mehanikom*.

Metod: generalisani vektor

Prva okolnost sa kojom se suočavamo u kvantnoj mehanici je da se ona koristi istim pojmom kontinualnog i neuznemirenog vremena koji se nalazi i u osnovi klasične mehanike. Ako se ima u vidu istaknuta radikalnost izmene mehanike pri silasku u mikrosvet, ta srećna okolnost je pre čudna, nego što je obična.

Jer, za razliku od pojma vremena, *pojam stanja* je u kvantnoj mehanici pretrpeo korenitu izmenu. Naime, radom čitave generacije fizičara, došlo se do zaključka da se stanje u kvantnoj mehanici ne može više shvatiti kao skup koordinata i impulsa, nego kao tzv. *generalisani vektor*. Reč je o opštem matematičkom pojmu koji se na više različitih načina može prevesti na jezik konkretnih matematičkih objekata. Jedan od najčešćih načina njegovog prikazivanja jeste *funkcija* koja zavisi od prostornih koordinata i vremena. Uobičajeno je da se ova funkcija označava grčkim slovom »*psi*«, ψ. Dakle, kvantno stanje čestice u nekom trenutku t može biti zadato funkcijom $\psi=\psi(x, t)$. Ona se često naziva i *talasnom funkcijom*, jer se na sličan način opisuje visina talasa na površini tečnosti u određenom trenutku i na određenom mestu.

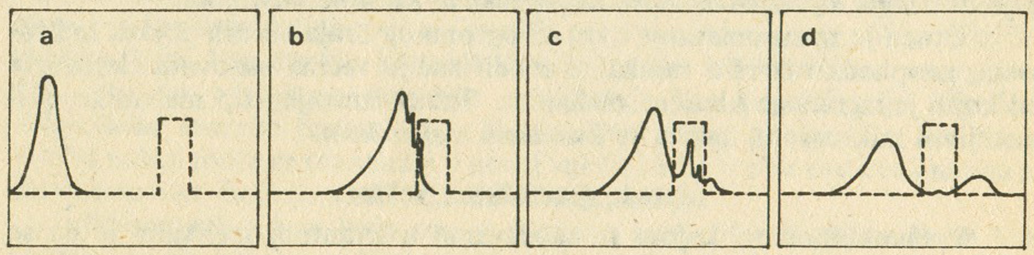
Analogno situaciji u klasičnoj mehanici, gde je položaj čestice i njen impuls potpuno opisivao njeno stanje sa mehaničkog stanovišta, *talasna funkcija $\psi(x, t)$ sa stanovišta kvantne mehanike sadrži potpuni opis stanja mikročestice*. Međutim, dok stanje klasične makročestice direktno ukazuje na njen položaj, takvu informaciju talasna funkcija ne sadrži. Najviše što ona može da kaže jeste da se mikročestica, koja je u nekom trenutku t opisana stanjem $\psi(x, t)$, može u principu naći u bilo kom delu prostora, ali tako da je *najverovatnije da se nađe tamo gde je vrednost talasne funkcije najveća*.

Ipak, samo sa takvim značenjem pojma kvantnog stanja moramo postaviti pitanje o njegovoj promeni u toku vremena. Ispostavlja se da se na ovom nivou pojavljuje izvesna globalna sličnost sa evolucijom klasičnog stanja. Naime, ako sada u potpunoj analogiji sa uvođenjem evolucionog operatora klasične mehanike, uvedemo *kvantni evolucioni operator* i označimo ga sa $U(H, t_0, t)$, dobićemo jednačinu $\psi(x, t) = U(H, t_0, t)\ \psi(x, t_0)$, koja, takođe, na potpuno jednoznačan način pokazuje kako se početno stanje menja s vremenom. Ona se naziva *evolucionom jednačinom kvantnog stanja.* Njene konkretne matematičke forme mogu biti različite, a najčešće upotrebljavani oblik poznat je pod imenom *Šredingerove jednačine.*

Rešenje

Možemo se vratiti α-raspadu i protumačiti ga jezikom evolucije kvantnog stanja.

U tom smislu uzećemo da je početno stanje α-čestice opisano talasnom funkcijom čiji je oblik na sl. 2.a prikazan punom linijom. Takav oblik, koji



Slika 2.

se često naziva i *talasnim paketom*, ukazuje da je α-čestica relativno strogo lokalizovana unutar jezgra. Površina jezgra, prema kojoj se iz njegove unutrašnjosti kreće α-čestica, predstavlja neku vrstu prepreke. Ona je na sl. 2 pojednostavljeno prikazana isprekidanom stepenastom linijom. Suština objašnjenja α-raspada se tako svodi na ispitivanje kako se navedeno početno stanje, prema Šredingerovoj jednačini, menja u vremenu.

Skica tih rešenja za određene karakteristične sukcesivne vremenske trenutke, koji slede iza početnog trenutka t_0, prikazana je na sl. 2. b, c, d. Iz njih uočavamo da se talasni paket kreće u pravcu prepreke,sudarajući se sa njom doživljava jak »potres«, posle čega se cepa na dva dela od kojih se jedan vraća prema unutrašnjosti jezgra, a drugi *udaljava* od njegove površine. Drugim rečima, obzirom da talasna funkcija ukazuje na verovatnoću nalaženja čestice, na osnovu Šredingerove jednačine zaključujemo da *postoji* mogućnost izletanja α-čestice iz jezgra. Sa izvesnom dozom šarma obično se kaže da kvantna čestica može »tunelovati« prepreku, pa se upravo opisana osobina evolucije kvantnog stanja naziva *tunelskim efektom.* Prema tome, za razliku od klasične mehanike, kvantna mehanika uspeva da protumači mogućnost postojanja α-raspada, svodeći ga na tunelski efekat.

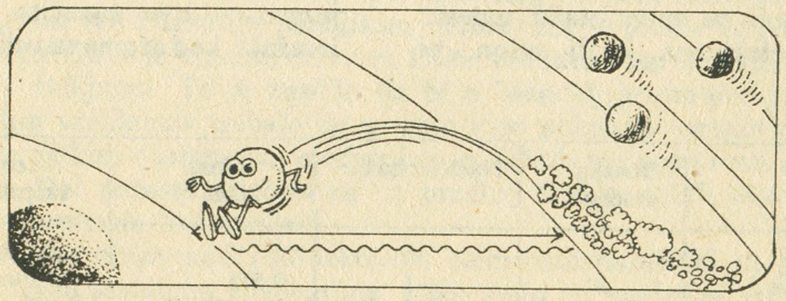
Naravno, moć kvantne mehanike se ne iscrpljuje samo u navedenom primeru.

EGZOTIČNI ATOM

MIRA JURIĆ (Beograd)

Atom je sagrađen od *jezgra* i *elektronskog omotača*, pri čemu pozitivno naelektrisano jezgro elektromagnetnim silama drži na okupu negativno naelrktrisane elektrone omotača. Samo jezgro je sagrađeno od još manjih delića — *nukleona.* Nukleon je zajedničko ime za *proton* (*p*) i *neutron* (*n*). Naelektrisanje jezgra iznosi Ze, gde je Z broj protona u jezgru (ujedno i atomski broj koji pokazuje mesto atoma u Mendeljejevoj tablici), a e je elementarno naelektrisanje. U električnom pogledu atom je neurtalan sistem, jer mu se u omotaču nalazi Z negativno naelektrisanih elektrona.

Ako se u atomu jedan elektron iz omotača zameni nekom drugom negativno naelektrisanom česticom, ili ako se u jezgru jedan nukleon zameni nekim drugim barionom (vidi MF 19/81), dobija se tzv. *egzotični atom.* Da bi postojanje egzotičnog atoma bilo mogućno detektovati, čestice »uljezi« treba da



imaju dovoljno dugo *vreme života.* U tabeli I date su neke od čestica koje mogu da grade egzotične atome, kao i čestice koje ulaze u sastav običnih atoma. Pri tome se elektron i mion nazivaju *leptonima*, a proton, neutron, čestice antiproton, sigma hiperon i lambda hiperon *barionima* (klasifikacije je, kao što vidite, izvršena prema masi čestica).

Čestice međusobno mogu delovati *gravitacionom, elektromagnetnom, jakom* i *slabom silom.* Gravitaciona i elektromagnetna interakcija potiču od sila dugog dometa i sa njima smo se već upoznali u klasičnoj fizici. Jaka i slaba su sile kratkog dometa i vladaju između čestica u mikrosvetu. Ako intenzitet jake interakcije uzmemo za jedinicu, onda je jačina elektromagnetne interakcije 10^{-2}, slabe 10^{-13}, a gravitacione svega 10^{-38}. Nukleone u jezgru veže jaka sila, a elektrone za jezgro elektromagnetna sila. Kako su intenziteti ovih sila mnogo veći od intenziteta slabe ili gravitacione sile, njihov uticaj se obično zanemaruje pri razmatranju atoma.

Pogledajmo pobliže čestice prikazane u tabeli I. Prva od njih je foton: on i sve ostale naelektrisane učestvuju u elektromagentnoj interakciji. Čestice koje učestvuju u jakoj interakciji nazivaju se *hadroni*, a dele se na *mezone* i *barione.* Proton i neutron su barioni — oni povezani jakim silama grade atomsko jezgro. Čestice koje ne učestvuju

u jakoj, već samo u slaboj i ostalim interakcijama nazivaju se *leptoni*. Elektron koji gradi atomski omotač spada među leptone. Delovanje slabih sila uzrok je raspada čestica u jezgru: ove sile su odgovorne, na primer, za raspad neutrona u proton po shemi:

$$n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e.$$

Među produktima raspada nalaze se u ovom slučaju i dva leptona: elektron i neutrino (tipa elektrona).

Među negativno naelektrisanim česticama — »kandidatima« koji mogu da stvore egzotični atom, jeste i teški lepton — mion. Njegova masa je oko 200 puta veća od mase elektrona, a vreme života reda 10^{-6} sekundi. Ostali »kandidati« za egzotične atome su hadroni (mezoni i barioni), sa masom znatno većom od mase leptona: to su uglavnom nestabilne čestice, sa vremenom života reda 10^{-8} — 10^{-10} sekundi. Ovako velike razlike u masama između čestica »uljeza« i elektrona u mnogome olakšavaju izučavanje egzotičnih atoma.

Do sada su ispitivani egzotični atomi koji su u omotaču umesto jednog elektrona imali mion, pi mezon, ka mezon, sigma hiperon i antiproton, ili u jezgru — lamdba hiperon, koji se jakim nuklearnim silama vezuje za protone i neutrone jezgra i stvara tzv. *hiperjezgro*.

Egzotični atom nastaje tako što se čestica »uljez« kao projektil ubacuje u atom, pri čemu u interakciji sa česticama koje sreće na putu gubi energiju i biva zahvaćena u atom. Kao i elektron u običnom atomu, tako će i čestica »uljez« u egzotičnom atomu imati određena energetska stanja sa diskretnim nivoima energije. Osnovno stanje čestice »uljeza« biće određeno odnosom:

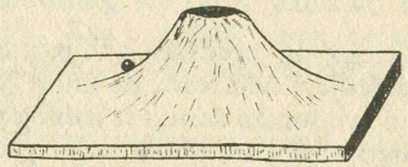
$$r_1 = (M_e/M_u)\ (r_0/Z),$$

gde su M_e i M_u redukovane mase elektrona i čestice »uljeza«, respektivno, Z je atomski broj, a $r_0 = 5 \times 10^{11}$ m. Odnos M_e/M_u iznosi 10^2—10^3 (zavisno od mase čestica »uljeza«, što znači da je srednje rastojanje čestice »uljeza« u osnovnom stanju oko 10^2—10^3 puta manje od srednjeg rastojanja elektrona od jezgra u osnovnom stanju. Kako je radijus jezgra reda veličine 10^{15}—10^{14} m, to čestice »uljezi« u svom osnovnom stanju ulaze u jezgro — ovo naročito dolazi do izražaja kod atoma sa velikim atomskim brojem. Kako se čestica »uljez« približava jezgru, elektromagnetna interakcija između nje i jezgra postaje intenzivnija, pa dolaze do izražaja neke specifične pojave na kojima se nećemo zadržavati.

TABELA I

Naziv čestice	Oznaka čestice	Naelektrisanje	Masa (MeV)	Vreme raspada (s)
foton	γ	0	0	stabilan
elektron	e^-	—1	0,511	stabilan
mion	μ^-	—1	105,659	$2{,}199 \times 10^{-6}$
pi mezon	π^-	—1	139,569	$2{,}603 \times 10^{-8}$
ka mezon	K^-	—1	493,707	$1{,}237 \times 10^{-8}$
proton	p	1	938,2796	stabilan
antiproton	$\bar{p}$	—1	,,	,,
neutron	n	0	939,5731	918
sigma hiperon	Σ^-	—1	1197,35	$1{,}482 \times 10^{-10}$
lambda minus hiperon	λ^-	—1	1672,2	$1{,}37 \times 10^{-10}$

S tim u vezi napomenimo samo da je jedna od najpogodnijih čestica »uljeza« mion, jer on kao lepton ne interreaguje jako sa jezgrom, već samo elektromagnetski, čak i u domenu nuklearnih sila, odnosno sve dok se ne raspadne, ili ne ostvari slabu interakciju sa nukleonima u jezgru. U tom domenu u elektromagnetnoj interakciji dolazi do izražaja raspored naelektrisanja u jezgru, ustvari, raspored protona, kao i efekti kvantne elektrodinamike. Tako nam spektri tzv. mionskog atoma omogućavaju proučavanje dimenzija jezgra, rasporeda protona u jezgru i detalja elektromagnetnih interakcija među česticama u jakim poljima. S druge strane, spektri hadronskog egzotičnog atoma omogućavaju da se ispita radijus jezgra, rasprostranjenost protona i neutrona na površini jezgra i njihova jaka interakcija sa česticom »uljezom«.



ČUDESNI BLIZANCI

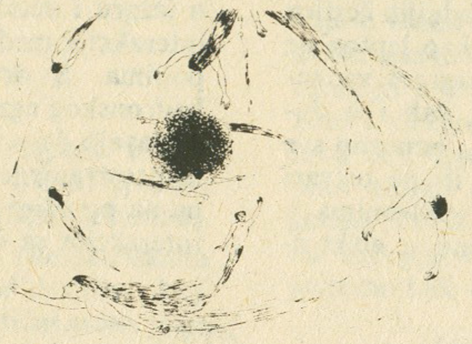
MIRJANA LIVADA (Beograd)

Određujući odnos mase jona helijuma i njegovog naelektrisanja u električnom i magnetnom polju, engleski fizičar Dž. Dž. Tomson, pronalazač elektrona, prvi je, 1913. godine, eksperimentalno dokazao postojanje *izotopa*. Ovu pojavu naučnici su zapazili i ranije, pri izučavanju radioaktivnih procesa: neki elementi nastali u toku radioaktivnog raspada imali su iste osobine sa nekim već poznatim hemijskim elementima — jedina razlika bila je u masi atoma. Tako je jonium, otkriven 1906., bio identičan torijumu, a mezotorijum — radijumu. To je značilo da bi u Mendeljejevom periodnom sistemu u istim »ćelijama« trebalo da se nalazi po nekoliko »vrsta« elemenata sa istim hemijskim osobinama, međusobno različitih samo po masi i fizičkim svojstvima. Ovi »*atomi blizanci*« su na predlog Sodija dobili naziv izotopi (»*oni koji zauzimaju isto mesto*«).

Otkrivši izotope kod radioaktivnih elemenata, naučnici su počeli da ih traže i među stabilnim elementima. Ispostavilo se, međutim, da registrovanje izotopa uobičajenim hemijskim metodima nije moguće — samo ih je, na osnovu razlike u masi, bilo moguće izdvojiti u jakom električnom i magnetnom polju, u specijalnim instrumentima — *masenim spektrografima*. Samo šest godina posle Tomsonovog eksperimenta, engleski fizičar Aston razradio je magnetni separator koji je omogućavao maseno-spektrografska ispitivanja.

Pomoću novog instrumenta prvo je ispitivan neon — otkriveno je da u prirodi postoje dva izotopa neona, Ne^{20} i Ne^{22}, rasprostranjeni u odnosu

91% : 9%. Kasnije je otkriven i treći »blizanac«, Ne^{21} sa rasprostranjenošću od oko 0,26%. Otkriveni su i izotopi hlora, žive i drugih elemenata. Skoro svi hemijski elementi predstavljaju smešu svojih izotopa u određenim odnosima: kiseonik, na primer, ima tri izotopa O^{16}(99,76%), O^{17}(0,2%) i O^{18}(0,04%); azot je smeša dva izotopa N^{14} (99,635%) i N^{15} (0,365%); ugljenik ima pet izotopa, od kojih se dva nalaze u prirodi (C^{12} i C^{14} — rasprostranjenost 98,9% i 1,1%), a tri se dobijaju veštačkim putem.



Izotopi jednog elementa predstavljaju jezgra atoma sa istim brojem protona, ali različitim brojem neutrona, pa im se zato i mase razlikuju: tako se jezgro atoma običnog vodonika sastoji iz jednog protona, dok jezgra atoma teških vodonika, deuterijuma i tricijuma, osim protona, sadrže i jedan, odnosno dva neutrona. Pored radioaktivnih, kako smo već rekli, postoje i stabilni izotopi koji se ne raspadaju, ne emituju nikakvo zračenje, a rasprostranjeni su u prirodi u mnogo manjim količinama.

Do danas je otkriveno više od 250 stabilnih, 50 prirodnih i 1000 veštačkih radioaktivnih izotopa. Često se dešavalo da naučnici prvo otkriju neki veštački radioaktivni izotop, a kasnije ga nađu i u prirodi. Tako je u rudnicima u Kaliforniji (SAD) nedavno dobijena ruda koja sadrži 8×10^{-5} grama plutonijuma —244; izotopi ovog elementa dobijani su do tada isključivo veštačkim putem.

Nevidljivi špijuni

Metod »*markiranih atoma*« za izučavanje hemijskih procesa u živim organizmima prvi su 1915. godine predložili D. Heveši i F. Pane. Ubrzo potom, 1923. godine, Heveši je ustanovio da biljke usvajaju radioaktivno olovo iz zemlje i nagomilavaju ga u svojim tkivima. On je prvi otkrio i veliku pokretljivost radioaktivnog fosfora u organima viših biljaka.

Odmah se postavilo pitanje koji se izotopi mogu bolje iskoristiti u naučnim istraživanjima — radioaktivni ili stabilni?

Osnovna prednost stabilnih izotopa je njihova postojanost i odsustvo jonizujućeg zračenja koje može da utiče na odvijanje procesa koje ispitujemo. Postojanost stabilnih izotopa omogućava analizu ispitivanog objekta ili procesa u bilo kom vremenskom periodu, dok uzorak sa radioaktivnim izotopima, koji imaju kratko vreme poluraspada, mora biti brzo obrađen. Izdvajanje stabilnih izotopa, međutim, tehnički je složeno i zahteva glomaznu aparaturu za masenu spektrografiju.

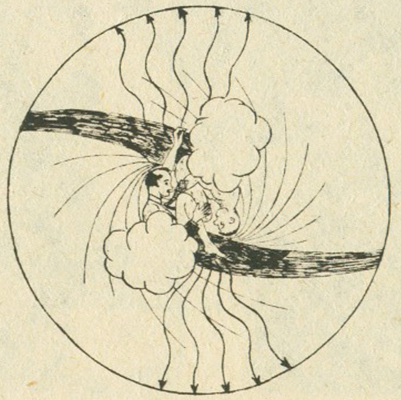
Prednosti radioaktivnih izotopa su visoka osetljivost i jednostavnost aparature za registraciju. Zbog toga se danas radioaktivni izotopi koriste u mnogo većoj meri nego stabilni. Oni se danas koriste u minimalnim količinama u naučnim i primenjenim istraživanjima, čime se izbegava uticaj jonizujućeg zračenja na ispitivani objekat — ovo je od posebnog značaja u biologiji i medicini (o primeni radioaktivnih izotopa u medicini vidi MF 12/79).

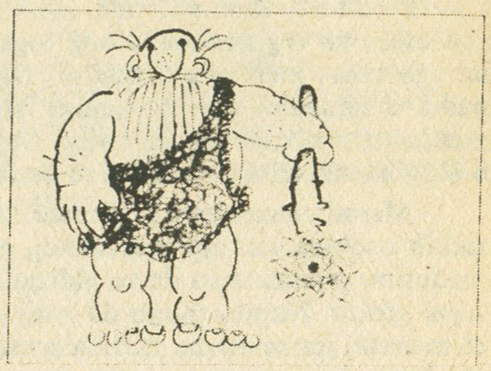
Metod »markiranih atoma« zasniva se na identičnosti hemijskih i fizičkih osobina izotopa određenog elementa. Podrobnija ispitivanja izotopa, međutim, pokazala su da se »blizanci« ipak razlikuju, tj. da postoji tzv. *izotopni efekat*. Napomenimo da ovaj efekat dolazi do izražaja samo kod lakih elemenata, jer relativna razlika masa izotopa je manja, ukoliko je veći atomski broj elementa.

Jedan od čestih i jednostavnih načina primene metode markiranih atoma je *izotopno razblaženje*: zamislimo smešu u kojoj treba odrediti količinu jedne komponente i pretpostavimo da to nije mogućno uraditi primenom uobičajene hemijske analize. Ako se smeši doda izvesna količina markirane supstancije, ona će se posle izvesnog vremena razblažiti sa svojim stabilnim »bratom« prisutnim u smeši. Kao rezultat, smanjiće se radioaktivnost po jedinici mase preparata, a na osnovu toga možemo odrediti i ukupnu količinu ispitivane komponente u smeši.

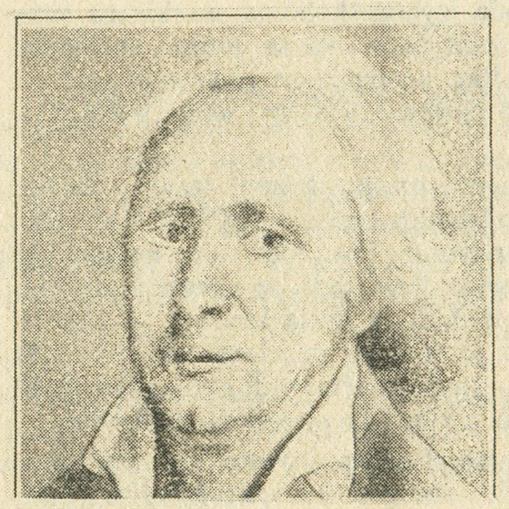
Objasnimo ovo još jednim primerom: pretpostavimo da smo ulovili 500 riba i markirali (obeležili) ih radioaktivnim izotopom P^{32} ili Ca^{45}. Pustimo ih nazad u ribnjak i sutradan ponovimo ulov. Ako voda ne otiče iz ribnjaka i ako je hrana ravnomerno raspoređena, tada se i markirane ribe ravnomerno raspoređuju po ribnjaku i mešaju sa nemarkiranim — vrši se izotopno razblaženje. Pretpostavimo da je u drugom ulovu uhvaćeno 30 riba, od kojih su svega tri markirane — znači, markiranih primeraka je 10 puta manje nego nemarkiranih, odnosno u ribnjaku se nalazi 5000 riba.

Metod izotopnog razblaženja je veoma efikasan, jer osim toga što omogućava analizu složene smeše tamo gde je nemogućno izvršiti hemijsku analizu, on omogućava i registrovanje minimalnih količina materije. Ovaj metod, kao i ostali metodi markiranih atoma, našli su široku primenu u biologiji, medicini, organskoj hemiji i industriji.



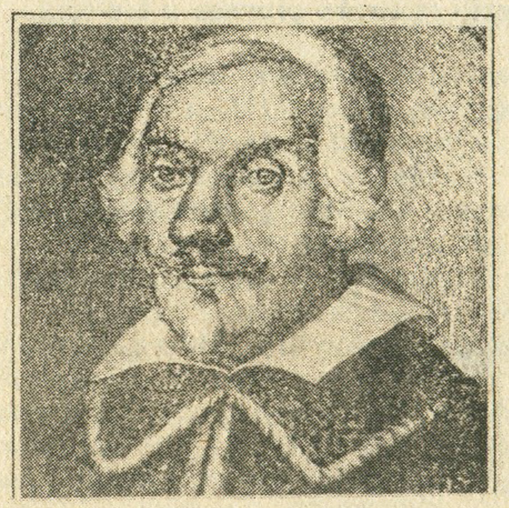


»MONTAŽA« ELEKTRICITETA

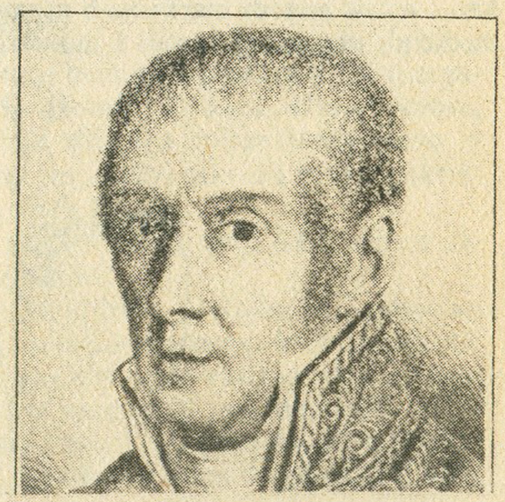


FRANKLIN: MUNJA U DŽEPU

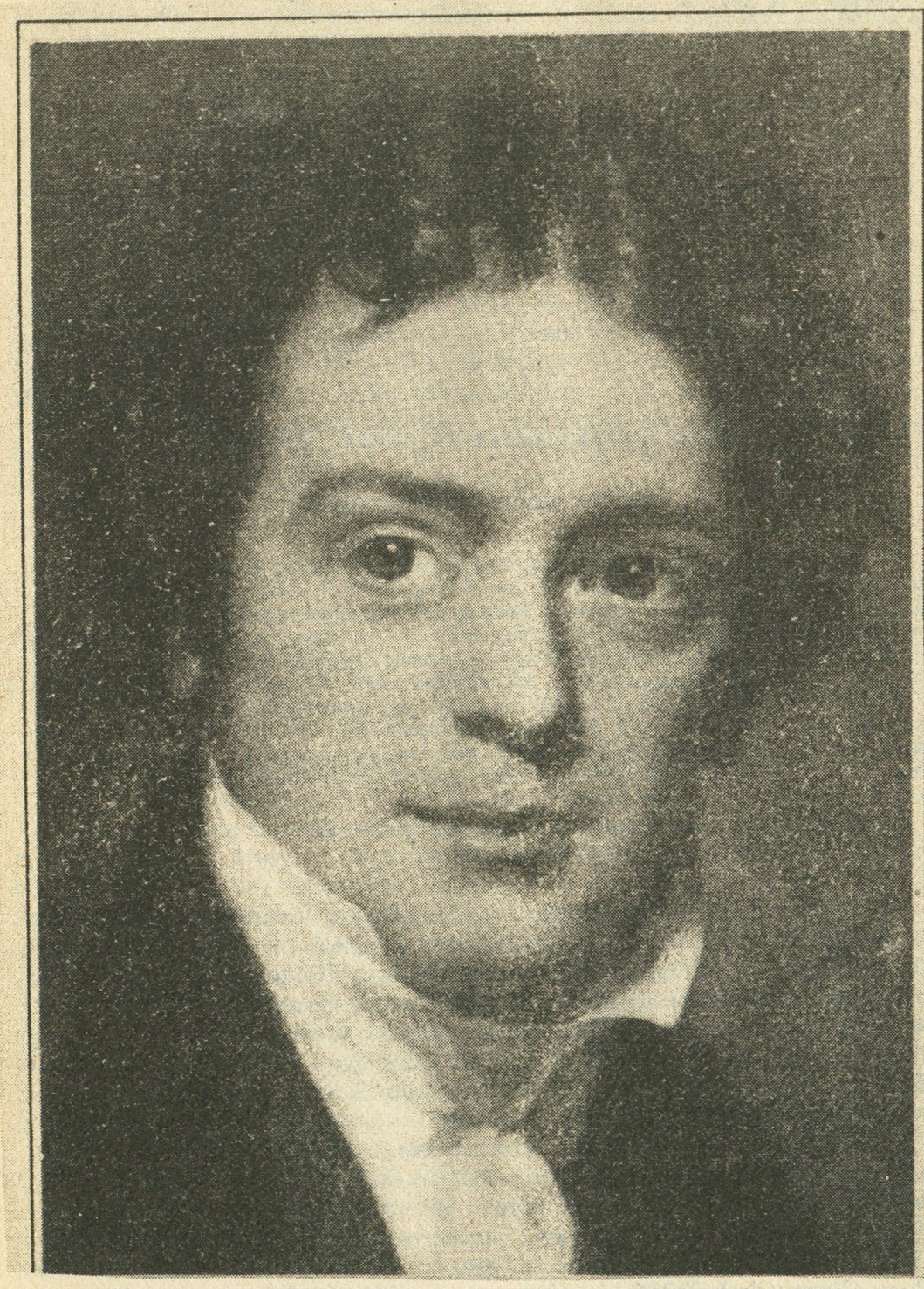
GERIKE: POLJE NAD MAGDENBURGOM



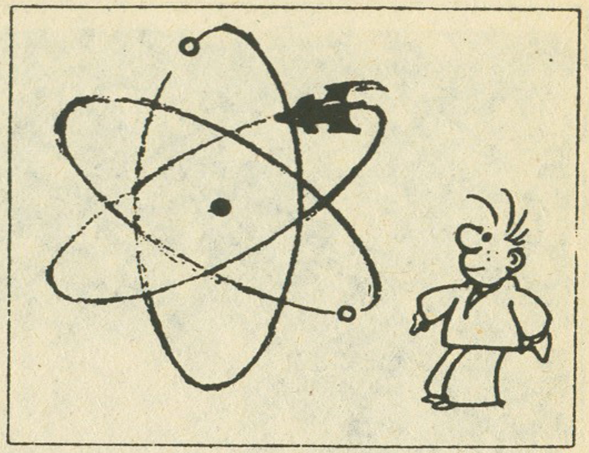
GALVANI: SLUČAJNOST U BOLONJI



VOLTA: DEFINISANI IZVORI



FARADAY: WELCOME MAXWELL



TERMONUKLEARNA FUZIJA: TOKAMAK

MILAN S. DIMITRIJEVIĆ (Beograd)

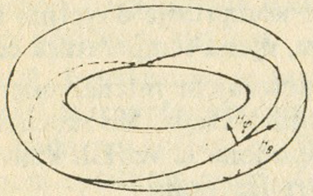
Sva istraživanja vezana za termonuklearnu fuziju držana su u najstrožoj tajnosti sve do 1965. godine. Te godine, veo tajnosti sa ovih istraživanja skinula je sovjetska državna delegacija koja je bila u poseti Engleskoj. Kada su neki od rezultata postali dostupni javnosti, interesantno je odjeknula istovetnost logičkog mišljenja i na istoku i na zapadu, bez obzira na društveni sistem i politička ubeđenja. Mnoge je porazila činjenica da su ne samo ideje i metode istraživanja bile iste, nego je čak i laboratorijski žargon bio veoma sličan kod američkih i sovjetskih naučnika. Uostalom, krajnji cilj istraživanja termonuklearne fuzije treba da donese dobrobit celom čovečanstvu. Kada jednom u budućnosti čovek počne da gradi termonuklearne reaktore, Sunce više neće biti najtoplije mesto u Sunčevom sistemu. U srcu termonuklearnih reaktora uslovi će biti slični uslovima u nedrima zvezda mnogo toplijih od Sunca. Oni će odgovarati uslovima u unutrašnjosti zvezda koje se nazivaju beli patuljci.

Serija napisa o termonuklearnoj fuziji biće završena člankom o uređaju koji je izvršio revoluciju u termonuklearnim istraživanjima, tokamaku.

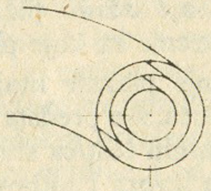
Godine 1968. na konferenciji o kontrolisanoj termonuklearnoj fuziji u Novosibirsku, grupa sovjetskih naučnika na čelu sa L. A. Arcimovičem predstavila je jedan u biti prost metod za održavanje plazme koji je delovao vrlo obećavajuće za budući razvoj istraživanja. Ime ovog uređaja, tokamak, postalo je ime cele klase uređaja. Uspesi sovjetskih naučnika doveli su do brzog širenja istraživanja uz pomoć tokamaka, i dok ih je 1968. godine bilo samo devet (i to svi u SSSR-u), danas u Sovjetskom Savezu, Americi, Evropi, Japanu i na drugim mestima radi više od sto tokamaka. To su uređaji kao T-3, T-5, T-10 i T-12 u Institutu za atomska istraživanja koji nosi ime slavnog naučnika Kurčatova (SSSR), zatim PULSATOR u Garhingu u Nemačkoj, ALCATOR u Tehnološkom institutu u Masačusetsu (SAD), DIVA u Japanskom institutu za istraživanje atomske energije, JIPPT-2 u Nagoji (Japan), PLT (*Princeton Large Torus*) u Prinstonu (SAD), TFTR-600 u *Fontenay aux Roses* (Francuska), TOSCA u Culhamu (Engleska) itd.

Šta je to tokamak? Podsetimo se iz ranijih brojeva Mladog fizičara kako izgledaju »posude« u kojima naučnici »čuvaju«, ili, kako to oni vole da kažu, konfiniraju plazmu. »Posuda« je ustvari magnetno polje određene konfiguracije. Naelektrisane čestice plazme kreću se duž linija sila magnetnog polja, okrećući se istovremeno oko njih, tako da ostaju zarobljene na željenom mestu. Da se podsetimo još kako su naučnici sprečili plazmu da »iscuri« iz »magnetne boce«. Jedna od mogućnosti koje smo razmotrili u prošlim brojevima Mladog fizičara bila je da »uklonimo« otvorene krajeve linija sila, recimo, da ih savijemo u krug. Tako smo dobili konfiguraciju magnetnog polja koja ima oblik prstena ili automobilske gume, odnosno, kako to kažu fizičari, oblik torusa.

Najvažniji predstavnici magnetnog konfiniranja plazme u toroidalnim sistemima su STELARATOR i TOKAMAK. Oba uređaja konfiniraju plazmu pomoću toroidalnog magnetnog polja, ali dok je kod stelaratora polje spoljašnjeg porekla, kod tokamaka njega stvara struja koja teče duž ose torusa. Magnetne linije sila ovog polja idu kružno oko ose torusa, tako da polje sprečava plazmu da se kreće ka zidovima. Osim toga, u tokamaku postoji veoma jako magnetno polje paralelno struji. Struktura magnetnog polja u tokamaku prikazana je na Sl. 1, a na Sl. 2 dati su preseci magnetnih površina sa ravni koja prolazi kroz glavnu osu sistema.



Sl. 1. Struktura magnetnog polja



Sl. 2. Magnetne površine u tokamaku

Eksperimenti na tokamacima se izvode već mnogo godina, pri čemu se konstrukcija aparature menjala i usavršavala. U početku su se za eksperimente upotrebljavale keramičke, staklene ili kvarcne komore za pražnjenje. Pri tome su se u plazmi javljale različite primese koje su veoma snižavale njenu temperaturu. Sada se zidovi komora prave od tankih slojeva metala. Danas su mnogi tehnološki problemi vezani za ove uređaje rešeni. Na torodalnu komoru za pražnjenje navučeno je gvozdeno jezgro transformatora. Pomoću ovog transformatora nastaje napon koji indukuje struju duž ose torusa. Komora je unutrašnjim i spoljašnjim omotačem podeljena na dve oblasti u kojima vladaju različiti pritisci. Unutrašnji omotač je napravljen od nerđajućeg čelika debljine 0.2—0.3 mm i zove se *lajner*. Unutar lajnera nalazi se dijafragma od volframa ili molibdena, koja ograničava poprečni presek plazmenog šnura. Usled toga, smanjuje se delovanje plazme na zidove lajnera. Spoljašnji omotač komore pravi se od debelog listatog bakra. Bakarna ovojnica izolovana je od lajnera keramičkim elementima i hladi se vodom. Lajner i prostor između njega i bakarnog omotača prazne se vakuumskim pumpama. Na unutrašnjoj strani bakarne ovojnice, učvršćuju se provodnici koji u komori stvaraju vremenski promenljivo polje koje upravlja položajem plazmenog šnura. Na površini komore razmešteni su solenoidi koji stvaraju jako magnetno polje duž ose torusa.

Kako zagrejati plazmu u tokamaku do temperatura na kojima se odvija fuzija? Naizgled problem i nije tako težak. Energija koja je potrebna da se neka zapremina plazme zagreje do 10^8 K u stvari je veoma mala veličina. Ona je jednaka energiji koja je potrebna da se ista zapremina vode zagreje za svega jedan stepen. Možda vam izgleda da je problem rešen? Ali čestice i toplota će takvom brzinom »bežati« od zone reakcije ka periferiji, da smo, u stvari, veoma daleko od zadovoljavajućeg rešenja.

Struja koja teče kroz plazmu duž ose torusa zagreva je kao što zagreva i žicu u grejalici. Ovo zagrevanje se naziva omsko, ali da bi se plazma zagrejala do termonuklearnih temperatura, potrebno je dodatno zagrevanje. Toplota koja se dovede plazmi mora da kompenzuje energiju izgubljenu zračenjem i odvođenjem iz zone reakcije, kao i da poveća temperaturu na željeni nivo. Omsko zagrevanje je ograničeno otpornošću plazme koja pada na višim temperaturama i gustinama struje. U ranijim brojevima Mladog fizičara već smo govorili o metodima za zagrevanje plazme. Od različitih metoda, na tokamacima su testirane *kompresiono* i *radiofrekventno* zagrevanje i zagrevanje *pomoću snopova neutralnih čestica.*

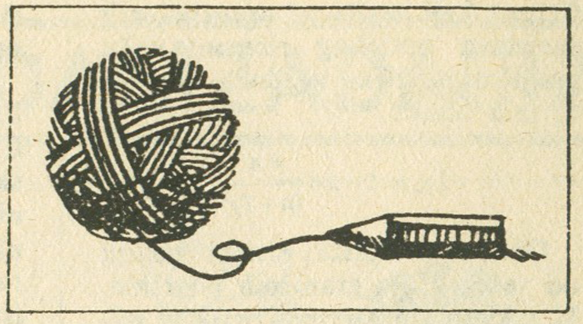
Kompresiono zagrevanje vrši se povećavanjem transverzalnog magnetnog polja koje sažima plazmu. Ako je vreme kompresije dovoljno kratko u odnosu na vreme za koje plazma gubi energiju, njena temperatura će rasti.

Zagrevanje plazme može se izvršiti i ubacivanjem intenzivnog snopa neutralnih čestica, što predstavlja jednu od najboljih metoda. Visokoenergetski snopovi neutralnih čestica stvaraju se ubrzavanjem jona iz velikih konvencionalnih jonskih izvora i njihovom kasnijom neutralizacijom.

Treći metod je radiofrekventno zagrevanje. Postoji mnogo rezonantnih frekvencija plazme koje omogućuju da se snaga zračenja predaje jonima ili elektronima, povećavajući njihovu temperaturu. Ipak, interesantno je da neki smatraju da veliki broj različitih mogućnosti za radiofrekventno zagrevanje predstavlja manu ovog metoda, pošto uslovljava rasipanje sredstava i istraživača na suviše opsežan eksperimentalni program.

Ovu seriju članaka o termonuklearnoj fuziji, završićemo rečima L. A. Arcimoviča koji je dugi niz godina vodio sovjetska istraživanja termonuklearne fuzije na tokamaku: »*Često pitaju kada će ovaj zadatak biti rešen. Utoliko pre što je on mnogima već dosadio. Svake dve-tri godine nametljivo se govori o uspesima u ovoj oblasti, mada se stvar kreće polako. Šta mogu da kažem sa gledišta naučnog radnika? Najbitnija je postepena promena parametara plazme u našim istraživanjima. Ako bi se ovi parametri nalazili stalno na istom nivou, to bi bilo loše. Ali oni rastu, a to znači da se postepeno bližimo rešenju ovog zadatka. On će svakako biti rešen kada termonuklearna energija postane neophodna čovečanstvu, pošto principijelnih teškoća na ovom putu naizgled nema.*«

EKSPERIMENTI



O GUBICIMA SVETLOSTI NA ODBIJANJE PRI PRELAMANJU

MITA SEKULIĆ (Beograd)

Pri prelamanju svetlosti deo upadnog svetlosnog zraka se odbija od površine i ne učestvuje u stvaranju lika u optičkom sistemu.

Na sl. 1 prikazano je prelamanje svetlosti na ispupčenom sočivu, kada zrak pada na sočivo paralelno sa glavnom optičkom osom. Zrak koji pada u tačku *A* delimično se odbija, a delimično prelama u sočivo. U tački *B* takođe se vrši delimično odbijanje prema tački *C* itd. Odbijeni svetlosni zraci su »izgubljeni« za dati optički sistem. Tako se pri svakom odbijanju gubi 4—9% snage upadnog svetlosnog snopa, zavisno od stepena uglačanosti površine na koju svetlost pada. (Sve ovo, na ravno, uz pretpostavku da zrak pada u pravcu normale na prelomnu površinu.) Gubici svetlosti na odbijanje pri prelamanju karakterišu se *koeficijentom refleksije* ρ koji zavisi od indeksa prelamanja n i n', jedne i druge sredine, i od upadnog i prelomnog ugla. Za male upadne uglove (do 30°) koeficijent refleksije je jednak

$$\rho = \left(\frac{n-n'}{n+n'}\right)^2.$$

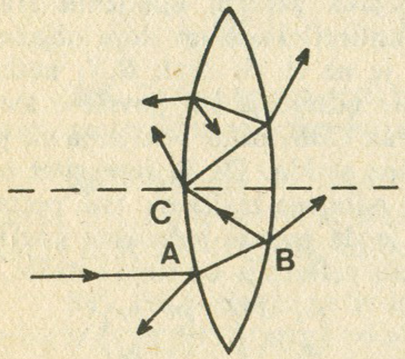
Ako je pri tome jedna od sredina vazduh ($n=1$), izraz sa koeficijent refleksije dobija oblik

$$\rho = \left(\frac{1-n'}{1+n'}\right)^2.$$

Jedan deo svetlosti u optičkim sistemima gubi se i na apsorpciju u staklu. Tako se ukupni gubici pri prelamanju svetlosti karakterišu tzv. *koeficijentom transmutacije* optičkog sistema,

$$\tau = k_\rho \cdot k_\alpha,$$

gde je k_ρ koeficijent koji zavisi od gubitaka na odbijanje, a k_α je koe-

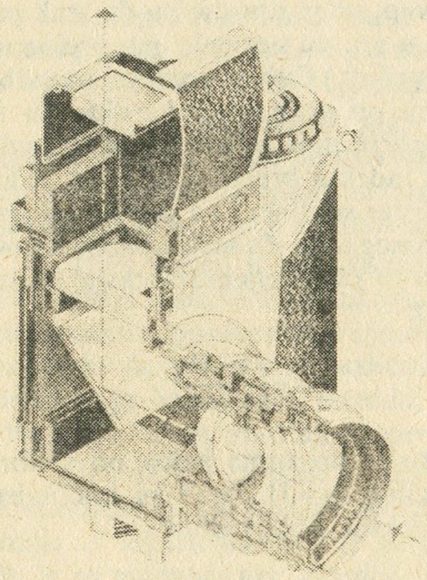


Slika 1.

ficijent koji zavisi od apsorpcionih svojstava optičkog elementa. Za graničnu površinu vazduh — staklo k_ρ ima oblik:

$$k_\rho = 1-\rho = \frac{4n}{(n+1)^2}.$$

Obično se optički sistem sastoji od većeg broja graničnih površina. U takvim slučajevima prvo se odrede gubici za svaku od površina posebno, a zatim se ove vrednosti pomnože, da bi se dobio ukupni efekat. Pri tome se gubici na odbijanje na graničnim površinama koje dele različite vrste stakla mogu zanemariti. Na sl. 2 prikazan je presek



Slika 2.

fotoaparata čiji objektiv ima 5 sočiva: pošto su dva sočiva međusbono slepljena, u objektivu znači postoje 4 granične površine na kojima dolazi do delimičnog odbijanja i prelamanja svetlosti. Ako pri svakom prelamanju postoje gubici od 5%, ukupni gubici iznosiće 20%. U optičkim instrumentima sa velikim brojem prelomnih površina (mikroskopi, geodetski instrumenti itd.) gubici mogu da iznose i do 80%.

Još krajem prošlog veka stručnjaci koji su radili u optičkoj industriji u Engleskoj primetili su da fotografski objektivi sa istim konstrukcionim svojstvima, ali starije proizvodnje, daju kvalitetnije slike od tek izrađenih objektiva. Posle detaljnih ispitivanja pronađene su razlike u obojenosti površina kod jednih i drugih objektiva. Naime, usled delovanja atmosferskih gasova objektivi starije proizvodnje vremenom su stekli karakterističnu obojenost, koja je kao rezultat imala smanjenje gubitaka na odbijanje pri prelamanju svetlosti. Otada se, u cilju smanjivanja refleksije, na optičke elemente planski nanose tanki tzv. *antirefleksioni slojevi.*

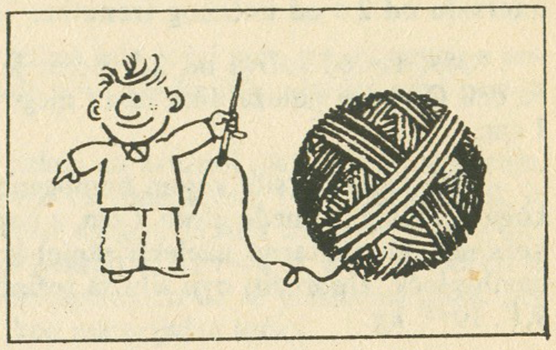
Smanjivanje odbijanja svetlosti nanošenjem tankog antirefleksionog sloja rezultat je pojave interferencije svetlosnih zraka odbijenih sa površine sloja i površine stakla. Za određenu debljinu sloja i indeks prelamanja stakla, intenziteti oba zraka postaju jednaki, a faze im se razlikuju za polovonu talasne dužine. Usled toga dolazi do gašenja svetlosnog zraka koji se odbija od prelomnih površina, dok se intenzitet zraka propuštenog u optički element uvećava.

Pojava gašenja odbijenih zraka na antirefleksionom sloju objašnjena je na sl. 3. Zrak B_1S_1 nastaje posle odbijanja od površine sloja, a zrak CBS_1 posle odbijanja od površine stakla. Da bi intenzitet oba ova odbijena zraka bio isti, potrebno je da postoji jednakost koeficijenata refleksije od sloja i stakla, tj.

$$\left(\frac{n_s-1}{n_s+1}\right)^2 = \left(\frac{n-n_s}{n+n_s}\right)^2,$$

(Nastavak na str. 17)

ADACIZADACIZADACIZ



KONKURSNI ZADACI

NAGRADNI ZADACI

ZADACI PITANJA

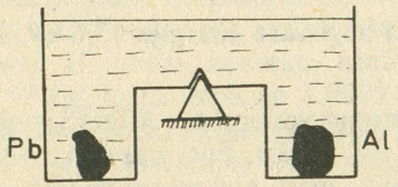
E — ZADATAK

KONKURSNI ZADACI

A) Za učenike VI razreda

383. Hidraulična presa, koja je napunjena vodom, ima klipove čije su površine 100 cm² i 10 cm². Na veći klip stavljen je teret mase 11 kg. Na koju visinu će se podići manji klip?

384. Sud, prikazan na slici 1., napunjen je vodom i oslonjen na jednu ivicu nepokretne prizme. U levi deo suda spušten je komad olova mase 0,4 kg, a u desni komad aluminijuma mase 0,5 kg. Koja strana suda će se preokrenuti, ako je pre stavljanja tela sud bio u ravnoteži?



Slika 1

385. Težina tela u vodi tri puta je manja nego u vazduhu. Odrediti gustinu materijala od koga je napravljeno telo.

386. Gvozdena kocka gustine 7800 kg/m³ pliva u živi gustine 13600 kg/m³. Iznad žive nalije se voda, tako da prekrije kocku vrlo tankim slojem. Ivica kocke je 10 cm. Odrediti visinu sloja vode u odnosu na nivo površine žive.

387. Pri penjanju na brdo ustanovljeno je da je atmosferski pritisak na vrhu brda za 4 kPa manji od atmosferskog pritiska u podnožju. Za to vreme atmosferski pritisak u podnožju nije se menjao. Odrediti visinu brda. Uzeti da je gustina vazduha 1,293 kg/m³ i smatrati da se ne menja s visinom.

B) Za učenike VII razreda

388. Predmet se približava ogledalu žižne daljine 1 m, krećući se ravnomernom brzinom 2 m/s. U jednom trenutku predmet se nalazio na rastojanju 10 m od ogledala. Odrediti srednju brzinu i smer kretanja lika u vremenskom intervalu od 2 s od uočenog trenutka.

389. Ispred sočiva od 2,5 dioptrije nalazi se predmet na rastojanju od 50 cm. Odrediti položaj lika kao i njegovu veličinu ako je veličina predmeta 1 cm.

390. Odrediti silu kojom homogeno električno polje kondenzatora, kod koga je razmak između ploča 1 cm, a napon 1 kV, deluje na elektron (česticu koja nosi elementarno naelektrisanje) koji se nalazi u prostoru između njegovih ploča. Uporediti ovu silu sa težinom elektrona. Masa elektrona iznosi $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg.

391. Ploče kondenzatora, između kojih se nalazi vazduh, postavljene su vertikalno. Napon između ploča je 10 kV. Na pozitivno naelektrisanoj ploči nalazi se otvor kroz koji horizontalno uleću naelektrisane čestice prašine mase $3{,}2 \cdot 10^{-9}$ kg. Primećeno je da se čestice, koje uleću najmanjom brzinom od 1 mm/s, zaustavljaju pre nego što udare o negativno naelektrisanu ploču i vraćaju se natrag. Čestice prašine iste mase, koje uleću brzinom od 1,41 mm/s, takođe se zaustavljaju tik iz negativnu ploču i vraćaju natrag. Odrediti veličinu i znak naelektrisanja čestica u oba slučaja. Zanemariti uticaj Zemljine teže.

392. Koliko se elektrona, odnosno elementarnih naelektrisanja, nalazi na jednoj ploči kondenzatora, kapaciteta 1,6 pF, ako je napon između ploča kondenzatora 1 V?

C) Za učenike VIII razreda

393. U atomu vodonika K ljusci odgovara energija 13,6 eV. Izraziti ovu energiju u džulima.

394. Elektron, koji se nalazi u atomu vodonika u K ljusci, pobuđivanjem elektromagnetnim zračenjem prelazi u L ljusku. Energija elektrona u L ljusci iznosi $5{,}44 \cdot 10^{-19}$ J. Odrediti energiju ovih elektromagnetnih talasa.

395. Energija veze elektrona, koji se nalazi u M ljusci atoma vodonika, iznosi 2,42 eV. Da li infracrvena svetlost talasne dužine 10μm može jonizovati ovaj atom? Poznato je da svetlost talasne dužine λ (m) ima energiju $E = 2 \cdot 10^{-25}\ \mathrm{J}/\lambda$.

396. Period poluraspada atoma radona (Rn) je 3,82 dana. Za koje vreme će se raspasti 7/8 početnog broja jezgara određene mase radona?

397. Period poluraspada polonijuma (Po) je 138 dana. Posle koliko vremena će ostati samo 25% neraspadnutih jezgara u odnosu na početni broj jezgara polonijuma date mase?

D) Za učenike I razreda zajedničkih osnova usmerenog obrazovanja

398. Šuplja metalna lopta poluprečnika $R = 0{,}6$ m je ravnomerno naelektrisana količinom elektriciteta $Q = +5 \cdot 10^{-6}$ C. Na lopti se nalazi mali kružni otvor poluprečnika $r = 2$ mm. Odrediti jačinu i smer električnog polja u centru lopte.

399. Na ekvatoru neke planete težina tela je tri puta manja nego na polovima. Ako je srednja gustina planete $\rho = 2500\ \mathrm{kg/m^3}$, odrediti njen period obrtanja oko sopstvene ose.

400. Čovek mase $m_1 = 80$ kg se nalazi na kružnoj platformi koja miruje. Platforma može da se okreće oko svoje vertikalne ose. Njen poluprečnik je $R = 15$ m, a masa $m_2 = 100$ kg. Odrediti ugaonu brzinu obrtanja platforme, ako čovek počne da se kreće po krugu poluprečnika $r = 8$ m, oko ose obrtanja brzinom $v = 2$ m/s u odnosu na nju. Pretpostaviti da se platforma može posmatrati kao homogen disk, a čovek kao materijalna tačka.

401. Dva elektrona, koja se nalaze na beskonačno velikom međusobnom rastojanju, počinju da se kreću jedan prema drugom početnim brzinama koje imaju isti intenzitet $v_0 = 2 \cdot 10^3$ m/s. Odrediti najmanje rastojanje između elektrona, ako je $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C i $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg.

402. Dva elektrona se nalaze na beskonačno velikoj udaljenosti jedan od drugog. Jedan elektron miruje, a drugi počinje da se kreće brzinom v_0 ka centru prvog. Odrediti najmanje rastojanje između ova dva elektrona. Podaci za v_0, e i m su isti kao u prethodnom zadatku.

E) Za učenike II razreda zajedničkih osnova usmerenog obrazovanja

403. Odrediti energiju veze jezgra urana ${}_{92}U^{235}$ i ${}_{92}U^{238}$. Koje je od ovih jezgara stabilnije? Masa jezgra ${}_{92}U^{235}$ je 235,1175 u, masa jezgra ${}_{92}U^{237}$ je 238,12522 u. Za stomsku jedinicu mase uzeti vrednost $u = 1{,}66 \cdot 10^{-28}$ kg.

404. Snaga jedne od nuklearnih elektrana je 28,5 MW. Pri fisiji jednog jezgra urana ${}_{92}U^{235}$ oslobađa se 200 MeV energije. Kolika količina urana se troši dnevno? U ovom zadatku uzeti da je atomska jedinica mase $u = 1{,}67 \cdot 10^{-28}$ kg, masa protona 1,0078 u, a masa neutrona 1,0087 u.

405. Kolika se energija oslobađa pri termonuklearnoj reakciji: ${}_1H^2 + {}_1H^3 - {}_2He^4 + {}_0n^1$? Pri izradi ovog zadatka koristiti potrebne konstante iz prethodnog zadatka.

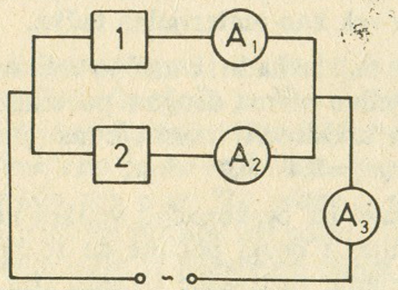
406. Pri sudaru pozitrona s elektronom često dolazi do anihilacije ovih čestica, pri čemu se stvaraju dva kvanta jednakih energija, a koji se kreću u suprotnim smerovima. Odrediti minimalnu frekvenciju ovih kvanata. ($m_e = m_p = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg).

407. Pokazati da se, kad kroz pločicu debljine d od metala ili poluprovodnika jednog tipa provodnosti protiče struja jačine I u magnetnom polju indukcije B, koje je normalno na pravac struje i pravac magnetnog polja, javlja potencijalna razlika U na krajevima pločice, normalno na B i I, srazmerna jačini struje i magnetnoj indukciji, a obrnuto srazmerna debljini pločice i koncentraciji nosilaca (elektrona ili šupljina).

F) Za učenike III razreda usmerenog obrazovanja

408. U eleltričnom kolu naizmenične struje (sl. 2) nalaze se dve tzv. »crne kutije« 1 i 2. Ampermetar A_1 pokazuje jačinu struje $I_1 = 3$ mA, ampermetar A_2 jačinu struje $I_2 = 4$ mA, a ampermetar A_3 jačinu struje $I = 5$ mA. Šta može da se nalazi u »crnim kutijama«?

409. U zatvorenom cilindru zapremine $V = 2 \cdot 10^{-3}$ m³ nalazi se vazduh pod pritiskom $p_0 = 0{,}1$ MPa. Osa cilindra je horizontalna i on je tankim pokretnim klipom mase $m = 0{,}1$ kg podeljen na dva jednaka dela. Dužina cilindra je $L = 1$ m. Cilindar je doveden u stanje obrtanja ugaonom brzinom ω oko vertikalne ose koja prolazi kroz njegovu sredinu. Odrediti ugaonu brzinu obrtanja, ako se pri tome klip nalazi na rastojanju $x = 0{,}2$ m od ose obrtanja. Temperatura je konstantna.



Slika 2

410. Temperatura vodene pare u parnoj mašini je $t_1 = 127$ °C, a u hladnjaku $t_2 = 27$ °C. Odrediti maksimalni rad, ako je utrošena količina toplote $Q_1 = 4{,}2$ kJ. Odrediti i količinu toplote predatu hladnjaku.

411. Dve toplotno izolovane šuplje lopte imaju apsolutno reflektujuće unutrašnje površine i nalaze se jedna pored druge. Na loptama se nalaze, jedan naspram drugog, dva mala kružna otvora prečnika $d = 10$ cm. Otvori su udaljeni međusobno na rastojanju $L = 15$ cm. U jednoj lopti se održava konstantna temperatura $T_1 = 2000$ K. Odrediti temperaturu koja se uspostavlja u drugoj lopti.

412. Na dnu staklenog suda se nalazi mali kružni otvor poluprečnika $r = 0{,}8$ mm. Do koje visine u sudu se može sipati tečnost koja ne kvasi staklo, a da iz njega ne ističe? Tečnost ima gustinu 4300 kg/m³ i koeficijent površinskog napona 0,06 N/m.

G) Za učenike IV razreda usmerenog obrazovanja

413. Odrediti masu fotona čiji je impuls jednak srednjem impulsu molekula vodonika na sobnoj temperaturi (20 °C). Potrebne konstante uzeti iz udžbenika.

414. U arheološkom nalazištu nađena je tkanina. Merenjem je ustanovljeno da jednom gramu radioaktivnog ugljenika $_6C^{14}$ odgovara 9,2 raspada u minuti. Istoj količini $_6C^{14}$ u živom rastinju odgovara 14,0 raspada u minuti. Znajući da je period poluraspada datog izotopa ugljenika 5730 godina, proceniti starost tkanine.

415. Intenzitet monohromatskog snopa gama zračenja, pri prolazu kroz apsorber, oslabljen je za 3% u odnosu na upadni intenzitet. Odrediti debljinu sloja apsorbera, ako je njegova poludebljina 10 cm.

416. Pri zahvatu jednog protona jezgro litijuma $_3Li^7$ se raspada na dve α-čestice. Napisati ovu nuklearnu reakciju i odrediti energiju koja se oslobađa pri reakciji. Mase protona, α-čestice i litijuma su respektivno 1,0078 u, 4,0026 u i 7,0159 u. Atomska jedinica mase iznosi $u = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg.

417. Elektron i pozitron, čije su energije od po 240 keV, pri sudaru se pretvaraju u dva jednaka fotona. Odrediti energiju i talasnu dužinu fotona.

NAGRADNI ZADATAK BROJ 25

Kako biste odredili masu malog gvozdenog predmeta, koristeći špiritusnu lampu, lonac sa vodom, kalorimetar, termometar i menzuru. Dopušteno je da se poslužite i priručnikom iz fizike. Pretpostavjla se da je masa kalorimetra poznata.

Odabrao: **D. Koleidin**

ZADACI PITANJA

A) *Atmosfere planeta iz Sunčevog sistema razlikuju se po sastavu, temperaturi, gustini, visini i mnogim drugim fizičkim i hemijskim svojstvima. Zemljin satelit Mesec, iako nama najbliže nebesko telo, nema atmosferu. Zašto?*

*

B) *Jedna od osobenosti klime u velikim gradovima je velika količina padavina u njegovom centru, odakle se prema periferiji atmosferske izlučevine smanjuju. Znate li zašto? Uz to, zbog čega su u gradovima češće nepogode i pljuskovi nego u okolini?*

*

C) *Ako biste u većoj meri udisali vodonik koji, inače, nije otrovan, glas bi vam bio oštar, skoro piskav. Ton orgulja se povišava, ako umesto vazduha kroz njih struji vodonik. Zašto?*

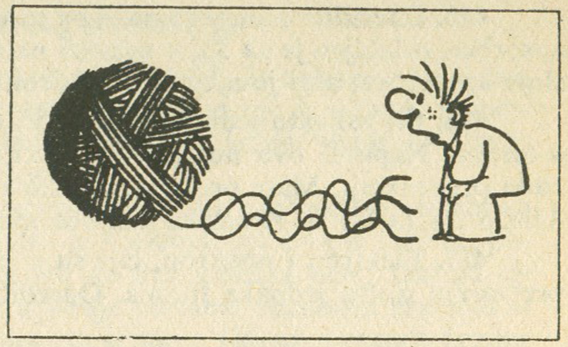
*

D) *Da li su sva mora plava? Šta određuje boju morske vode? Po čemu je Crveno more dobilo ime?*

*

E) *Zašto su vrhovi visokih planina uglavnom stenoviti i oštri? Zašto su saobraćajni znaci upozorenja — »odron na putu« — češći na deonicama puteva pri planinskim vrhovima, nego na deonicama u podnožju?*

TEST



A) Za učenike I razreda zajedničkih osnova usmerenog obrazovanja

1. Svaka fizička veličina A može se dimenziono izraziti na sledeći način

$$A=(L)^p\,(M)^q\,\ldots(Q)^s\,,$$

gde su $p, q, \ldots, s$

a) prirodni brojevi. b) celi brojevi.
c) realni brojevi. d) kompleksni brojevi.

2. Osnovnim jedinicama Međunarodnog sistema pripadaju

a) metar i njutn. b) kelvin i mol.
c) kilogram i paskal. d) džul i kandela.

3. Vat se preko osnovnih jedinica Međunarodnog sistema izražava na sledeći način

a) kgm^2s^{-3}. b) $kgm^{-3}s^2$. c) kg^2ms^{-3}.

4. Vektorski proizvod je

a) komutativan. b) nekomutativan.
c) komutativan ili nekomutativan, zavisno da li komponentarni vektori zaklapaju oštar ili tup ugao, respektivno.

5. Materijalna tačka je

a) masa zanemarljivih prostornih dimenzija.
b) telo na velikom rastojanju od koordinatnog početka.
c) telo zanemarljive mase.

6. Pri obrtanju točka, njegove tačke opisuju

a) pravu trajektoriju. b) krivu trajektoriju.
c) pravu ili krivu trajektoriju.

7. Princip akcije i reakcije neposredna je posledica

a) zakona o održanju impulsa.
b) zakona o održanju energije.
c) ekvivalencije mase i energije.

8. Moment sile ima dimenzije

a) impulsa. b) sile. c) pritiska. d) toplote.

9. Ako se pri ravnomernom kružnom kretanju period poveća dva puta, kinetička energija se

a) poveća dva puta. b) poveća četiri puta.
c) smanji dva puta. d) smanji četiri puta.

10. Jedinica za jačinu električnog polja je

a) Nm. b) m/N. c) Vm. d) V/m.

11. Gravitacioni potencijal sa porastom rastojanja od tačkastog izvora polja

a) raste sa prvim stepenom rastojanja.
b) raste sa drugim stepenom rastojanja.
c) opada sa prvim stepenom rastojanja.
d) opada sa drugim stepenom rastojanja.

12. Elektromotorna sila izražava se u

a) njutnima. b) amperima. c) voltima.

B) Za učenike II razreda zajedničkih osnova usmerenog obrazovanja

1. Termodinamička verovatnoća stanja sistema je

a) pravac odvijanja termodinamičkih procesa koji najbrže dovodi do uspostavljanja toplotne ravnoteže u sistemu.
b) odnos broja parametara koji mogu da okarakterišu to stanje i ukupnog broja termodinamičkih veličina.
c) broj svih mogućih kombinacija mehaničkih stanja molekula sistema kojima odgovara isti skup vrednosti parametara sistema.
d) broj svih mogućih kombinacija položaja i brzina molekula sistema koje obezbeđuju isti ukupni impuls sistema.

2. Neposredni prelaz neke količine toplote sa hladnijeg na toplije telo

a) bezuslovno je nemoguć proces.
b) zanemarljivo je malo verovatan proces.
c) moguć je pod uslovom da se pri tom vrši rad.
d) moguć je samo ako u sistemu deluju sile nemehaničke prirode.

3. Jedinična vrednost koeficijenta korisnog dejstva toplotne mašine protivrečila bi

a) prvom principu termodinamike.
b) drugom principu termodinamike.
c) molekulsko-kinetičkoj teoriji.
d) jednačini gasnog stanja.

4. Koeficijent korisnog dejstva toplotne mašine može biti jednak jedinici, umanjenoj za količnik apsolutnih temperatura hladnjaka i grejača, samo ako

a) pri radu toplotne mašine ne dolazi do trenja.
b) se pri radu toplotne mašine ne oslobađaju gasovi.
c) toplotna mašina radi beskonačno brzo.
d) toplotna mašina radi beskonačno sporo.

5. Model idealnog gasa zanemaruje

a) odbijanje molekula pri njihovim sudarima.
b) elastične sudare molekula sa zidovima suda.
c) sopstvenu zapreminu molekula.
d) haotično kretanje molekula.
e) mogućnost da se brzina svakog molekula razlikuje i po intenzitetu i po pravcu.

6. Dejstvo viskoznog trenja

a) onemogućava održanje mehaničke energije.
b) ne postoji u čistim rastvaračima.
c) jače je u tečnostima čija je gustina veća.

7. Zvuk u gasu

a) iste je fizičke prirode kao i zvuk u vakuumu, samo je uvek sporiji.
b) iste je fizičke prirode kao i radio talas odgovarajuće učestanosti u metalu.
c) predstavlja prostiranje oscilacija molekula gasa.
d) predstavlja prostiranje oscilacija pritiska.

8. Bocu u sobnim uslovima do polovine napunimo vodom i čvrsto zapušimo, a potom dovedemo u beztežinsko stanje. Pri tom

a) boca odmah puca pod dejstvom unutrašnjeg pritiska.
b) voda u boci počinje da ključa što posle nekog vremena prouzrokuje prskanje boce.
c) se u boci ništa ne događa: voda ostaje u donjoj polovini boce.
d) voda oblaže zidove boce slojem svugde jednake debljine.
e) vazduh obrazuje loptasti mehur koji ne dodiruje zidove boce.

9. Pri kretanju i zvučnog izvora i posmatrača u odnosu na sredinu, a u pravcu njihovog rastojanja, Doplerovog efekta nema ako

a) su brzine izvora i posmatrača jednake.
b) je zbir brzina izvora i posmatrača jednak nuli.

10. Za merenje mase kosmonauta prilikom orbitalnog leta konstruisan je masomer čiji je glavni deo platforma, oslonjena na opruge, za koju se vezuje kosmonaut. Određivanje mase pomoću ovog instrumenta zasniva se na merenju

a) Arhimedovog potiska koji deluje na telo kosmonauta.
b) pritiska koji telo kosmonauta vrši na platformu.
c) merenju amplitude oscilacija platforme.
d) merenju perioda oscilacija platforme.

11. Pojava dvostruke ili višestruke slike na TV ekranu posledica je
a) difuzije, b) difrakcije, c) disperzije, d) refleksije, e) prelamanja elektromagnetnih talasa koji prenose TV signal.

12. Osvetlimo li difrakcionu rešetku, u nedostatku kakvog boljeg svetlosnog izvora, svicem kojeg položimo na samu rešetku, nećemo moći da dobijemo i vidimo interferencionu sliku na zaklonu s druge strane rešetke — čak i ako za »gledanje« upotrebimo visoko osetljiv fotomaterijal, tj. film za snimanje pri skoro potpunom mraku. Ovo zato što
a) svitac leži na difrakcionoj rešeci.
b) difrakciona rešetka isuviše oslabi ionako slabu svičevu svetlost.
c) svitac proizvodi hladno, hemoluminiscentno svetlo.
d) je svičeva svetlost difuzna, a njen intenzitet stalno varira.

13. Unutrašnjost zastakljene prostorije (soba, kabina automobila . . .) može se pri punoj dnevnoj svetlosti bolje videti ako se gleda kroz
a) obojenu staklenu pločicu (filtar).
b) polarizator.
c) difrakcionu rešetku.
d) optičku prizmu.

14. Poludebljinom apsorpcije naziva se ona debljina nekog materijala koja je potrebna i dovoljna da se intenzitet zračenja pri prolazu kroz takav sloj prepolovi. Intenzitet zračenja koje prođe kroz sloj, tri put deblji od poludebljine apsorpcije biće
a) jedan i po put slabiji od upadnog.
b) tri put slabiji od upadnog.
c) osmina upadnog.
d) jednak nuli.

15. Činjenica da je svaka spektralna linija uvek u nekoj meri »razmazana«, tj. ne može nikad biti učinjena proizvoljno uskom, može se objasniti
a) tehničkom nemogućnošću da se napravi proizvoljno uzan prorez kroz koji će svetlo ulaziti u spektrograf.
b) disperzijom, tj. talasnom prirodom svetlosti.
c) kombinacijom Ajnštajnove i de Broljeve formule za talasnu dužinu.
d) relacijom neodređenosti vreme — energija.

16. Elektronskim zahvatom naziva se vid beta raspada pri kome jezgro zahvata jedan od najbližih elektrona iz svog omotača. Ovaj elektron, zajedno sa jednim od protona jezgra, daje neutron (koji ostaje u jezgru) i neutrino koji odleće. Elektronski zahvat uvek je praćen rendgenskim zračenjem. Ovo je posledica činjenice da
a) posle zahvata jezgro ostaje u pobuđenom stanju.
b) posle zahvata elektronski omotač ostaje u pobuđenom stanju.
c) se prilikom »survavanja« u jezgro elektron naglo ubrzava.

17. Spektar karakterističnog rendgenskog zračenja atoma neke vrste ne zavisi od toga da li zračenje dolazi iz supstancije u elementarnom obliku, ili su pak ti atomi hemijski vezani u molekule nekog jedinjenja. Ovo stoga što
a) se karakteristično rendgensko zračenje javlja pri prelazima elektrona na najniže orbite.
b) se atom oslobađa eventualnih hemijskih veza na račun kinetičke energije uzmaka koju stiče prilikom izbacivanja rendgenskog fotona.
c) fotoni rendgenskog zračenja ne učestvuju u održavanju hemijskih veza.
d) rendgensko zračenje, zahvaljujući velikoj energiji, lako prolazi i kroz čiste supstancije i kroz hemijska jedinjenja.

18. Pri sudaru dva deuterona (jezgra $_1{}^2H$) sa kinetičkim energijama reda veličine 10^1 keV dolazi do njihove sinteze u jezgro $_2{}^4He$. Znajući da je energija veze alfa čestice 28,2 MeV, dok za deuteron energija veze po nukleonu iznosi 1,1 MeV/nukleonu; kao i da jezgro $_2{}^4He$ ostaje približno nepokretno; izračunati energiju (u MeV) fotona koji se pri ovoj fuziji stvara.
a) 4,8. b) 11,5. c) 23,8. d) 30,5.

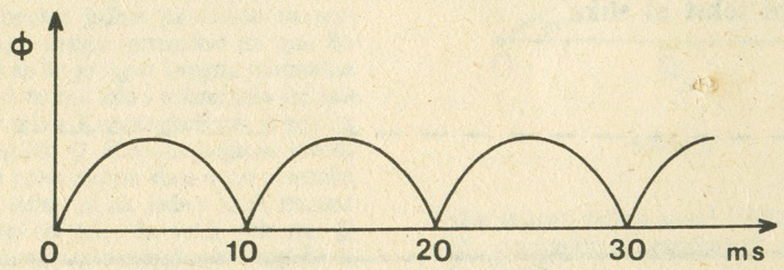
19. Znajući da odnos broja neraspadnutih nestabilnih jezgara prema njihovom početnom broju (N/N_0) eksponencijalno opada sa vremenom (kao e^{-t}), izraziti konstantu radioaktivnog raspada pomoću vremena poluraspada $T_{1/2}$.
a) $1/T_{1/2}$. b) $2/T_{1/2}$. c) $1/2\,T_{1/2}$.
d) $\log_2 e/T_{1/2}$. e) $\ln 2/T_{1/2}$.

20. I elektron i pozitron mogu se neograničeno dugo kretati samo kroz
a) sredinu koju čine anti-atomi.
b) sredinu koju čine obični atomi.
c) vakuum.

Testove pripremili: **D. Koledin** i **S. Vojvodić**

REZULTATI RAČUNSKIH OLIMPIJSKIH ZADATAKA IZ MF 25

Prvi zadatak: a) $L=1{,}09$ H. b) $\varphi=64{,}1°$. c) $P_w=59{,}9$ W. d) U trenutku prekida kontakta u kolu S na induktivnom kalemu javlja se visoki napon samoindukcije (osim ako se kontakt ne prekine baš u momentu kada je jačina struje kroz induktivni otpor jednaka nuli). Napon na induktivnom kalemu je dovoljno visok da pokrene pražnjenje kroz gas cevi. Sam napon mreže je manji od napona paljenja cevi. Fluks svetlosti luminiscentnog materijala kojim je cev premazana prati promene napona na krajevima cevi. e) vidi sliku 1. f) vreme rekombinacije je dovoljno dugo pri pražnjenju gasa. g) Dodatni kondenzatori se koriste za kompenzovanje reaktivne struje u zgradama u kojima postoji veliki broj fluorescentnih cevi.



Drugi zadatak: Centar masa leži na sredini normalnog rastojanja tačke oslonca od duže strane vešalice (sl. a, MF 25). $T=1{,}03$ s. Napominjemo da se zadatak može rešiti bar na dva načina.

Treći zadatak: a) $t_2=68{,}38°$C. b) $C_{kon}=1{,}2$ N. c) $h=843{,}14$ m. d) Za male promene visine, kao u postavci zadatka, opadanje gustine sa visinom mogućno je približno predstaviti linearnom funkcijom. Tako je sila koja deluje unazad proporcionalna sili odstupanja iz položaja mirovanja. To je uslov za harmonijsko oscilovanje koje se prigušuje vazdušnim otporom.

A) Za učenike VI razreda

1: a, 2: c, 3: b, 4: c, 5: b, 6: a, 7: c, 8: a, 9: a, 10: b, 11: b, 12: a, 13: c, 14: b, 15: b.

B) Za učenike VII razreda

1: b, 2: c, 3: b, 4: b, 5: c, 6: a, 7: b, 8: c, 9: c, 10: d, 11: c, 12: a, 13: a, 14: a, 15: b.

C) Za učenike VIII razreda

1: c, 2: a, 3: b, 4: c, 5: c, 6: c, 7: b, 8: c, 9: b, 10: e, 11: d, 12: a, 13: b, 14: b, 15: c.

D) Za učenike I razreda usmerenog obrazovanja

1: c, 2: b, 3: a, 4: b, 5: a, 6: c, 7: a, 8: d, 9: d, 10: d, 11: c, 12: c

E) Za učenike II razreda usmerenog obrazovanja

1: c, 2: b, 3: b, 4: d, 5: c, 6: a, 7: d, 8: e, 9: a, 10: d, 11: d, 12: a, 13: b, 14: c, 15: d, 16: b, 17: a, 18: c, 19: e, 20: c.

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

KUPON

UČENIK .....

ŠKOLA I RAZRED .....

NASTAVNIK .....

ADRESA UČENIKA .....

ODGOVORI NA ZADATKE PITANJA IZ MF 27

A) I zavrtanj i saksija će u istom trenutku pasti na zemlju. Dugo se, naime, verovalo u Aristotelovo tvrđenje da metalni predmet, kao teži, pada brže od drvenog. Galilej je sa čuvene krive kule u Pizi puštao topovsku đulad i puščana zrna. Opovrgao je Aristotelovo učenje, a potvrdio eksperimentalni zaključak dvojice Flamanaca, Stevina i Grosija: topovskom đuletu i puščanom zrnu bilo je potrebno isto vreme da stignu do tla. Zaista, u izrazu za brzinu tela pri slobodnom padu vreme ne postoji.

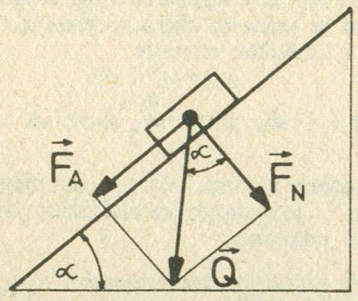
B) Brzina prostiranja zvučnih talasa direktno je srazmerna kvadratnom korenu iz apsolutne temperature gasa. Uveče, kada je nebo vedro, dolazi do brzog hlađenja tla, što dalje dovodi do hlađenja donjih slojeva vazduha. Temperatura vazduha raste sa visinom, pa se zraci zvuka znatnije savijaju naniže. Otuda je čujnost pred veče bolja.

C) Vazdušni elektricitet i elektricitet na Zemlji međusobno održavaju ravnotežu: Zemlja iz atmosfere neprekidno dobija izvesnu količinu elektriciteta, ali nižim slojevima atmosfere, takođe, neprestano odaje elektricitet. Međutim, neki elektroni, zbog raznovrsnih sudara sa česticama atmosfere, ne dopiru do Zemljine površine i grupišu se iznad magnetnih polova. Na velikim visinama oni izazivaju svetlucanje (fluorescenciju) razređenih gasova, tzv. polarnu svetlost.

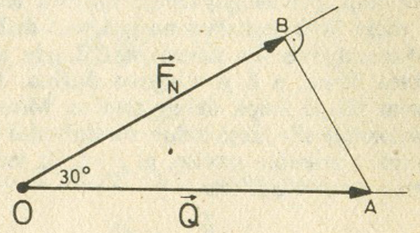
D) Promena vazdušnog pritiska na jednom mestu nastaje zbog kolebanja temperature vazduha. Ukoliko je temperatura vazduha niža, pritisak je viši, i obrnuto. Zimski monsun duva s rashlađenog kopna, iznad kojeg je pritisak visok, prema toplijem moru, gde je pritisak vazduha niži. U toku leta monsuni duvaju s hladnijeg mora, gde je pritisak viši, ka toplijem kopnu, tj. ka oblastima nižeg pritiska. Inače, dolazeći s okeana, letnji monsun donosi obilne kiše.

REŠENJA KONKURSNIH ZADATAKA

348. Pritisak je jednak odnosu sile koja deluje normalno na podlogu i dodirne površine. Znači, treba naći komponentu sile koja je normalna na dodirnu površinu. Težinu tela, koje se nalazi na strmoj ravni, treba razložiti na dve međusobno normalne komponente: jednu paralelno sa strmom ravni, a drugu normalno na nju. Sa slike 1. vidi se da je ugao između normalne komponente težine tela i težine tela jednak uglu strme ravni. Konstrukcijom se dobija da je $F_N = 0{,}866\ Q$. Konstrukcija se izvodi tako što se prvo nacrta dati ugao pomoću uglomera, zatim se na jedan krak nanese intenzitet težine tela. Iz vrha vektora Q (tačka A) povuče se normala na drugi krak ugla (sl. 2). Dužina $\overline{OB}$ predstavlja intenzitet vektora F_N. U konkretnom primeru



Slika 1



Slika 2

treba sabrati težine sanki i deteta, a zatim naći normalnu komponentu ovog zbira sila. Znači,

$$F_N = 0{,}866\ (Q_1 + mg),$$

gde je Q_1 težina sanki, a m je masa deteta. Pritisak na podlogu iznosi

$$p = \frac{F_N}{S} = \frac{0{,}866\ (Q_1 + mg)}{S} = 31{,}2\ \text{kPa}.$$

349. Ako se zanemari trenje, onda je sila data uslovom ravnoteže na strmoj ravni $F_1 : Q = h : L$, gde je Q težina tereta, h je visina strme ravni (visina vozila), a L je dužina daske. Sledi da je

$$F = \frac{Q \cdot h}{L}.$$

Sila F_1 je minimalna sila kojom se teret može pokrenuti uz dasku, ako se trenje zanemari. Ako se uzme u obzir i sila trenja, onda tražena sila iznosi:

$$F \geqslant F_1 + F_{tr} = \frac{Q \cdot h}{L} + F_{tr} = 392 \text{ N}.$$

350. Površinu Zemlje dodirnuće ono dete čiji je moment, koji potiče od njihove težine, veći. Moment sile dečaka je

$$M_2 = \frac{Q \cdot L}{2} = 400 \text{ Nm},$$

gde je Q_1 težina dečaka, a L je dužina klackalice. Moment sile devojčice je

$$M_1 = mgd = 441{,}45 \text{ Nm},$$

gde je m masa devojčice, a d je njeno rastojanje od ose obrtanja. Kako je $M_1 < M_2$, to znači da površinu Zemlje dodiruje devojčica.

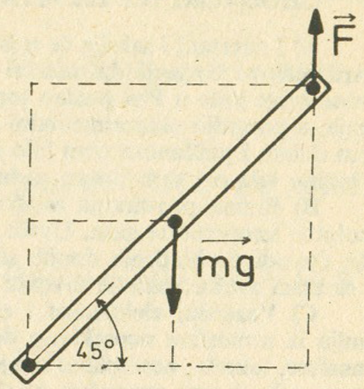
351. Da bi štap mirovao u horizontalnom položaju, treba da su momenti sila koji deluju na njega uravnoteženi. Na štap, pre svega, deluje njegova težina u tački koja se nalazi na polovini dužine. Moment ove sile iznosi $mgL/2$, gde je m masa štapa, a L je njegova dužina. Moment težine štapa deluje naniže. Moment nepoznate sile, koja deluje na slobodni kraj štapa vertikalno naviše, je $F \cdot L$. Iz jednakosti momenata sila

$$mg \cdot \frac{L}{2} = F \cdot L,$$

sledi da je intenzitet sile kojom treba delovati na slobodni kraj štapa, da bi ovaj bio u horizontalnom položaju, jednak polovini intenziteta težine štapa:

$$F = \frac{m \cdot g}{2} = 2{,}943 \text{ N}.$$

352. U ovom primeru moment težine štapa je manji nego u prethodnom zadatku, zato što je manji krak ove sile. Krak težine tela je manji od polovine dužine štapa onoliko puta koliko je strana kvadrata manja od njegove dijagonale (sl. 3). Isti način rezonovanja važi i za krak sile F, koja deluje na slobodni kraj štapa vertikalno naviše. Znači, kraci obe sile su se smanjili na isti način, iz čega sledi da između sile F i težine štapa postoji isti odnos kao u prethodnom zadatku: $F = mg/2 = 2{,}943$ N.



Slika 3

353. Sila koja deluje na telo saopštava mu ubrzanje F/m, tako da ono počinje da se kreće jednako ubrzano. Brzina tela je data relacijom

$$v_1 = v + \frac{F}{m} \cdot t,$$

gde je m masa tela. Ako se ovaj izraz za brzinu zameni u izraz za kinetičku energiju tela, dobija se

$$E_k = \frac{m}{2}\left(v + \frac{F}{m}t\right)^2.$$

Posle sređivanja dobija se kvadratna jednačina po m:

$$m^2v^2 - 2m(E_k - Fvt) + F^2t^2 = 0,$$

koja posle zamene brojnih vrednosti (sve veličine su izražene u SI-sistemu) ima oblik

$$m^2 - 39\,m + 324 = 0.$$

Rešenja ove jednačine, a i postavljenog zadatka, su $m_1 = 27$ kg i $m_2 = 12$ kg.

354. Ukupna energija aviona pri uzletanju je jednaka njegovoj kinetičkoj energiji $E_1 = mv_1^2/2$. Ukupna energija aviona u vazduhu je jednaka zbiru njegove potencijalne i kinetičke energije

$$E_2 = mgh + \frac{mv_2^2}{2}.$$

Rad motora aviona, utrošen na njegovo podizanje, jednak je razlici ovih dveju energija, odnosno

$$A = E_2 - E_1 = mgh + \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = 127 \text{ MJ}.$$

355. Količina toplote koju termometar primi od vode iznosi $Q_1 = C(t_1 - t_2)$. Količina toplote koju voda preda termometru je $Q_2 = mc_v(t_x - t_1)$, gde je m masa vode, a t_x je njena stvarna temperatura. Pošto se pretpostavlja da nema gubitaka toplote, to je $Q_1 = Q_2$, odnosno

$$C(t_1 - t_2) = mc_v(t_x - t_1).$$

Rešavanjem gornje jednačine po t_x, dobija se da stvarna temperatura vode iznosi

$$t_x = \frac{C(t_1 - t_2)}{mc_v} + t_1 = 35{,}56\ ^\circ\text{C}.$$

356. U opštem slučaju postoji više mogućnosti (tačnije, četiri) stanja sistema posle uspostavljanja toplotne ravnoteže: a) sav led se istopio i temperatura vode je viša od $t_0 = 0°$C; b) sva voda se zamrzla i temperatura u kalorimetru je niža od t_0; c) temperatura smeše je t_0, a deo leda se otopio i d) temperatura smeše je t_0, a deo vode se zamrznuo.

Ako se voda ohladi do temperature t_0, ona preda količinu toplote

$$Q_1 = m_1c_v(t_1 - t_0) = 42 \text{ kJ}.$$

Ako se led zagreje do temperature t_0, on mora da primi količinu toplote

$$Q_2 = m_2c(t_0 - t_2) = 294 \text{ kJ}.$$

Pošto je $Q_1 < Q_2$, to je moguća samo druga ili četvrta, od gore pomenute četiri varijante. Ako se sva voda zamrzne, ona sistemu, pored Q_1, preda količinu toplote

$$Q_3 = m_1 \cdot \lambda = 660 \text{ kJ}.$$

Sledi da je jedino moguća četvrta kombinacija, jer je $Q_1 + Q_3 < Q_2$. Prema tome, temperatura smeše iznosi $t_s = t_0 = 0\ ^\circ$C, odnosno deo vode (mase m_x) se zamrznuo. Za prelazak ovog dela vode, na temperaturi t_0, u led potrebna je količina toplote $Q_4 = m_x\lambda$.

Iz jednačine toplotnog bilansa

$$Q_1 + Q_4 = Q_2,$$

dobija se da masa vode pretvorene u led iznosi

$$m_x = \frac{Q_2 - Q_1}{\lambda} = 0{,}764 \text{ kg}.$$

Znači, posle uspostavljanja toplotne ravnoteže, u kalorimetru se na temperaturi $t_s = t_0 = 0\ ^\circ$C nalazi smeša vode i leda. Masa vode je $m_v = m_1 - m_x$, a leda $m = m_2 + m_x$. Njihove zapremine su

$$v_1 = \frac{m_v}{\rho_1} = \frac{m_1 - m_x}{\rho_1} = 1{,}24 \cdot 10^{-3}\ m^3$$

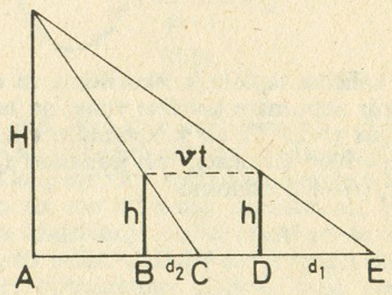
i

$$v_2 = \frac{m}{\rho_2} = \frac{m_2 + m_x}{\rho_2} = 5{,}18 \cdot 10^{-3}\ m^3,$$

tako da je ukupna zapremina sadržaja $V = V_1 + V_2 = 6{,}42 \cdot 10^{-3}$ m³.

357. Sa slike 4. vidi se da je $H/\overline{AC} = h/d_2$, odnosno

$$\frac{H}{\overline{AB} + d_2} = \frac{h}{d_2}. \qquad (1)$$



Slika 4

Isto tako je $H/\overline{AE} = h/d_1$, odnosno

$$\frac{H}{\overline{AD} + d_1} = \frac{h}{d_1}.$$

Kako je $BD = vt$, to se poslednja relacija može napisati u obliku

$$\frac{H}{\overline{AB} + vt + d_1} = \frac{h}{d_1}. \qquad (2)$$

Iz jednačine (1) rešavanjem po $\overline{AB}$ dobija se

$$\overline{AB} = \frac{Hd_2}{h} - d_2.$$

Zamenom ovog izraza u jednačini (2) i rešavanjem po H, dobija se da tražena visina stuba iznosi

$$H = \frac{vt + d_1 - d_2}{d_1 - d_2}\,h = 10{,}15 \text{ m}.$$

358. Za podizanje tereta iskorišćena je snaga

$$P=\frac{F\cdot h}{t}\quad (F\text{-težina tereta}).$$

Pošto je uložena snaga $P_0=3\text{kW}$, to je koeficijent korisnog dejstva dizalice

$$\eta=P/P_0=\frac{F\cdot h}{P_0\cdot t}=0{,}3.$$

359. Koeficijent korisnog dejstva je jednak odnosu iskorišćene i uložene toplote $\eta=Q/Q_0$. Izgubljena količina energije je

$$\Delta Q=Q_0-Q.$$

Iz ovih dveju relacija sledi da je iskorišćena energija jednaka

$$Q=\frac{\eta\cdot\Delta Q}{1-\eta}.$$

Ova količina toplote je iskorišćena za dovođenje nepoznate količine vode, na temperaturi $t=23°$ C, do temperature ključanja $t_1=100°$ C. Znači, važi jednakost $Q=mc_v(t_1-t)$, odnosno

$$\frac{\eta\cdot\Delta Q}{1-\eta}=mc_v(t_1-t).$$

Odavde se dobija da masa vode koja je dovedena do temperature ključanja iznosi

$$m=\frac{\eta\cdot\Delta Q}{c_v(t_1-t)(1-\eta)}=19{,}7\text{ kg}.$$

360. Snaga koju razvija trolejbus je jednaka proizvodu vučne sile i brzine $P=F_v\cdot v$, gde je F_v vučna sila, a v je brzina kretanja. Snaga koja se razvija u elektromotoru je $P_0=UI$. Kako između P i P_0 postoji veza $P=\eta P_0$, to sledi

$$F_v v=\eta UI.$$

Odavde je jačina struje u elektromotoru jednaka

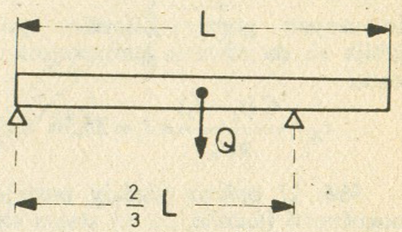
$$I=\frac{F_v\cdot v}{\eta\cdot U}=145{,}8\ A.$$

361. Kako rastojanju između dva trbuha odgovara cela talasna dužina, onda je brzina prostiranja talasa brojno jednaka talasnoj dužini, odnosno $v=4$ m/s.

362. Pošto je brzina prostiranja elektromagnetnih talasa jednaka brzini svetlosti, to je talasna dužina oscilovanja jednaka $\lambda=c\cdot T=3\cdot10^8\text{m/s}\cdot10^{-4}=3\cdot10^4\text{ m}$.

363. Kada je neko telo u ravnoteži (kada miruje) onda je: zbir svih sila koje deluju na telo jednak nuli i zbir svih momenata sila, u odnosu na bilo koju osu, jednak nuli. Ako se sile reakcije podupirača označe sa F_L i F_D, onda se zakon sila svodi na jednakost (sl. 5)

$$Q-F_L-F_D=0.$$



Slika 5

Ravnoteža momenata sila u odnosu na osu koja je normalna na ravan slike i prolazi kroz tačku dodira daske i levog podupirača svodi se na relaciju

$$\frac{QL}{2}-F_L\cdot0-F_D\cdot\frac{2}{3}\cdot L=0,$$

iz koje se nalazi da je sila reakcije desnog podupirača, a prema tome i sila kojom daska deluje na desni podupirač, jednaka

$$F_D=\frac{3}{4}Q=75\text{ N}.$$

Zamenom ove vrednosti u prvu relaciju dobija se da daska deluje na levi podupirač silom čija je brojna vrednost

$$F_L=Q-F_D=\frac{1}{4}Q=25\text{ N}.$$

364. Na telo u toku kretanja deluju dve sile: težina i elastična sila opruge koja je proporcionalna udaljenosti tela od ravnotežnog položaja ($F_{el}=-kx$). Drugi Njutnov zakon za ovaj slučaj glasi:

$$ma=mg-kx,$$

gde je x rastojanje između početnog položaja tela i trenutnog položaja, kako je dato na sl. 6. Gornja relacija može da se napiše u obliku

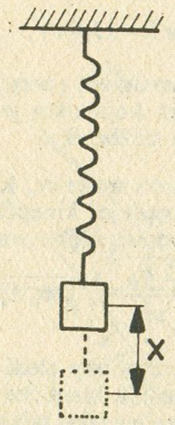
$$a=g-\frac{k}{m}\cdot x.$$

U trenutku kada telo postiže maksimalnu brzinu njegovo ubrzanje je jednako nuli

$$o=g-\frac{k}{m}x_1,$$

pa je $x_1=g\frac{m}{k}$ (x_1 — rastojanje između početnog položaja tela i položaja u kome postiže maksimalnu brzinu). Zakon održanja energije za ovaj i početni položaj glasi

$$mgx_1=\frac{m}{2}\cdot v_m^2+\frac{k}{2}\cdot x_1^2.$$



Slika 6

Posle zamene izraza za x_1 u ovu relaciju dobija se da maksimalna brzina tela iznosi

$$v_m=g\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

365. Ako se prsten podeli na male delove dužine ΔL_i, koji su mali u poređenju sa poluprečnikom prstena R (sl. 7), onda se naelektrisanje Δq_i koje se nalazi na delu ΔL_i može posmatrati kao tačkasto. Ono u tački A ima potencijal

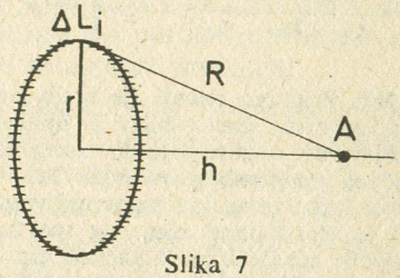
$$\varphi_i=\frac{\Delta q_i}{4\pi\varepsilon_0 R}.$$

Potencijal u tački A koji potiče od celog prstena jednak je zbiru potencijala od svih odsečaka prstena

$$\varphi=\varphi_1+\varphi_2+\varphi_3+\cdots=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0 R}(\Delta q_1+\Delta q_2+\Delta q_3+\cdots).$$

U zagradi se nalazi zbir naelektrisanja svih odsečaka, a on je jednak ukupnom naelektrisanju prstena q. Kako je još $R=\sqrt{r^2+h^2}$, to je traženi potencijal u tački A jednak

$$\varphi=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{r^2+h^2}}=54\text{ V}.$$



Slika 7

366. Ako su naelektrisanja q i Q istog znaka, onda je za udaljavanje kuglice dovoljno istoj saopštiti beskonačno malu brzinu. Ako su naelektrisanja raznoimena, onda je za udaljavanje kuglice potrebno da joj se saopšti toliko energije da bi mogla da savlada potencijalnu barijeru, koja postoji zbog prisustva prstena. Znači, potrebno je da je

$$\frac{m}{2}\cdot v^2>q\cdot\varphi_0,$$

gde je

$$\varphi_0=\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

potencijal koji potiče od naelektrisanog prstena u njegovom centru (vidi prethodni zadatak). Prema tome, minimalna brzina, koju treba saopštiti kuglici da bi otišla u beskonačnost, iznosi

$$v=\sqrt{\frac{|q\cdot Q|}{2\pi\cdot\varepsilon_0 r}}=0{,}73\ \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

367. Jačina struje u konturi je jednaka odnosu rezultantne elektromotorne (indukovane) sile i ukupnog električnog otpora

$$I=\frac{E}{4(a+b)r}.$$

Znači, treba odrediti ukupnu indukovanu elektromotornu silu. Pošto se u konturi indukuju dve *ems* suprotnog smera i proporcionalne površinama delova konture,

to je ukupna *ems* jednaka $E=E_1-E_2$, gde je

$$E_1=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta(BS_1)}{\Delta t}=S_1\frac{B_0\Delta t}{\Delta t}=a^2B_0$$

i $$E_2=b^2B_0.$$

Zamenom ovih izraza u prvu relaciju, dobija se da tražena jačina struje iznosi

$$I=\frac{B_0(a^2-b^2)}{4(a+b)r}=\frac{B_0}{4r}(a-b)=0{,}5\,\text{mA}.$$

368. Prilikom interakcije brzih elektrona s atomima »mete« dolazi do njihovog kočenja, usled čega nastaje emitovanje tzv. zakočnog rendgenskog zračenja. Osnovna karakteristika ovog tipa rendgenskog zračenja je neprekidnost njegovog spektra i postojanje određene kratkotalasne granice spektra. Prilikom kočenja, deo kinetičke energije elektrona transformiše se u energiju *X*-kvanta. Ostali deo kinetičke energije troši se na zagrevanje mete. U graničnom slučaju celokupna kinetička energija elektrona prelazi u energiju jednog kvanta *X*-zraka, tj. obrazovanje jednog fotona. Kako kinetička energija elektrona, koji se ubrzao u električnom polju pri potencijalnoj razlici U, iznosi eU, na osnovu zakona o održanju energije sledi da je maksimalna energija kvanta *X*-zraka $h\nu_{max}=hc/\lambda_{min}=eU$. Odavde lako možemo odrediti vrednost Plankove konstante h, znajući vrednosti kratkotalasne granice spektra rendgenskog zračenja λ_{min} i potencijalne razlike U:

$$h=\lambda_{min}\,eU/c=6{,}6\cdot10^{-34}\,\text{J}.$$

369. Jonizacija atoma ostvaruje se udaljavanjem elektrona iz orbite definisane kvantnim brojem n u beskonačnost ($m=\infty$). Kako je energija elektrona u stanju n i m ($m>n$):

$$E_n-E_m=hcr\left(\frac{1}{n^2}-\frac{1}{m^2}\right)=\frac{m_e e^4 h}{(4\pi\varepsilon_0)^2\,4\pi\hbar^2}\cdot$$

$$\left(\frac{1}{n^2}-\frac{1}{m^2}\right)=\frac{m_e}{8}\frac{e^4}{\varepsilon_0^2h^2}\left(\frac{1}{n^2}-\frac{1}{m^2}\right),$$

sledi da je za jonizaciju sa n-te orbite potrebno izvršiti rad:

$$A_4=\frac{m_e e^4}{128\,\varepsilon_0^2h^2}=0{,}85\,\text{eV}.$$

Ovaj rad je $n^2=4^2=16$ puta manji od rada potrebnog za jonizaciju atoma vodonika sa prve orbite ($E_1=13{,}6$ eV).

370. Celokupan spektar,odnosno sve linije svih serija, atoma vodonika pojaviće se pri njegovoj jonizaciji, tj. udaljenju elektrona iz prve orbite ($n=1$) u beskonačnost ($m=\infty$). Kako je razlika energija elektrona u kvantnom stanju n i m ($m>n$) definisana izrazom

$$E_n-E_m=hcR\left(\frac{1}{n^2}-\frac{1}{m^2}\right),$$

sledi, za $n=1$, $m=\infty$, $\Delta E=E_{jon}=E_1-$

$-E=E_1-0=hcR=13{,}6$ eV,

što odgovara vrednosti energije jonizacije atoma vodonika koja nam je poznata iz tablica datih u udžbeniku.

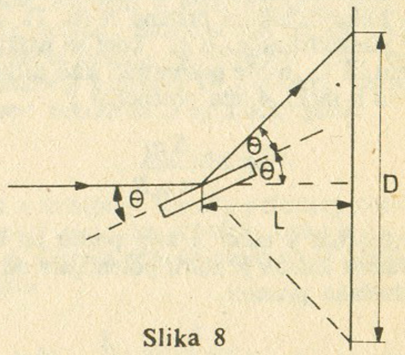
371. Elektron mase m_e koji se kreće brzinom v poseduje kinetičku energiju $E_k=m_e v^2/2$. Impuls elektrona iznosi $p=$

$$=m_ev_e=m_e\sqrt{\frac{2E_k}{m_e}}=\sqrt{2m_eE_k}.$$

Na osnovu prethodnog sledi da je elektronu koji poseduje kinetičku energiju E_k pridružen de Broljev talas talasne dužine λ:

$$\lambda=h/p=h/\sqrt{2m_e\cdot E_k}.$$

Znači, slično rendgenskim zracima, ovi elektroni mogu difragovati na kristalnoj rešeci kod koje postoje slojevi atomskih ravni razmaka d. Na osnovu Bragovog uslova za difrakciju: $n\lambda=2d\sin\theta$, sledi



Slika 8

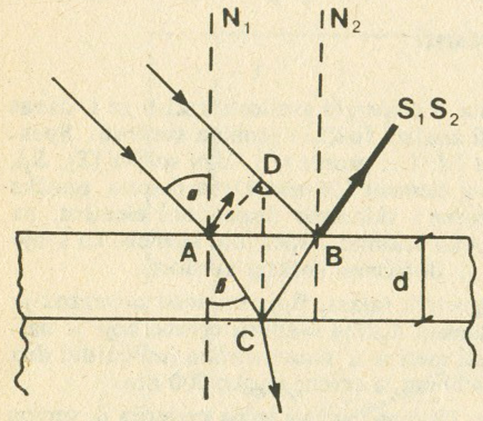
(Nastavak na strani 23)

(Nastavak sa str. 16)

gde je n_0 indeks prelamanja antirefleksivnog sloja, a n je indeks predeks prelamanja stakla. Iz gornje relacije sledi

$$n_s=\sqrt{n}.$$

Za staklo čiji je indeks prelamanja $n=1{,}50$ antirefleksioni sloj treba da ima indeks prelamanja $n_0=1{,}22$.



Slika 3.

Debljina antirefleksionog sloja mora biti takva da putna razlika zraka 1 i 2 bude jednaka polovini talasne dužine svetlosti (tj. u opštem slučaju neparnom broju polovina talasnih dužina):

$$\Delta x=n_s(AC+CB)-nDB=\lambda/2,$$

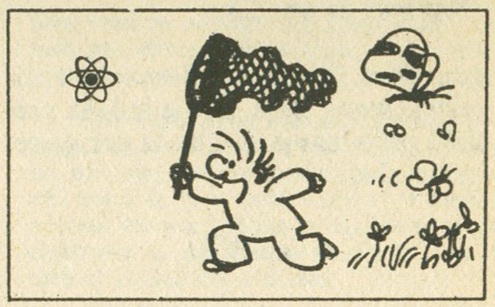
što posle određenih matematičkih transformacija daje za debljinu sloja ($d=\Delta x$)

$$d=\frac{\lambda}{4\,n_s\cos\beta}.$$

Vidimo da je debljina sloja određena talasnom dužinom svetlosti, indeksom prelamanja antirefleksionog sloja i veličinom upadnog ugla. Znači da uslovi potpunog gašenja svetlosti mogu biti ispunjeni samo za zrake određene talasne dužine i pri određenom upadnom uglu; za zrake ostalih talasnih dužina, koji padaju pri drugim upadnim uglovima, ne dolazi do potpunog gašenja, ali im se intenzitet smanjuje.

Obzirom da slojevi posmatrani u reflektovanoj svetlosti imaju najčešće karakterističnu plavu boju, ova tehnika nanošenja refleksionih slojeva na optičke elemente naziva se *»plava optika«*. U praksi se, međutim, obično vrši proračun debljine slojeva za zelenu svetlost talasne dužine 555 nm.

Danas optička industrija raspolaže tehnologijom koja joj omogućava nanošenje slojeva najrazličitijih debljina. Ono što je znatno teže ispuniti jeste uslov da indeks prelamanja, naročito za stakla malog indeksa prelamanja, jer je izbor materijala mali. Danas se za izradu antirefleksionih slojeva koriste fluoridi magnezijuma, litijuma, natrijuma i kalcijuma. Pri tome, da bi se gubici na odbijanje pri prelamanju svetlosti sveli na najmanju moguću meru, vrši se nanošenje dvostrukih ili višestrukih slojeva sa različitim indeksima prelamanja. Ovim se, uz odgovarajući izbor materijala i debljine sloja, može ostvariti gašenje u širokom opsegu talasnih dužina i upadnih uglova. Višestruki slojevi smanjuju koeficijent refleksije i do 0,5% i odlikuju se visokom mehaničkom postojanošću.



ELEKTROMAGNETNO ZRAČENJE SUNCA

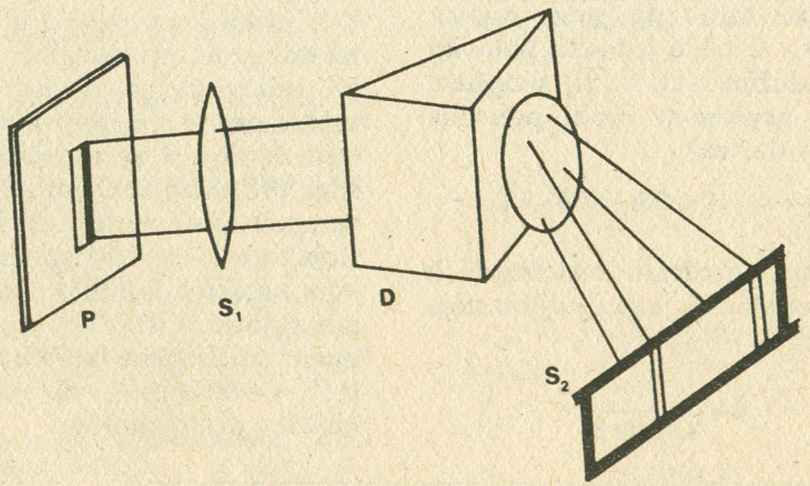
IŠTVAN VINCE (Beograd)

Spektar svetlosti

Princip poznatog Newtonovog eksperimenta o disperziji svetlosti koristi se i danas pri konstrukciji spektralnih aparata kojima se vrši analiza fizičkih osobina svetlosti. Spektralni aparat sastoji se od sledećih glavnih delova (sl. 1.): prorez (P), dva sočiva (S_1, S_2), koja preslikavaju prorez na ekran (E) i disperzioni element (D — staklena prizma, optička rešetka itd.). Ako osvetlimo belom svetlošću prorez i sklonimo disperzioni element, na ekranu će se dobiti lik proreza u beloj svetlosti. Ako vratimo disperzioni element na svoje mesto, dobićemo niz likova proreza raznih boja, tj. dobićemo spektar svetlosti.

Pokazalo se da je svetlost skup elektromagnetnih talasa. Boja svetlosti povezana je sa talasnom dužinom elektromagnetnih talasa. Talasna dužina svetlosti crvene boje je najduža, a ljubičaste najkraća. Talasna dužina svetlosti meri se u nanometrima (milijarditi deo metra). Talasna dužina ljubičaste svetlosti je oko 400 nm, a crvene je oko 700 nm.

Razni svetlosni izvori imaju različit spektar. Usijana čvrsta i tečna materija ili veoma gusti gasovi emituju tzv. *kontinualni* (*neprekidni*) *spektar*, dok retki usijani gasovi emituju *linijski*. Hladni gasovi apsorbuju svetlost određene talasne dužine: tako nastaje *linijski apsorpcioni spektar*.



Sl. 1. Šematski prikaz spektralnog aparata

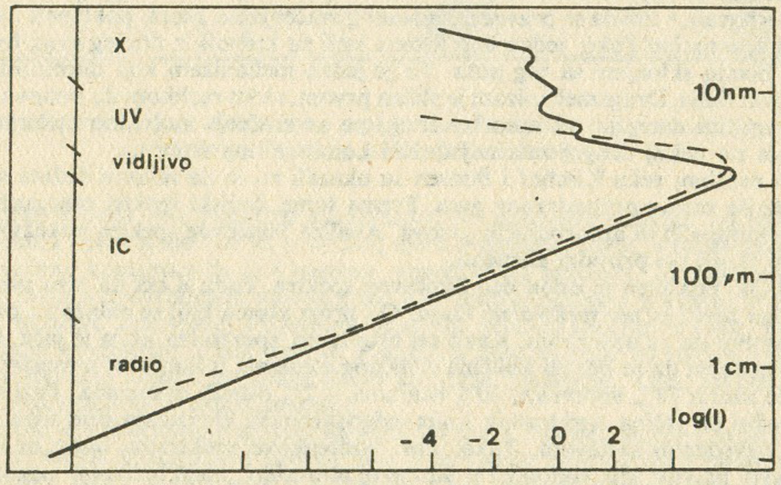
Karakteristika neprekidnog spektra je da se raznobojni likovi proreza spektralnog aparata neprekidno ređaju jedan pored drugog. Linijski emisioni spektar sastoji se od raznobojnih svetlih likova proreza koji su razdvojeni. Apsorpcioni linijski spektar sastoji se od kontinualnog spektra koji je ispresecan tankim crnim linijama.

Formiranje kontinualnog, emisionog i apsorpcionog spektra povezano je sa osobinama materije koja zrači, odn. apsorbuje. Proučavanje spektara omogućava dobijanje podataka o makroskopskim i mikroskopskim parametrima materije.

Spektar Sunca

U prošlom broju *Mladog fizičara* upoznali smo se sa strukturom Sunca i sa nekim formacijama u fotosferi. Videli smo da fotosfera zrači najveći deo Sunčeve energije. Ovo zračenje nosi sa sobom veoma mnogo informacija o Suncu. Dešifrovanje ovih informacija zadatak je one grane astronomije koja se bavi Suncem.

Jedno od najmoćnijih oruđa u proučavanju Sunčevog zračenja je spektralni aparat. Uperimo li ga ka Suncu, pojaviće se spektar Sunca na ekranu. Spektar se sastoji od neprekidnog i apsorpcionog spektra. U nekim specifičnim situacijama (npr. pomračenje Sunca)



Sl. 2. Raspodela intenziteta zračenja Sunca (neprekidna linija) i crnog tela

može da se posmatra i linijski emisioni spektar. Mi ćemo se zadržati na kontinualnom i apsorpcionom spektru.

Karakteristika spektra je *raspodela inteoziteta zračenja u zavisnosti od talasne dužine*.

U slučaju kontinualnog spektra raspodela intenziteta zračenja po talasnoj dužini u velikoj meri zavisi od temperature objekta koji zrači. Povećavanjem temperature raste intenzitet zračenja, a maksimalna vrednost intenziteta pomera se ka kratkim talasnim dužinama. U idealnom slučaju, kao što je zračenje tzv. *crnog tela*, temperatura potpuno određuje raspodelu intenziteta. Proučavanje zračenja crnog tela dovelo je do tri veoma važna zakona:

1. Talasna dužina maksimalnog intenziteta zračenja je obrnuto proporcionalna temperaturi (*Wienov zakon*);
2. Ukupna energija zračenja sa jedinice površine u jedinici vremena je proporcionalna četvrtom stepenu temperature (*Stefan-Boltzmanov zakon*);
3. Ceo tok raspodele intenziteta zračenja po talasnoj dužini opisuje se *Planckovim zakonom*).

Na sl. 2. je prikazana raspodela intenziteta zračenja kontinualnog spektra Sunca (neprekidna linija) i njemu najbolje prilagođena kriva Planckovog zakona (isprekidana linija). Na osnovu ove dve krive i Wienovog zakona, možemo izračunati temperaturu Sunčeve materije iz koje potiče neprekidno zračenje. Dobija se oko 6000 K.

Postoje, međutim, očite razlike u toku ovih krivih. Naročito je upadljiva razlika u ultraljubičastom i rendgenskom delu zračenja. Ove razlike ukazuju na činjenicu da ultraljubičasto i rendgensko zračenje Sunca potiče od materije čije osobine se ne mogu uporediti sa osobinama crnog tela. To su uglavnom oblasti iznad fotosfere.

Na sl. 2. zanemarena je jedna veoma važna karakteristika Sunčevog zračenja, prisustvo tzv. *Fraunhoferovih linija*. Fraunhoferove linije su apsorpcione spektralne linije. Otkrio ih je Wollaston u spektru Sunca 1802. godine. Godine 1815. Fraunhofer ih je detaljno opisao i odredio položaj oko 500 apsorpcionih linija u vidljivom delu spektra. Najupadljivije linije označio je slovima *abcde*. Danas je u spektru Sunca identifikovano više od 20 hiljada apsorpcionih linija. One se mogu naći u tzv. katalozima Sunčevog spektra, gde su date, pored njihovih talasnih dužina, i neke druge karakteristike, dok je u tzv. atlasima spektra Sunca grafički data raspodela intenziteta sa talasnom dužinom.

Nastanak Fraunhoferovih linija je veoma složen. Potpuna teorija formiranja Fraunhoferovih linija ne postoji. Ipak, da bismo uočili neke glavne karakteristike Sunčevog spektra, prikazaćemo jednu uprošćenu sliku formiranja apsorpcionih linija na Suncu. U tome će nam pomoći atomska fizika.

Zamislimo fotosferu kao sloj gasa koji se sastoji iz dva dela. Donji deo koji je bliži Sunčevoj unutrašnjosti topliji je i gušći, pa zrači neprekidni spektar, a iznad njega nalazi se hladniji deo koji vrši apsorpciju. Iz atomske fizike znamo da su atomi sposobni da apsorbuju samo određenu količinu energije, odnosno fotone određene energije, tj. svetlost određene talasne dužine. Atom koji je apsorbovao energiju prelazi u stanje sa višom energijom, ili, kako se to obično kaže, u pobuđeno stanje. Atom se u tom stanju nalazi veoma kratko vreme i ako nije ometan spolja, vraća se u prvobitno stanje, emitujući zračenje iste talasne dužine koju je i apsorbovao, s tim da se pravac emitovanog zračenja ne mora poklapati sa pravcem zračenja pre apsorpcije. Tako, jedan deo fotona koji su krenuli iz donjeg sloja fotosfere ka posmatraču bivaju sklonjeni sa tog puta. To je jedan mehanizam koji doprinosi stvaranju Fraunhoferovih linija. Drugi mehanizam je sličan prvom, s tom razlikom da ponovo emitovani foton ima različitu energiju od apsorbovanog, pa se zračenje zadržano apsorpcionom linijom emituje na nekoj drugoj talasnoj dužini kontinualnog zračenja.

Već u prošlom veku Kirchof i Bunsen su ukazali na to da talasna dužina spektralnih linija karakteriše sastav posmatranog gasa. Prema tome, linijski spektri omogućavaju analizu sastava emitujućih ili apsorbujućih gasova. Analiza Sunčevog spektra pokazuje da se na Suncu nalaze skoro svi prirodni elementi.

Na sl. 3a. prikazan je jedan deo Sunčevog spektra. Pada u oči da nisu sve linije iste jačine. *Od čega zavisi jačina spektralnih linija?* Od broja atoma koji se nalaze na putu fotona i koji su sposobni da ga apsorbuju. Kako taj broj raste, spektralna linija je jača. Ova činjenica daje mogućnost da se odredi količina dotičnog elementa u Sunčevoj atmosferi. Tako se zna da Sunce sadrži 78% vodonika, 20% helijuma, i 2% ostalih elemenata. Pažljivi posmatrač može uočiti da jačina spektralnih linija odgovarajućih elemenata nije uvek u proporciji sa gore navedenim sastavom. Tako, npr. vodonikove spektralne linije, ne dominiraju po jačini, iako najviše ima vodonika u Sunčevoj atmosferi; linije helijuma uopšte ne možemo naći među Fraunhoferovim linijama, iako je helijum drugi po rasprostranjenosti na Suncu. Prema tome, očigledno je da jačina linija zavisi, pored broja apsorbujućih atoma, i od drugih parametara. Ti parametri su vezani sa osobinama samih atoma i s uslovima u kojima se oni nalaze (npr. temperatura, pritisak, gustina gasa itd.). S druge strane, ako znamo kako atom reaguje na spoljašnje uslove i kako ta reakcija utiče na spektralne linije tog atoma, analizom sektralnih linija možemo naći osobine materije iz koje potiče zračenje.

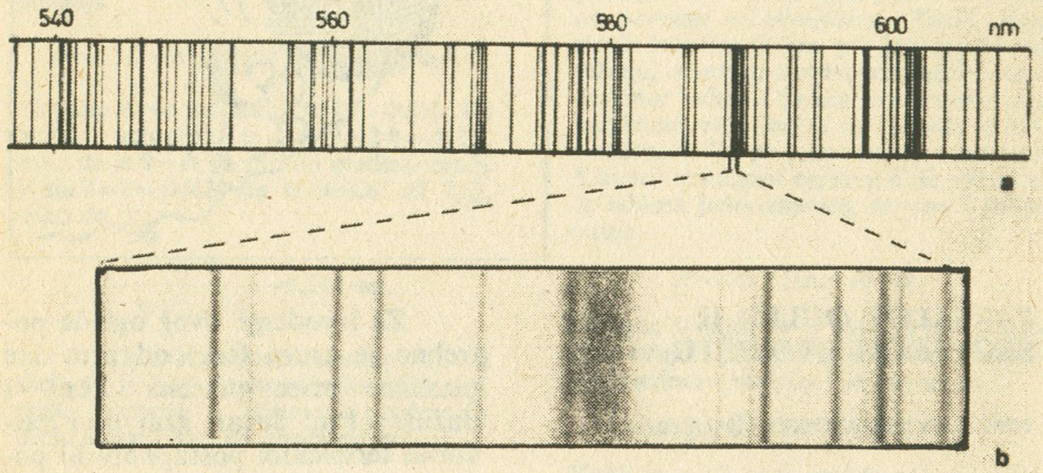
Na sl. 3b. prikazan je jedan uski deo Sunčevog spektra. Najjača linija u tom spektru potiče od neutralnog natrijuma (NaI), a sledeća po jačini od nikla (Ni I). Ostale linije su takozvane telurske linije koje nastaju apsorpcijom od strane vodene pare u Zemljinoj atmosferi. *Kakve podatke možemo dobiti prilikom analize takvog spektrograma?*

Jedan od najvažnijih podataka je talasna dužina spektralne linije. Talasna dužina linije nosi informaciju npr. o brzini kretanja materije koja vrši apsorpciju. Naime, relativno kretanje materije u odnosu na posmatrača izaziva promenu talasne dužine spektralne linije koja se može kvantitativno izraziti pomoću Dopplerovog zakona:

$$\Delta\lambda = \lambda \cdot \frac{v}{c},$$

gde je $\Delta\lambda$ promena talasne dužine, λ je talasna dužina u slučaju mirovanja izvora svetlosti, v je relativna brzina gasa, a c je brzina svetlosti. Mereći $\Delta\lambda$, možemo izračunati brzinu v. Posmatranja pokazuju da je materija na Suncu u stalnom kretanju. Može se izmeriti brzina kretanja materije u konvektivnim ćelijama, pegama, fakulama, brzina rotacije Sunca itd.

Veoma bogat izvor informacija je tzv. *profil spektralnih linija*. Pod profilom spektralne linije podrazumeva se raspodela intenziteta spektralne linije u funkciji talasne dužine. Ona se dobija merenjem stepena zacrnjenja fotografije duž spektra.



Sl. 3. Fraunhoferove linije u oblasti oko maksimuma intenziteta neprekidnog zračenja (a); spektrogram uskog dela spektra Sunca (b).

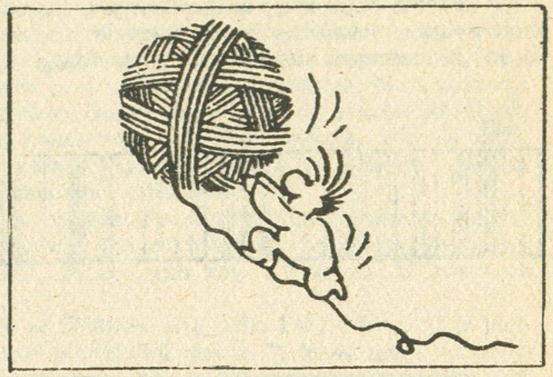
Spektralna linija ima nekoliko karakterističnih parametara. Jedan od najvažnijih je tzv. ekvivalentna širina linije. To je, u suštini, mera intenziteta linije, a predstavlja površinu koja je zahvaćena konturom linije i nivoom neprekidnog zračenja. Ekvivalentna širina je povezana sa brojem apsorbujućih atoma, tako da veliku ulogu igra u kvantitativnoj hemijskoj analizi Sunčeve atmosfere. Poluširina je važna veličina spektralne linije. To je širina spektralne linije na polovini njene dubine. Poluširina nam ukazuje na uslove (temperatura, pritisak, gustina) pod kojima se nalaze atomi koji vrše apsorpciju. Ona, takođe, ukazuje i na tzv. mikroturbulentna kretanja materije.

Mogućna je još detaljnija analiza spektralnih linija. Naime, može se analizirati profil linije tačku po tačku. Svaka tačka profila nosi u sebi neku informaciju o mestu odakle potiče foton. Svaka tačka profila nastaje u tankom sloju atmosfere Sunca na različitoj visini. Prema tome, profil linije sadrži u sebi podatke o vertikalnom preseku fotosfere. Naime, ako se približavamo vrhu (središtu) profila linije, »vidimo« fotone koji potiču iz sve viših i viših slojeva atmosfere.

OBAVEŠTENJE UREDNIŠTVA

Zbog poskupljenja troškova štampe i ekspedicije pretplata za *Mladi fizičar* u školskoj 1983/84. godini iznosiće 200 dinara.

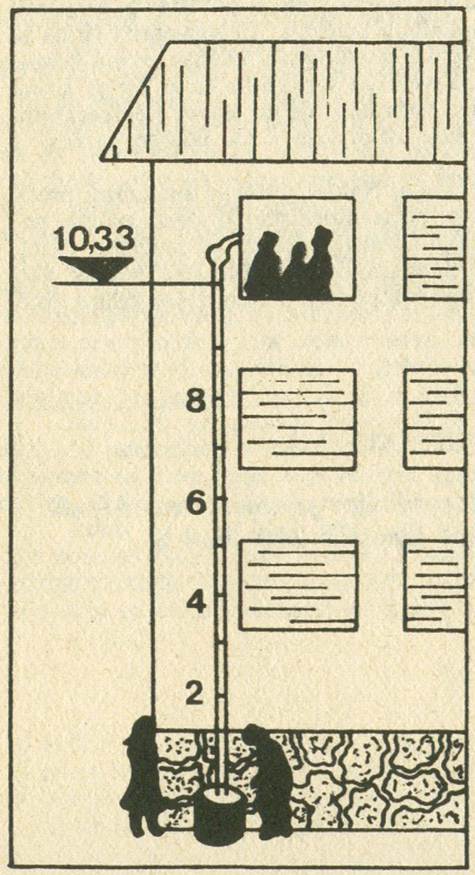
POKUŠAJTE



PASKALOV OGLED U ŠKOLSKOM DVORIŠTU

TOMISLAV SENĆANSKI (Beograd)

I školsko dvorište je laboratorija. Preporučujemo vam *Paskalov eksperiment*, pošto se prethodno podsetite *Toričelijevog*.



Za izvođenje ovog ogleda potrebno je crevo (cev) od providne plastične mase preseka 1 cm² i dužine 11 m. Jedan kraj cevi zatvorite termičkim postupkom ili pomoću lepka. Obeležite je na sledeći način: od otvora cevi, na dužini od 20 cm, načinite prsten od obojene lepljive trake koji će označavati »nulu«, tj. nivo do koga cev treba zaroniti u kofu napunjenu vodom; na svaki dalji metar, na isti način, zalepite obojene prstenove, do desetog podeljka; iznad nivoa od 10 m načinite podelu u centimetrima. Prethodni opis dopunjava priložena slika. Zatvoreni kraj creva vezati dužim kanapom. Cev potom napuniti obojenom vodom i zatvoriti je zapušačem. Postaviti je na zid školske zgrade, tako što slobodan kraj kanapa treba prebaciti preko kotura pričvršćenog za prozor. Cev pažljivo podići u vertikalan položaj. Za to vreme pridržavati zapušač na drugom kraju cevi, a zatim ga valja staviti u kofu sa vodom do podeljka »nula«. Izvući zapušač iz potopljenog kraja cevi: kada se vodeni stub u crevu stabilizuje, očitati njegovu visinu.

Ako je sve dobro urađeno, vodeni stub će se protezati do visine od oko 10,33 m.

(Nastavak sa str. Z256)

da se za ugao θ i refleksiju n-tog reda, difrakcija javlja na ravnima čija su rastojanja

$$d = n\,\lambda/2 \sin\theta = nh/2 \sin\theta \sqrt{2 m_e E_k}.$$

Sa slike 8. se vidi da je $\mathrm{tg}\, 2\theta = D/2L$. Pri malim uglovima je $tg\, 2\theta \simeq 2\theta = D/2L$, tako da je $\theta = D/4L$. Slično prethodnom je i $\sin\theta = \theta = D/4L$ (sa tačnošću od 1%), tako da je:

$$d = \frac{2Lnh}{D\sqrt{2 m_e E_k}} = 0{,}230\ nm.$$

372. Iz zakona radioaktivnog raspada sledi da je broj neraspadnutih jezgara N, posle vremena t, srazmeran početnom broju jezgara N_0 i da opada po zakonu

$$N = N_0 \cdot 2^{-t/T},$$

gde je T vreme (period) poluraspada, tj. vreme za koje se broj raspadnutih jezgara svede na polovinu početnog broja. Kako je masa supstancije srazmerna broju atoma, odnosno jezgara, isti zakon važi i za masu supstancije: preostala masa m supstancije srazmerna je početnoj masi m_0 i opada po zakonu

$$m = m_0\, 2^{-t/T}.$$

Odavde je

$$t = \frac{T}{0{,}693}\, ln \frac{m_0}{m} = 2814 \text{ godina}.$$

Broj raspadnutih jezgara u jedinici vremena — $\Delta N/\Delta t = A$, srazmeran je broju neraspadnutih jezgara

$$-\Delta N/\Delta t = \frac{0{,}693}{T} N = \frac{0{,}693}{T} N_0\, 2^{-t/T}.$$

Da bi odredili početni broj jezgara (atoma), podsetimo se da se u jednom molu supstancije nalazi Avogadrov broj čestica (atoma, odnosno jezgara). U našem slučaju, za radijum je molarna masa 0,226 kg, tako da je $N_0 = m_0 N_A/M$. U datoj masi m_0 broj neraspadnutih jezgara N jednak je početnom broju jezgara N_0, tako da je početna aktivnost $A = -\Delta N/\Delta\ t = 0{,}693 N_0/T = 693 m_0 N_A/TM = 3{,}6 \cdot 10^{13}\ s^{-1}$. Broj jezgara koji se raasadne u stotom delu sekunde u masi m_0 radijuma iznosi: $-\Delta N = A \cdot \Delta t = 3{,}6 \cdot 10^{11}$.

373. Pošto protiče struja konačne jačine pri jednosmernom režimu, onda se u kutiji nalaze (najjednostavnije kombinacije): a) termogeni otpor u paralelnoj vezi sa kondenzatorom; b) termogeni otpor redno povezan sa zavojnicom. Znači, zbog struje konačne jačine pri jednosmernom režimu, otpadaju kombinacije gde se kondenzator nalazi u rednoj vezi, zavojnica u paralelnoj vezi (jačina struje bila bi beskonačno velika pri jednosmernom režimu). Ukupni termogeni otpor u kolu nalazi se iz odnosa jednosmernog napona i jačine struje

$$R = 100\ \mathrm{V}/1\mathrm{A} = 100\ \Omega.$$

Ukupna impedanca u kolu sa naizmeničnom strujom jednaka je odnosu maksimalnih vrednosti napona i jačine struje

$$z = U_0/I_0 = 100\mathrm{V}/2\mathrm{A} = 50\ \Omega.$$

Kako je $z < R$, onda otpada b) kombinacija, pošto je kod nje ukupna impedanca veća od termogenog otpora ($z = \sqrt{R^2 + +L^2\omega^2}$). Prema tome, kao najjednostavnije rešenje ostaje kombinacija a), odnosno paralelna veza termogenog otpora R i kondenzatora čiji je kapacitet C. Kako je, pri naizmeničnom režimu, brojna vrednost impedance dvostruko manja od otpora R, onda je brojna vrednost kapacitivnog otpora jednaka vrednosti ovog otpora, odnosno

$$\frac{1}{C\omega} = R.$$

Ovde je ω kružna učestanost ($\omega = 2\pi f$). Sledi da je kapacitet kondenzatora jednak

$$C = (2\pi f R)^{-1} = 3{,}2 \cdot 10^{-5}\mathrm{F}.$$

374. Energija svetlosti troši se na savlađivanje jonizacionog potencijala, odnosno na izlazni rad i na povećanje kinetičke energije elektrona

$$h\nu = \frac{1}{2} mv^2 + A,$$

gde je ν — učestanost, h — Plankova kontanta, m — masa elektrona, v — njegova brzina po izlasku iz natrijuma i A — izlazni rad.

a) Sledi da je izlazni rad elektrona jednak

$$A = h\nu - \frac{1}{2} mv^2.$$

Kako maksimalnoj talasnoj dužini odgovara minimalna učestanost, a time i minimalna energija pri kojoj dolazi do fotoefekta, onda je energija elektrona po izlasku iz metala jednaka nuli ($E_k=0 \Rightarrow v=0$). Tada je izlazni rad elektrona u natrijumu jednak

$$A=h\nu_{min}=hc/\lambda_{max}=3{,}75\cdot 10^{-19}\ \mathrm{J}.$$

b) Iz prve relacije sledi da je brzina elektrona posle fotoefekta jednaka

$$v=\sqrt{\frac{2}{m}\left(h\frac{c}{\lambda}-A\right)}=9{,}25\cdot 10^{5}\ \mathrm{m/s}.$$

c) Brzina fotona jednaka je brzini prostiranja svetlosti, kao što je već i korišćeno u prva dva dela zadatka. Znači, $c=3\cdot 10^{8}$ m/s.

375. Jednačina fotoefekta za prvi slučaj glasi

$$h\frac{c}{\lambda_1}=\frac{1}{2}mv^2+A.$$

Elektron koji je izašao iz metala i počeo da se kreće brzinom v, usporava se potencijalnom razlikom U_1 sve dotle dok mu sva kinetička energija ne pređe u potencijalnu eU_1. Znači, postoji jednakost $E_k=eU_1$. Tako sada jednačina za fotoefekat ima oblik

$$h\frac{c}{\lambda_1}=eU_1+A.$$

Isto tako je i za drugi slučaj

$$h\frac{c}{\lambda_2}=eU_2+A.$$

Oduzimanjem pretposlednje jednačine od poslednje dobija se relacija

$$hc\left(-\frac{1}{\lambda_1}+\frac{1}{\lambda_1-\Delta\lambda}\right)=e\cdot\Delta U$$

iz koje se posle sređivanja dobija da je Plankova konstanta jednaka

$$h=\frac{e\Delta U\lambda_1(\lambda_1-\Delta\lambda)}{c\,\Delta\lambda}=6{,}61\cdot 10^{-34}\ \mathrm{Js}.$$

376. Pošto faktor pojačanja triode μ pokazuje odnos promene anodnog napona i napona rešetke koji izazivaju istu promenu anodne struje, odnosno

$$\mu=\frac{\Delta U_a}{\Delta U_g},\quad \text{za } i_a=\text{const},$$

to je strmina triode jednaka $S=\mu/R_i$, gde je R_i njen unutrašnji otpor. Dalje je

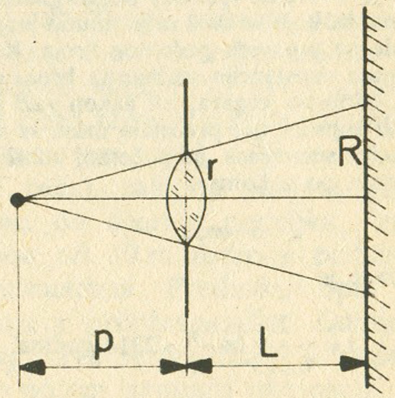
$$S=\frac{\Delta U_a}{R_i\,\Delta U_g}=1{,}25\ \mathrm{mA/V}.$$

377. Jednačina sabirnog sočiva primenjenog na ovaj slučaj ima oblik

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{L}=\frac{1}{f},$$

gde je p udaljenost predmeta od sočiva. Iz sličnosti pravouglih trouglova iznad optičke ose (sl. 9) sledi da je $r/p=R/(p+L)$. Odavde sledi da je

$$p=\frac{r\cdot L}{R-r},$$



Slika 9

odnosno

$$\frac{1}{p}=\frac{R-r}{r\cdot L}.$$

Kada se ovaj izraz zameni u prvoj relaciji, dobija se

$$\frac{R-r}{r\cdot L}+\frac{1}{L}=\frac{1}{f}.$$

Rešavanjem ove jednačine po R, dobija se da poluprečnik svetlog kruga na ekranu iznosi

$$R=\frac{r\cdot L}{f}=8\ \mathrm{cm}.$$

Zamenom ove vrednosti za R u izraz za udaljenost svetlosnog izvora od sočiva, dobija se

$$p=\frac{r\cdot L}{R-r}=9{,}6\ \mathrm{cm}.$$

378. Označimo sa S_1 i v_1 površinu poprečnog preseka i brzinu vode u širem delu šprica, a sa S_2 i v_2 površinu poprečnog preseka i brzinu vode u užem delu šprica. Pod dejstvom sile F na površinu S_1 klipa, klip se pomeri za dužinu l delujući pri tome na tečnost pritiskom $p_1=F/S_1$. Kretanje tečnosti uslovljeno je postojanjem razlike pritisaka u širem u odnosu na uži deo šprica. Kako sa obe strane deluje atmosferski pritisak, ova razlika Δp uslovljena je dejstvom sile F na površinu klipa S_1: $\Delta p=F/S_1$. Vreme t za koje će voda isteći iz šprica jednako je vremenu za koje se klip pomeri na rastojanje l: $t=l/v_1$. Brzinu kretanja klipa, koja je jednaka brzini kretanja vode u širem delu klipa, odredićemo iz Bernulijeve jednačine primenjene na naš slučaj (špric se nalazi u horizontalnom položaju, pa je $\Delta h=0$):

$$\frac{\rho}{2}(v_2^2-v_1^2)=\Delta p=\frac{F}{S_1}.$$

Odavde je

$$v_1=\sqrt{\frac{2F}{\rho S_1\left[\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2-1\right]}}.$$

Kako je u našem slučaju $\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2=1{,}44\cdot 10^4\gg 1$, sledi

$$v_1\simeq\sqrt{\frac{2FS_2^2}{\rho S_1^3}}=\frac{S_2}{S_1}\sqrt{\frac{2F}{\rho S_1}}.$$

Vreme za koje voda istekne iz šprica iznosi:

$$t=l\frac{S_1}{S_2}\sqrt{\frac{\rho S_1}{2F}}=0{,}53\ \mathrm{s}.$$

379. Stabilan nivo vode u sudu u koji utiče mlaz vode zapreminskog protoka i_1, a ističe mlaz vode zapreminskog protoka i_2, formiraće se kada ovi protoci budu jednaki: $i_1=i_2$. Na osnovu Toričelijeve teoreme, pod pretpostavkom da je tečnost idealna i nestišljiva, a isticanje stacionarno, što je ispunjeno kada je površina otvora kroz koji tečnost ističe daleko manja od veličine slobodne površine tečnosti u sudu, sledi da je protok i_2 srazmeran površini otvora S_2 i kvadratnom korenu iz visine nivoa slobodne površine tečnosti u sudu u odnosu na otvor kroz koji voda ističe iz suda:

$$i_2=S_2\sqrt{2gh}.$$

Uzimajući u obzir kontrakciju mlaza tečnosti pri isticanju, koja je definisana koeficijentom kontrakcije μ, protok se izračunava pomoću izraza:

$$i_{2k}=\mu S_2\sqrt{2gh}.$$

Iz uslova da nivo h slobodne površine tečnosti bude stalan, sledi:

$$i_1=\mu S_2\sqrt{2gh},$$

odakle je

$$h=\frac{1}{2g}\left(\frac{i_1}{S_2}\right)^2=1{,}19\ \mathrm{m}.$$

380. Ukoliko zanemarimo moment sile trenja (koji u zadatku nije dat kao podatak), na točak deluje stalni moment sile $M=F\cdot R$, u odnosu na osu rotacije koja prolazi kroz centar točka datog poluprečnika R (F je sila koja tangencijalno deluje na obod točka). Na osnovu osnovnog zakona dinamike rotacije, sledi da pod dejstvom datog momenta sile točak dobija stalno ugaono ubrzanje α, koje je srazmerno veličini momenta sile, a obrnuto srazmerno momentu inercije I točka u odnosu na datu osu rotacije:

$$\alpha=\frac{M}{I}=\frac{M\cdot R}{I}=0{,}56\ \mathrm{s}^{-2}.$$

381. Na osnovu zakona o održanju mehaničke energije kod rotacionog kretanja oko fiksne ose, sledi da je u ovom slučaju rad A momenta sile trenja M jednak promeni kinetičke energije ΔE_k tela koje rotira: $-\Delta A=\Delta E_k$.
Rad momenta sile trenja srazmeran je pređenom uglu θ: $A=M\cdot\theta$. Kako se telo posle pređenog ugla θ zaustavlja, sledi da je promena kinetičke energije rotacije

$$\Delta E_k=E_{k2}-E_{k1}=\frac{I\omega_2^2}{2}-\frac{I\omega_1^2}{2}=\frac{I\omega_1^2}{2},$$

gde je I moment inercije zamajca u odnosu na datu osu rotacije, ω_1 — početna ugaona brzina (u našem slučaju ugaona brzina u trenutku prestanka dejstva aktivnog momenta sile), $\omega_2 = 0$ — krajnja ugaona brzina. S druge strane, pređeni ugao pri konstantnom ugaonom ubrzanju (»usporenju«) α iznosi:

$$\theta = \omega_1 t - \frac{\alpha t^2}{2}.$$

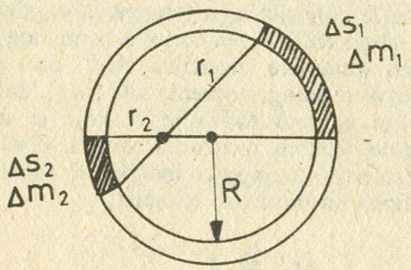
Kako je $\alpha = (\omega_1 - \omega_2)/t = \omega_1/t$, sledi:

$$\theta = \omega_1 t - \frac{\omega_1 t^2}{2t} = \frac{\omega_1 t}{2}.$$

Ako izjednačimo rad aktivnog momenta sile sa promenom kinetičke energije, $M\omega_1 t/2 = I\omega_1^2/2$, konačno dobijamo:

$$M = \frac{I \cdot \omega_1}{t} = 99{,}8 \text{ Nm} \simeq 100 \text{ Nm}.$$

382. Da bismo rešili postavljeni zadatak, pokazaćemo prethodno da je sila kojom šuplja kugla, homogenog sloja konstantne debljine (sl. 10), deluje na telo mase m koje se nalazi u šupljini, jednaka nuli.



Slika 10

Mase Δm_1 i Δm_2 delova sloja površina ΔS_1 i ΔS_2, koji se nalaze na rastojanjima r_1 i r_2, a na istom pravcu od posmatranog tela, odnose se kao kvadrati datih rastojanja: $\Delta m_1/\Delta m_2 = r_1^2/r_2^2$, jer se mase odnose kao površine, a površine se odnose kao kvadrati rastojanja (pri istom prostornom uglu). Kako su gravitacione sile kojim date površine deluju na posmatrano telo srazmerne masama datih delova sloja, a obrnuto srazmerne kvadratima odgovarajućih rastojanja do posmatranog tela, sledi da su ove sile jednakih intenziteta i očigledno suprotnog smera, što je trebalo i dokazati

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\Delta m_1}{\Delta m_2} \cdot \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{r_1^2 \cdot r_2^2}{r_2^2 \cdot r_1^2} = 1.$$

Odavde sledi važan zaključak da na telo mase m koje se nalazi unutar pune homogene kugle mase M i poluprečnika R na rastojanju r od centra kugle, deluje gravitacionom silom samo deo mase kugle koji se nalazi unutar poluprečnika r, jer deo sloja između r i R ne deluje na dato telo shodno prethodnom dokazu. Masa $M(r)$ dela kugle unutar poluprečnika r odnosi se prema ukupnoj masi kugle $M(R)$ kao treći stepeni odgovarajućih poluprečnika: $M(r)/M(R) = r^3/R^3$, jer je kugla homogena, tj. gustina stalna $\rho \neq \rho(r)$. Na osnovu prethodnog sledi da na posmatrano telo deluje gravitaciona sila linearno srazmerna rastojanju tela od centra kugle:

$$F(r) = \gamma \frac{mM(r)}{r^2} = \gamma \frac{m}{r^2} \cdot M(R) \cdot \frac{r^3}{R^3} = \frac{\gamma m M(R)}{R^3} \cdot r.$$

U zadatku smo pretpostavili da je Zemlja homogena kugla, mase $M(R)$ i poluprečnika R. Znači, prethodni izraz možemo primeniti i kada se neko telo nalazi unutar Zemlje na rastojanju r od njenog centra. S obzirom da na telo mase m koje se nalazi na njenoj površini deluje gravitaciona sila Zemlje jednaka težini tela,

$$F(R) = \gamma \frac{M(R)}{R^3} mR = g \cdot m,$$

sledi $\frac{\gamma M(R)}{R^2} = g$, tako da prethodni izraz možemo napisati u jednostavnijem obliku

$$F(r) = \frac{mg}{R} \cdot r.$$

Podsetimo se da je kod harmonijskog oscilatornog kretanja restituciona sila bila srazmerna elongaciji, a usmerena prema ravnotežnom položaju. Znači da prethodni izraz karakteriše oscilatorno kretanje, s tim što ulogu restitucione sile igra gravitaciona sila, elongacije rastojanje od centra Zemlje, a ulogu konstante k igra izraz mg/R. Na osnovu prethodnih zaključaka sledi da bi telo mase m oscilovalo duž prečnika Zemlje (kroz kanal) po zakonu

$$r(t) = R \cdot \cos \omega t, \text{ gde je } \omega = \sqrt{\frac{mg/R}{m}} = \sqrt{\frac{g}{R}}$$

ugaona frekvencija. Brzina se menja s vremenom po zakonu $v(t) = -\omega R \sin \omega t$. Maksimalnu brzinu $\omega \cdot R$ telo koje osciluje ima u ravnotežnom položaju. Znači, u centru Zemlje brzina datog tela iznosila bi

$$v = \omega R = R\sqrt{\frac{g}{R}} = \sqrt{gR} = 8 \text{ km/s}.$$

(Nastavak iz MF 27)

odnosno

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{R_x}{R_v}.$$

Kod prve šeme tačno je određena jačina struje u kolu, a kod napona postoji greška merenja ΔU, pa na osnovu Omovog zakona

$$U = IR_x \text{ sledi } \Delta U = I\Delta R_x'.$$

Greška u merenju pada napona je nastala zbog prisustva ampermetra, koji ima unutrašnji otpor R_a. Pad napona na ampermetru odgovara veličini ΔU:

$$\Delta U = R_a I.$$

Tako se dobija da je u prvoj šemi greška merenja otpora R_x jednaka: $\Delta R_x' = R_a$. Odavde sledi da je relativna greška merenja otpora u ovom određivanju jednaka:

$$\frac{\Delta R_x'}{R_x} = \frac{R_a}{R_x}.$$

Kako je mera za tačnost merenja relativna greška, a ne apsolutna, onda sledi da, ako je

$$\frac{R_x}{R_v} < \frac{R_a}{R_x},$$

merenje je tačnije ako se koristi druga šema i obrnuto.

339. Električni otpor metalnog provodnika zavisi od temperature na sledeći način:

$$R = R_0(1 + \alpha t).$$

Ovde je R_0 električni otpor provodnika na $t_0 = 0°C$, a α je temperaturski koeficijent otpora za metal od koga je napravljen provodnik. Na temperaturi $t_1 = 20°C$ otpor bakarnog provodnika je $R_1 = 60\Omega$, odnosno

$$R_1 = R_0(1 + \alpha t_1).$$

Odavde sledi da je otpor R_0 jednak

$$R_0 = \frac{R_1}{1 + \alpha t_1}.$$

Otpor bakarnog provodnika na temperaturi $t_2 = -40°C$ iznosi

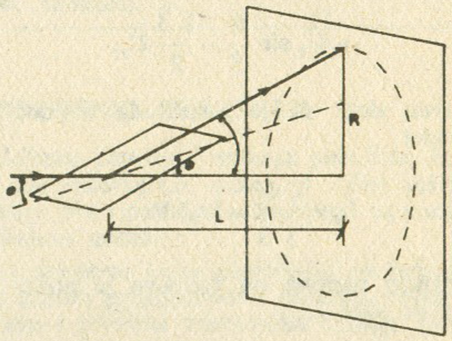
$$R_2 = R_0(1 + \alpha t_2),$$

odnosno

$$R_2 = R_1 \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} = 47\Omega.$$

340. U prvoj kadi za elektrolizu joni gvožđa su dvovalentni ($n_1 = 2$), a u drugoj trovalentni ($n_2 = 3$). Zbog toga se, pri prolazu kroz rastvor istih količina elektriciteta, izdvajaju različite mase gvožđa na katodama. U prvoj kadi masa izdvojenog gvožđa je

$$m_1 = \frac{A_1 q}{n_1 F} = 53{,}85 \text{ kg}.$$



Slika 6 (Omaškom, u zadatku 335 nije objavljena ova slika.)

a u drugoj

$$m_2 = \frac{A_1 q}{n_2 F} = 35{,}9 \text{ kg}.$$

Pošto je hlor u oba jedinjenja jednovalentan ($n = 1$), onda se na anodi u bilo kojoj kadi izdvoji masa hlora jednaka

$$m = \frac{A_2 q}{n \cdot F} = 70{,}71 \text{ kg}.$$

341. Ukupni reaktivni otpor električnog kola je jednak apsolutnoj vrednosti zbira otpora na zavojnici i kondenzatoru:

$$X = \left| \omega L - \frac{1}{\omega C} \right| = \left| 2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} \right| =$$

$$= 1547{,}6\,\Omega.$$

Neka je f_0 frekvencija pri kojoj je ukupni reaktivni otpor jednak nuli. Tada je

$$2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C},$$

odnosno

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 712 \text{ Hz}.$$

342. Kružna učestanost električnog kola je $\omega = 2\pi/T = 628\ \text{s}^{-1}$, a frekvencija $f = 1/T = 100$ Hz. Posle $t = T/12$ trenutna vrednost napona iznosi

$$U = U_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) =$$

$$= U_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}\frac{T}{12} + \frac{\pi}{6}\right) =$$

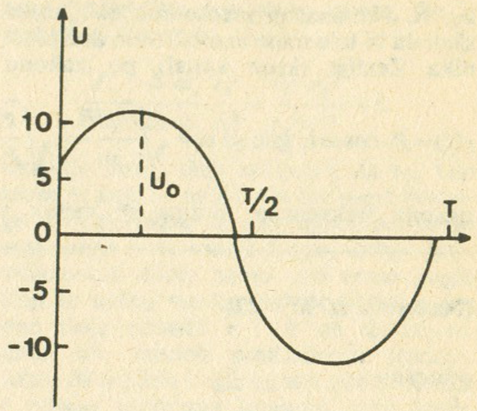
$$= U_0 \sin\frac{\pi}{3} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_0.$$

Odavde sledi da je amplituda napona jednaka

$$U_0 = \frac{2 \cdot U}{\sqrt{3}} = 11{,}5 \text{ V}.$$

Zavisnost napona od vremena je prikazana na slici 7.

343. Poznato nam je da je zapremina tečnosti V, koja u jedinici vremena stekne kroz otvori date posude, srazmer-



Slika 7

na površini preseka S otvora i kvadratnom korenu visine nivoa tečnosti u posudi u odnosu na otvor: $V/t = \mu S\sqrt{2gh}$, gde je μ tzv. koeficijent kontrakcije mlaza. Da bi nivo vode u sudu bio stabilan, na istoj visini protok Q tečnosti koja utiče u sud treba da bude jednak protoku tečnosti koja ističe: $Q = \mu \cdot S\sqrt{2gh}$. Odavde nalazimo da se stabilan nivo tečnosti nalazi na visini

$$h = \frac{1}{2g} \cdot \frac{Q^2}{\mu^2 S^2} \simeq 13 \text{ cm}.$$

344. Kako je subjektivna jačina zvuka L definisana izrazom:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0},$$

gde je I intenzitet zvuka (objektivan), a I_0 je intenzitet zvuka na pragu čujnosti, sledi:

$$L_2 - L_1 = 10 \log \frac{I_2}{I_0} - 10 \log \frac{I_1}{I_0} =$$

$$= 10 \log \frac{I_2}{I_1} = 10 \log 100 = 30 \text{ dB}$$

345. Iz Doplerovog efekta sledi da kad se zvučni izvor približava nepokretnom posmatraču brzinom u, posmatrač čuje zvuk povećane frekvencije ν_1 u odnosu na frekvenciju ν_0, koji emituje izvor:

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

gde je v brzina prostiranja zvuka. Pri udaljavanju izvora, frekvencija ν_2 koju čuje posmatrač smanjuje se:

$$\nu_2 = \nu_0 \frac{v}{v + u}.$$

Pri prolazu izvora zvučnih talasa pored nepokretnog posmatrača frekvencija se promenila 4 puta:

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{v + u}{v - u} = 4.$$

346. U cevi koja je s jedne strane otvorena mogu se pobuditi samo one oscilacije za koje se u njenoj dužini l sadrži neparan broj četvrtina talasnih dužina λ:

$$l = (2n + 1)\frac{\lambda}{4}. \qquad n = 0, 1, 2 \ldots$$

Kako je frekvenca ν obrnuto srazmerna talasnoj dužini $\nu = \frac{v}{\lambda}$, gde je v brzina prostiranja zvuka u datoj sredini, sledi:

$$\nu = \frac{v}{4l}(2n + 1).$$

U našem slučaju, frekvencija osnovnog tona iznosi

$$\nu = \frac{v}{4l} = 250 \text{ Hz}.$$

347. Brzina prostiranja zvučnih talasa u zategnutoj žici data je izrazom $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$, gde je F sila zatezanja žice, a μ je masa žice po jedinici dužine ($\mu = m/l$). Znači, brzina prostiranja talasa u žici dužine $l = 10$ m, mase $m = 50$ g, koja je zategnuta silom $F = 200$ N, iznosi

$$v = \sqrt{\frac{Fl}{m}} = 200 \text{ m/s}.$$

REŠENJE NAGRADNOG ZADATKA IZ PROŠLOG BROJA

Izvedite klatna iz ravnotežnih položaja i pustite ih da simultano osciluju. Na samom početku faze će im biti jednake, a zatim će klatno sa kraćim periodom postupno »preticati« drugo, sporije klatno. Međutim, posle izvesnog vremena oscilacije će ponovo biti u fazi. Ukoliko do tog trenutka prvo klatno načini n oscilacija, drugo će napraviti jednu manje. Prema tome,

$$nT_1 = (n-1)\,T_2,$$

odakle je

$$T_2 = \frac{n}{n-1} T_1,$$

odnosno

$$T_1 = \frac{n-1}{n} T_2.$$

Frekvenciju n određujete, razume se, eksperimentalno.

UPUTSTVO ZA REŠAVANJE KONKURSNIH ZADATAKA

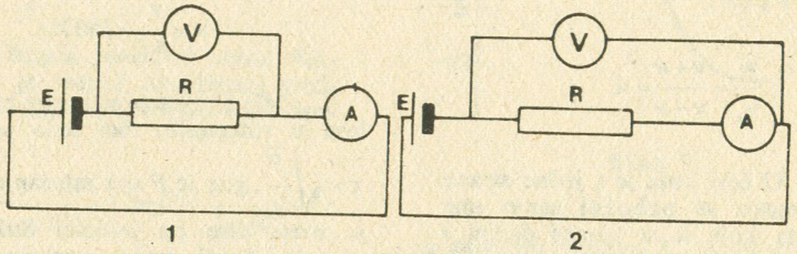
Rešite konkursne zadatke iz nvog broja *Mladog fizičara* i rešenja pošaljite. Interesantna rešenja i imena svih učenika koji su sve zadatke (ili neke od njih) rešili tačno objavićemo u sledećem broju *Mladog fizičara*. Najuspešnijim rašavačima za svaki razred dodelićemo prigodne nagrade na kraju školske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

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

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

REŠENJE ZADATKA 10 E

a) Određivanje nepoznatog otpora »metodom ampermetra i voltmetra« sastoji se u izračunavanju otpora po Omovom zakonu korišćenjem podataka za jačinu struje i napon koje pokazuju istovremeno uključeni ampermetar i voltmetar. Kako na sl. 1. instrumenti pokazuju $U = 25$ V i $I = 20$ mA, to je $R = 25/20 \cdot 10^{-3} = 1250\ \Omega$.



Pri upotrebi istog izvora napajanja i istog otpornika instrumenti kod vezivanja prema sl. 2 pokazuju $U = 25{,}5$ V i $I = 10$ mA, pa se za otpor otpornika dobija $R = 25{,}5/10 \cdot 10^{-3} = 2550\ \Omega$.

Očigledno je da se rezultati veoma mnogo razlikuju.

b) Ako se kod primene metode ampermetra i voltmetra izvrši potrebna korekcija napona ili struje (zavisno od toga da li se merenje vrši prema shemi 1 ili 2), dobiće se znatno tačnija vrednost za mereni otpor. Za korekciju je potrebno poznavati unutrašnji otpor mernih instrumenata.

$U = 25$ V $\qquad R = \dfrac{U}{I_R} \qquad (1)$

$I = 20$ mA

$R_V = 2500\ \Omega \qquad I_R = I - I_V \quad (2) \qquad I_V = \dfrac{U}{R_V} \quad (3)$

Iz jed. (1), (2) i (3) dobija se

$$R = \frac{UR_V}{IR_V - U} = 2500\ \Omega.$$

$U = 25{,}5$ V

$I = 10$ mA $\qquad R = \dfrac{U_R}{I} \quad (4) \qquad U_V = U - U_A \quad (5)$

$R_A = 40\ \Omega$

Iz jed. (1) i (5) nalazi se vrednost otpora

$$R = \frac{U - IR_A}{I} = 2510\ \Omega.$$

c) Na osnovu odogvora pod a) i b) može se zaključiti da u datom slučaju direktno izračunavanje po shemi 2 daje bolji rezultat ($R = 2550\ \Omega$) nego merenje po shemi 1 ($R = 1250\ \Omega$). Zašto je tako? Činjenica je da ampermetar kao merni instrument ima znatno manji unutrašnji otpor nego voltmetar. Kad merimo otpore čija je vrednost znatno veća od otpora ampermetra, kao što je to u ovom slučaju, razlika između onoga što pokazuje voltmetar (shema 2) i U_R nije velika, pa se slobodno može izostaviti popravka zbog pada napona na otporu ampermetra.

Kada ovom metodom merimo otpore, za koje unapred znamo da su znatno manji od otpora ampermetra, bolje je upotrebiti shemu 1, jer će tada kroz voltmetar prolaziti veoma slaba struja, pa je raz.ika između I i I_R zanemarljiva, te je dozvoljeno direktno izračunavanje R podacima koje daju merni instrumenti.

PRAVILNA REŠENJA KONKURSNIH ZADATAKA IZ MF 26 DOSTAVILI SU:

1. OŠ »Jovan Jovanović Zmaj«, Vranje (nastavnik Fizike Petrović Miloš): Mihajlović Predrag 314, 315, 318, 320, 322; Stanisavljević Jelica 314, 315; Stevanović Goran 314, 315 Aleksić Goran 314, 315; Stamenković Gordana 314, 315; Milošević Tatjana 314, 315; Mitić Dragana 314, 315; Stanković Nenad 314, 315; Stefanović Lidija 314, 315; Vorkapić Petar 314, 315; Jovčić Verica 314, 315; Krstić Marina 314, 315; Stojaković Nenad 314, 315; Veličković Biljana 314, 315; Nedeljković Danijela 314, 315; Milošević Marijan 314, 315; Lazarević Žarko 314; Stojković Dejan 314.

2. OŠ »Karađorđe«, Topola, (Jevđić Živadinka i Mladenović Milomir): Ješić Milan 324, 325, 326, 327; Ješić Olivera 324, 325, 326, 327; Jelić Vesna 324, 325, 326, 327; Manojlović Vesna 324, 325, 326, 327; Jovanović Saša 324, 325, 326, 327; Lugonjić Radoslav 324, 325, 326, 327; Marinković Branka 314, 315, 316, 317; Vasiljević Vesna 314, 315, 317; Golubović Karolina 314, 315; Radojević Gordana 314, 315; Jakovljević Viktor 317.

3. OŠ »Srevan Čolović«, Arilje, (Vuković Momir): Ćirković Slavica 314, 314; Grković Nataša 314, 315; Perović Vera 314, 315; Vranešević Nenad 314, 315; Misini Nerkeza 314, 315; Varagić Natalija 314, 315; Perišić Dragica 314, 315; Milutinović Mirjana 315, Dželebdžić Dragan 315.

4. OŠ »Miodrag Čajetinac Čajka«, Trstenik (Lazarević Vojislav): Đorđević Snežana 315, 316, 318, 322; 283, 284, 285, 286, 287, 288; Milosavljević Katarina 314, 315, 316, 317; Novaković Jelena 314, 315, 316, 317; Mijailović Milan 314, 315, 316, 317; Lazović Miloš 314, 315, 317; Erac Danijela 314, 315; Radović Milorad 314, 315.

5. OŠ »Popinski borci«, Vrnjačka Banja, (Sretenović Angelina): Balšić Vanja 323, 324, 325, 326, 327; Čeperković Olivera 324, 325, 326, 327; Adžić Dejan 324, 325, 327; Janković Dragan 325, 327; Kruševac Žarko 315; Trifunović Gordana 315.

6. OŠ »Dr Dragiša Mišović«, Čačak, (Aćimović Radmila): Nikolić Olgica 319, 322; Avramović Milica 284, 285; Nikolić Olgica 284, 285; Karaulić Ruža 319.

7. OŠ »Nada Purić«, Valjevo, (Milić Ljiljana): Zdravković Biljana 323, 324; Obradović Saša 317; Petrović Đorđe 285, 286, 288; Đurić Biljana 290, 291.

8. OŠ »Milan Ilić Čiča«, Aranđelovac, (Milivojević Mila): Račić Jasna 319, 320, 322; Marjanović Milica 319, 320; Marković Miroslav 314, 315.

9. OŠ »Ivo Lola Ribar«, Raška, (Đorđević Zorica i Kostić Milijana): Marković Dejan 324, 325, 327, Ninčić Zoran 322; Grbović Jovan 314.

10. OŠ »Moša Pijade«, Sredska kod Prizrena, (Krunić Radojica): Popović Saša 324, 325, 326, 327; Nikolić Miodrag 325, 326, 327; Bećiri Kimeta 324, 327.

11. OŠ »Nada Naumović«, Badnjevac kod Kragujevca, (Karić Zlata): Stevanlvić Tanja 323, 324, 327; Jović Slavica 324, 327, 290.

12. OŠ »Joca Milosavljević«, Bagrdan, (Milanović Miodrag): Janković Zoran 314, 315; Mihajlović Slađana 280; Vasić Vesna 280.

13. OŠ »Milan Milošević Ćopo«, Mrčajevci, (Milisavljević Stanojka): Perović Zorica 322; Stanojlović Biljana 325, 326, 327; Stojanović Ana 322.

14. OŠ »Olga Milošević«, Smederevska Palanka, (Vukomanović Borivoje): Milinković Nataša 314, 315, Vučetić Boban 325; Radovanović Zoran 327.

15. OŠ »Miroslav Jovanović — Cerovac«, Vrčin, (Baričević Milan): Đorić Dejan 315, 316, 322; Kepić Srećko 280, 281, 282, 283, 284, 285, 289, 290, 291.

16. OŠ »Moša Pijade«, 37223 Razbojna, (Dudović Danica): Savić Zlatan 315, 316, 317, 324, 327; Marjanović Miroslav 314, 316, 317, 322.

17. OŠ »Vuk Karadžić«, Čačak, (Šišović Božana): Vasović Stojan 284, 288; Maksimović Aleksandar 284.

18. OŠ Ćele-kula«, Niš, (Prvulović Jasmina): Petrović Slaviša 280, 314; Đorđević Miloš 314, 315.

19. OŠ »Radoje Domanović«, Vranje, (Milivojević Milovan): Trajković Beba 284, 285; Jaćimović Saša 324.

20. OŠ »Sele Jovanović«, Šabac, (Has Vitomir): Nedžat Alija 280, 281; Knežević Danijela 280.

21. OŠ »Radovan Kovačević — Maksim«, Lebane, (Mitrović Svetozar): Stamenković Sanja, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286.

22. OŠ »Boris Kidrič«, Gornji Matajevac, (Ristić Vukadin): Radojković Branko 315, 318, 322, 324, 326, 327.

23. OŠ »Vera Radosavljević«, Negotin, (Danković Radmila): Milosavljević Radmila 323, 324, 325, 326, 327.

24. OŠ »9 maj«, Šabačka Kamenica, (Petrović Radmila): Trifunović Zoran 323, 324, 325, 326.

25. OŠ »25 maj«, Svetozarevo, (Đorđević Dragica): 280, 281, 282, 283.

26. OŠ »22 decembar«, Gornji Krupac, (Mitić Slobodan): Stojanović Žiža 314, 315, 322.

27. OŠ »Heroj Sveta Mladenović«, 11315 Saraorci, (Stefanović Miroslava): Jovanović Radiša 314, 319, 322.

28. OŠ »Janko Veselinović«, mesto nepoznato· (Krunić Anđelka): Radulović Predrag 314, 315, 317.

29. OŠ »Branko Radičević«, Priboj na Limu: Zeković Sanela 314, 315.

30. OŠ »Čegar«, Niš, (Golubović Verica): Novaković Dragana 325, 327.

31. OŠ »Svetozar Miletić«, Zemun, (Jovanović Branislava): Ivanišević Jelena 324, 327.

32. OŠ »M. Živojinović«, Mladenovac, (Hramosta Berislav): Cvetković Ana 314, 315.

33. OŠ »Ljubica Radosavljević Nada«, Zaječar, (Mitić Olga): Slavković Suzana, 280, 315.

34. OŠ »Veljko Vlahović«, Borča kod Beograda, (Petrović Živorad): Kovačević Tatjana 315, 319.

35. OŠ »Heroj Ivan Muker«, Smederevska Palanka, (Milanović Dafina): Begović Nenad 314, 315.

36. OŠ »20 oktobar«, Novi Beograd, (Antonić Irena): Milić Slobodan 280.

37. OŠ »Stevan Sinđelić«, Beograd, (Harizanov Spas): Milošević Nina 280.

38. OŠ »Živadinka Divac«, Kragujevac, (Stojković Živadin): Čapovski Boban 324.

39. OŠ »Milinko Kušić«, Ivanjica, (Bogićević Zorica): Vujović Dragana 327.

40. OŠ »Petar Vragolić«, Ljubovija, (Perić Pavle): Tomii Siniša 327.

41. OŠ »Nikola Tesla«, Beograd, (Mamula Marinko): Mijailović Denis 280.

42. OŠ »Jovo Kursula«, Kraljevo, (Dimić Milka): Kostić Dejan 321, Rakić Dejan 314.

*

1. OC »1 maj«, Novi Beograd, (Platiša Anđela i Rašić Živorad): Iričanin Bratislav 280, 281, 282, 283, 284, 285, 288, 289, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 299, 300, 301, 302, 310, 311, 312, 313; Prokić Vesna 294, 296, 297.

2. OC »Milentije Popović«, Vlasotince, (Ćukalović Sava): Pešić Goran 294, 296, 297; Stevanović Jelica 314, 315, 317, 325, 327.

3. VOO za ZSO »25 maj«, Kikinda, (Vuca V. Petar): Gligorin Slavica 333—335, 336, 341; Kuzmanović Vesna 333, 335, 336, 341.

4. OC »Viktor Nešović«, Gornji Milanovac, (Radojković Zorka): Veljković Dejan 314, 315, 316, 318, 319, 320, 321, 422, 323, 324, 325, 327, 328, 330, 333, 334, 335, 336, 337, 344, 345, 346, 347.

5. OVO »Boris Kidrič«, Niš, (Stojanović Lozanka): Vacić Nataša 314, 315, 316, 317, 318, 319, 322, 324, 325, 327, 328.

6. OC »Stojan Ljubić«, Lebane, (Kostov Nikola): Stevanović Ljiljana 333, 334, 339, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347.

7. OC »Dragačevski bataljon«, Guča, (Beodranski Ružica i Danilo): Petrović Biljana 339, 341, 342, 344, 345, 347.

8. MOC »Nikola Tesla«, Batočina, (Paunović Momčilo): Veselinović Sonja 333, 334, 336, 337.

9. OVO »Bora Stanković«, Niš, (Vučković Milan): Nikolić Boban 294, 295, 296, 297.

10. OC »Nada Dimić«, Zemun, (Miščević Ljubica): Petrović Maja 299, 300, 301, 302.

11. ŠSUOIV Plužine, Plužine, (Dondić Dušanka): Miličić Marko 300, 301, 303.

12. OVO »Dr Dušica Stefanović«, Beograd, (Tatarski Anka): Popović 294, 297, 298.

13. VOC »Miloš Savković«, Aranđelovac, (Marković Milorad): Kostić Anica 343, 344, 347.

14. OC »Bratstvo-jedinstvo«, Kučevo, (Adamović Vladimir): Stević Vesna 343, 344, 347.

15. OC u Arilju, (Aćimović Svetozar): Petrović Milan 299, 300, 302.

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