

PRIRODNO MATEMATIČKI FAKULTET
INSTITUT ZA FIZIKU

DEMONSTRACIONI OGLEDI IZ OBLASTI
ELEKTRICITETA I ELEKTROMAGNETIZMA

(Diplomski rad)

Mentor:

Dr. Ribar Bela

BAJIĆ MIRKO

Bajic' Mirko

Novi Sad 1980 g.

Prijatna mi je dužnost da se na ovom mestu zahvalim profesoru Dr. Ribar Beli, jer bez njegovog razumevanja i pomoći ne bih bio u mogućnosti da realizujem ovaj rad.

Takodje se zahvaljujem Božić Slobodanu, koji mi je u mnogome pomogao pri demonstriranju opisanih ogleda i realizaciji rada.

BAJIĆ MIRKO

U V O D

Ispitivanja elektriciteta slično mnogim drugim modernim idejama potiču još od starih Grka. Iako su filozofi stare Grčke imali više sklonosti ka razmišljanju nego za eksperiment, oni su primetili da komad čilibara privlači luke predmete kada se protrlija krznom ili tkaninom. Ovu pojavu je mnogo kasnije, u drugoj polovini šesnaestog veka, proučavao Viljem Džilbert i predložio za nju ime elektricitet po grčkoj reči elektron, što znači čilibar. U Francuskoj je početkom osamnaestog veka Di Fej na osnovu eksperimenata utvrdio da postoje dve vrste elektriciteta koje je nazvao "vitreozni"-protrveno staklo i "rezinozni"-protrveni ebonit. Godine 1747 Benjamin Franklin je predložio imena "pozitivni" i "negativni" koja su i danas u upotrebi, jer je proučavanje elektriciteta bilo prožeto naročitim predstavama o pozitivnom i negativnom nanelektrisanju, pa bi se sada teško nešto moglo izmeniti u tom pogledu ma koliko promena bila poželjna. Naime Franklin je smatrao da nanelektrisanje treba pripisati nekom fluidu, pa kada staklo trljamo suvom rukom jedan deo fluida sa ruke prelazi na staklo. Pošto staklo dobija višak ili "plus" električnog fluida, ono je pozitivno nanelektrisano, dok ruka, pošto ima manjak ili "minus" fluida treba da je negativno nanelektrisana. Kada je ovo povezano sa Di Fejovom podelom elektriciteta došlo se do zaključka da se trenjem staklo nanelektriše pozitivno, a čilibar negativno, što je u osnovi bila proizvoljna konstatacija.

Otkrićem osnovne količine elektriciteta od strane Tomsona i njegovih saradnika, a koja je na osnovu proučavanja jona i nanelektrisanih čestica i zračenja još ranije predviđana i nazvana elektron, nepobitno je bila utvrđena veza između elektriciteta i strukture supstancije. Već su se javile opravdane predpostavke da postoje elementarne čestice manjeg nanelektrisanja - kvarkovi, ali to još nije eksperimentalno i dokazano, pa do danas elektron smatramo nosiocem elementarnog nanelektrisanja. Sva nanelektrisanja su celobrojni umnošci nanelektrisanja jednog elektrona. Smatramo da je telo nanelektrisano negativno ako ima višak elektrona, a pozitivno ako ima manjak elektrona. Proces nanelektrisavanja



tela, na primer trenjem stekla svilom, objašnjava se prelaskom elektrona sa stakla na svilu pri čemu se staklo nanelektriše pozitivno, a svila negativno. Električni fenomeni koji su proučavali Džilbert, Di Fej, Franklin i drugi, postali su poznati kao statički elektricitet za razliku od dinamičkog koji je prema istraživanjima Luidi Galvanija i Alesandra Volte imao osobinu da teče duž metalne žice i nije se dobijao trenjem nekog nemetalnog predmeta već galvanskim, odnosno voltinim elementom. Prividnu razliku između statičkog i dinamičkog elektriciteta konačno je 1833 godine objasnio Majkl Faredej jer su se istovetni efekti mogli proizvesti kako statičkim tako i dinamičkim elektricitetom. Danas sva električna, magnetna i optička svojstva tela, kao i elektromagnetne pojave savremena elektronska teorija objašnjava na bazi uzajamnog dejstva i kretanja elementarnih nanelektrisanih čestica.

Proces otkrivanja i tumačenja ovih pojava bazirao je na metodama posmatranja i eksperimenta. Proces prenošenja i usvajanja znanja iz ovih oblasti u okviru vaspitno-obrazovnog sistema, mora biti zasnovan takođe na ovim metodama, odnosno demonstracionom ogledu. To će u mnogome doprineti da slušač na osnovama dijalektičko-materijalističkog pogleda na svetlakše shvati suštinu pojave i trajno usvoji određena znanja. Da bi to postigao demonstracioni ogled mora biti dobro pripremljen i izведен tako da navede posmatrača na sasvim jasan i određen zaključak. Pri tome uvek treba imati u vidu da je sa dobro isplaniranim jednostavnim ogledom, lakše objasniti komplikovanu pojavu, nego sa komplikovanim ogledom prostu pojavu.

U radu sam opisao demonstracione oglede iz oblasti elektriciteta i elektromagnetizma onim redom kako to zahteva postupnost u ispitivanju ovih pojava i kako se obrađuju tematske jedinice predviđene nastavnim planom i programom iz fizike za srednju školu iz ovih oblasti. To ne isključuje mogućnost da se isti ogledi izvedu prilikom obrade tematskih jedinica i pred slušaocima višeg stupnja školovanja, a neki ogledi i u osnovnoj školi.

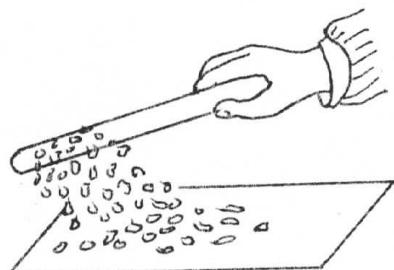
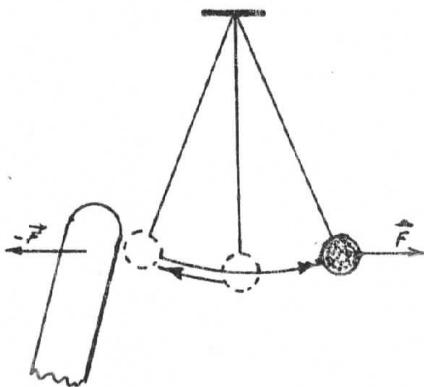
E L E K T R O S T A T I K A

Da bi nam demonstracioni ogledi iz elektrostatike sigurno uspevali moramo posebno obratiti pažnju na to da ih izvodimo kada je vazduh suv i da raspolažemo sa dobrim izulatorima. Naponi koji se dobijaju pri ovim ogledima su reda veličine kilo volta, pa i nekoliko stotina kilo volta. Pri ovim naponima obični izolatori koji se koriste pri naponima gradske mreže delimično provode struju, pa se u elektrostatiči kao izolatori koriste ebonit, staklo, porculan, polivinil i dr. Zbog adsorbcije vodene pare na površinama ovih izolatora može nastati jedan provodan sloj koji se može otkloniti zagrevanjem.

Naelektrisanje

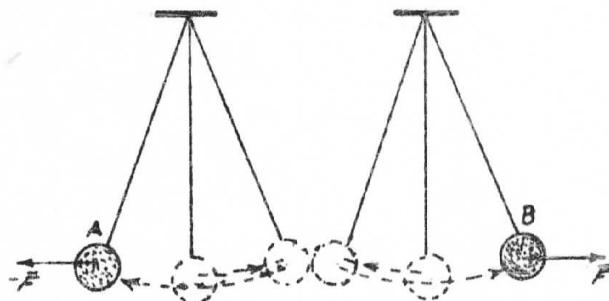
- Na staklenu ploču postavimo komadiće tankog papira (na primer cigaret papira) i približimo staklenu šipku protrvenu svilom. Protrvena šipka će privlačiti komadiće papira (sl 1.) Isto će se dogoditi i ako komadićima papira približimo ebonitnu šipku protrvenu vunenom tkaninom ili krznom. sl 1.
- Loptici od zovine srži obešenoj o tanak svileni konac (u daljem tekstu električno klatno), približimo stakleništap protrvetu svilom. Protrveni štap će privući lopticu i odmah posle dodira odbiti. Isto će se desiti i ako loptici približimo ebonitnu šipku protrvetu krznom ili tkaninom (sl 2.).

Za tela koja imaju osobinu da privlače druga tela i da ih posle dodira odbijaju kažemo da su naelektrisana.



sl 2.

- Lopticu A jednog električnog klatna dodirnemo protrvenom staklenom ili ebonitnom šipkom. Ovom električnom klatnu približimo drugo električno klatno čija je optica B nenelektrisana. Optice se prvo privlače sve dok se ne dodirnu, a zatim se usled međusobnog odbijanja razdvoje (sl3).



sl 3.

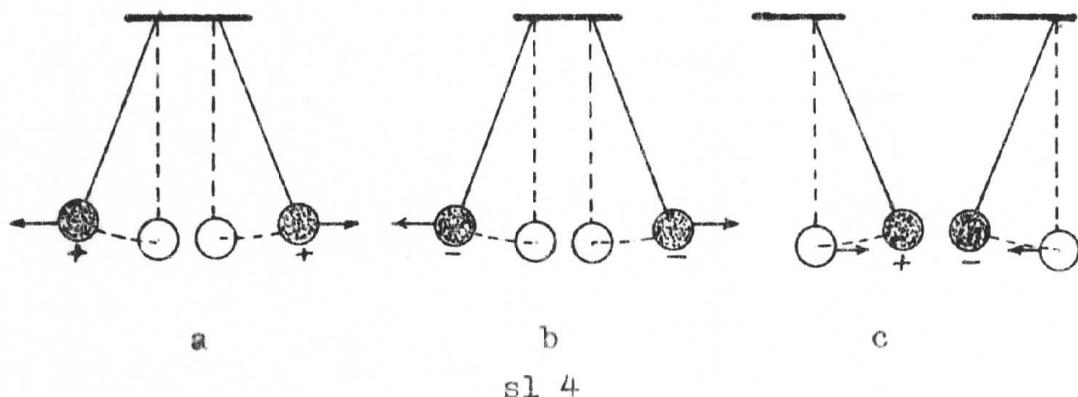
Ovo pokazuje da je optica A posle dodira protrvenim štapom i sama stekla njegove osobine tj. nenelektrisala se, zato privoprvlači, pa zatim odbija lopticu B.

Na osnovu ovoga možemo izvesti zaključak da se tela mogu nenelektrisati trenjem - kao stakleni i ebonitni štap i dodirom - kao optica A .

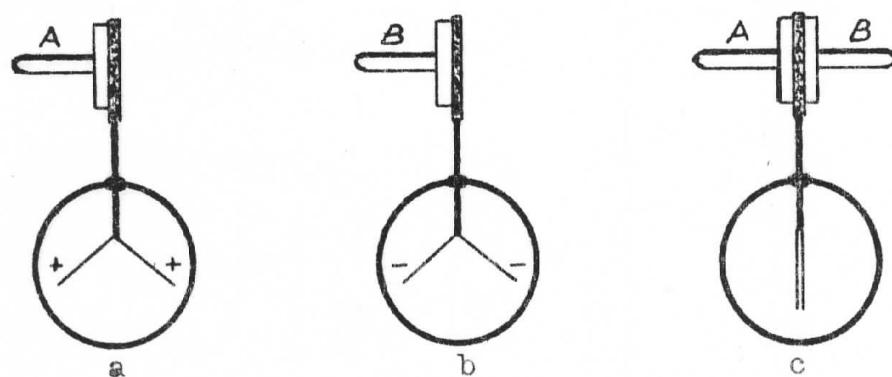
- Uzmemo dva električna klatna, kao i u predhodnom ogledu. Dodirom sa protrvenom staklenom šipkom nenelektrišemo kuglicu prvo jednog, pa zatim drugog električnog klatna i približimo ih. Videćemo da će se kuglice međusobno odbijati. Zatim, nakon što smo dodirom ruke razelektrisali kuglice pa se više ne privlače, ponovimo isto, ali sa protrvenim ebonitnim štapom. Kuglice će se i u ovom slučaju odbijati (sl 4. a i b). Ako sada nakon što smo razelektrisali kuglice, jednu kuglicu dodirnemo protrvenom staklenom šipkom, a drugu ebonitnom kuglice će se privlačiti. (sl 4. c).

Na osnovu izloženog zaključujemo da postoje dve vrste nenelektrisanja: ono koje poseduje protrvana staklena šipka i ono koje poseduje protrvana ebonitna šipka. Tela nenelektrisana istom vrstom elektriciteta se odbijaju, a različi-

tom vrstom nanelektrisanja privlače.



- Staklena ploča A i ploča B presvučena svilom, pričvršćene su na ručice od izolacionog materijala. Ako se ploče A i B međusobno protaru, pa se jedna spoji sa metalnom pločicom postavljenom na vrhu elektroskopa, lističi elektroskopa će pokazivati otklon koji će možda zabeležiti. Razelektrišemo elektroskop, pa sada drugom pločom, koju smo do sada držali u ruci za dršku od izolatora, dodirnemo pločicu elektroskopa. Lističi elektroskopa će pokazivati isti otklon (sl 5 a i b). Ako sada ponovo protrljamo ploče i istovremeno ih prislonimo na pločicu elektroskopa, koji smo prethodno opet razelektrisali, lističi elektroskopa neće pokazivati nikakav otklon. (sl 5 c).



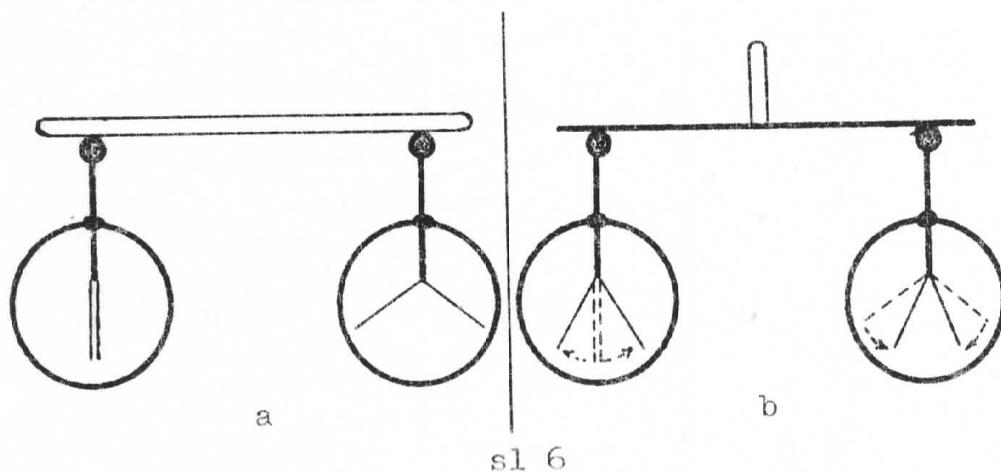
sl 5

Na osnovu ovoga može se zaključiti da se trenjem nanelektrisani predmeti privlače.

lektrišu oba tela jednakim količinama elektriciteta suprotnog znaka. Tela u nenaelektrisanom stanju sadrže jednake količine pozitivnog i negativnog elektriciteta, a u procesu nenaelektrisavanja tela dolazi do količinske preraspodele pozitivnog i negativnog elektriciteta. Prema savremenoj elektronskoj teoriji neko telo je negativno nenaelektrisano ako ima više elektrona, a pozitivno nenaelektrisano ako ima manje elektrona nego u neutralnom stanju. Dakle nenaelektrisavanje stakla trenjem svilom objašnjava se prelaskom elektrona sa stakla na svilu, pri čemu se površina stakla nenelektriše pozitivno, a svila negativno.

Provodnici i izolatori

- Uzmemo dva jednaka elektroskopa i postavimo ih na rastojanju od oko 30 cm jedan od drugog. Jedan elektroskop nenaelektrišemo protrvenom **staklenom** šipkom. Listići nenaelektrisanog elektroskopa su rašireni, a ne nenaelektrisanog elektroskopa skupljeni. Vrhove elektroskopa spojimo ebonitnom šipkom (moramo paziti da nije nenaelektrisana). Ništa se neće dogoditi. Naime, listići nenaelektrisanog elektroskopa ostaju jednako rašireni, a ne nenaelektrisanog i dalje skupljeni (sl 6 a). Ako vrhove elektroskopa spojimo metalnom šipkom (sa drškom od izolatora), otklon listića na predhodno nenaelektrisanom elektroskopu će se smanjiti, dok će se kod drugog raširiti. (sl 6 b).

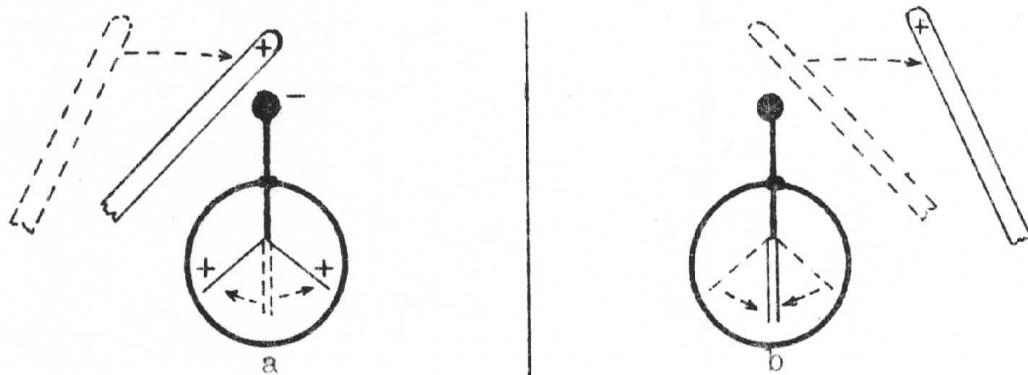


Znači da se u momentu kada smo elektroskope spojili me-

talnom žicom i drugi elektroskop nanelektrisao, dok se nanelektrisanje prvog smanjilo. Drugim rečima elektricitet sa prvog elektroskopa je prešao na drugi elektroskop, što se nije desilo kada smo vrhove elektroskopa spojili ebonitnom šipkom. Zaključujemo da postoje supstance koje provode elektricitet i koje ga ne provode. Supstance koje dobro provode elektricitet nazivamo provodnicima, a koje ga ne provode, ili loše provode izolatorima.

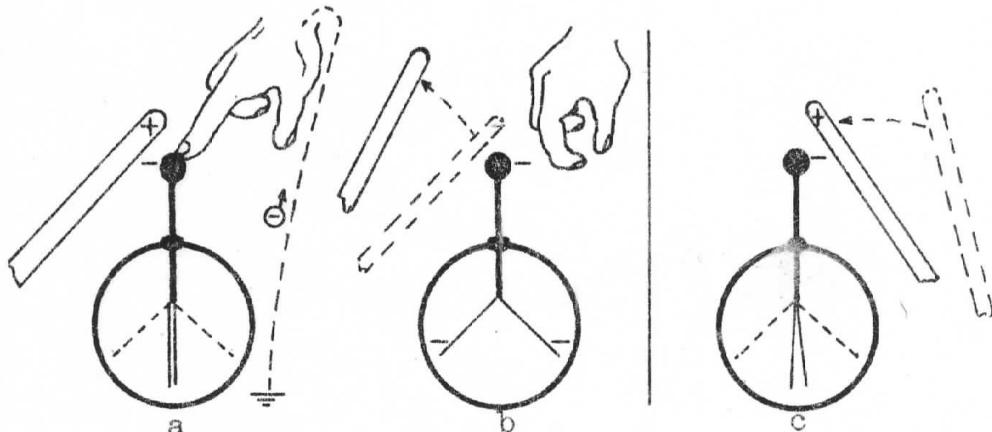
Električna influencija

- Vrhu ne nanelektrisanog elektroskopa približimo protivenu staklenu ili ebonitnu šipku pazeći da vrh elektroskopa ne dodirnemo šipkom. Primetit će mo da se listići elektroskopa šire kako približavamo nanelektrisanu šipku. Ako šipku odmaknemo listići se ponovo skupljaju. Znači da elektroskop nije ostao trajno nanelektrisan, već je prilikom približavanja nanelektrisane šipke došlo do razdvajanja i preraspodele pozitivnog i negativnog elektriciteta u elektroskopu. Pri tome su se nosioci negativnog elektriciteta - elektroni, nagomilavali bliže pozitivno nanelektrisanoj staklenoj šipki, odnosno dalje od negativno nanelektrisane ebonitne šipke usled privlačenja raznoimenih nanelektrisanja tj. odbijanja istoimenih nanelektrisanja. To znači da su listići elektroskopa ostali sa viškom nanelektrisanja suprotnog znaka od nanelektrisanja šipke koju približavamo, što njihovo razdvajanje i potvrđuje. Kad smo udaljili nanelektrisanu šipku, nanelektrisanje u elektroskopu se neutrališe i listići se ponovo skupljaju. (sl 7 a i b).



Pojava da u provodnicima, ukoliko se nađu u blizini nanelektrisanog tela, dođe do razdvajanja i preraspodele nanelektrisanja tako da se na bližem kraju provodnika u odnosu na nanelektrisano telo javlja suprotno, a na daljem kraju istoimeno nanelektrisanje sa onim koje se nalazi na telu u njegovoj blizini, naziva se električna influencija.

- Ne nanelektrisanom elektroskopu približimo stakleni štap protrven svilom. Usled influencije na listićima elektroskopa se izdvaja pozitivno nanelektrisanje i listići se šire. Vrh elektroskopa sada dodirnemo rukom. Listići će se skupiti. Odmaknemo prvo ruku, pa zatim i nanelektrisanu staklenu šipku. Listići elektroskopa se ponovo šire i ostaju daleko u tom položaju. (sl 8 a i b). To znači da se elektroskop trajno nanelektrisao. Ako elektroskopu ponovo približavamo nanelektrisani stakleni štap listići se skupljaju. To znači da je elektroskop negativno nanelektrisan. (sl 8 c).

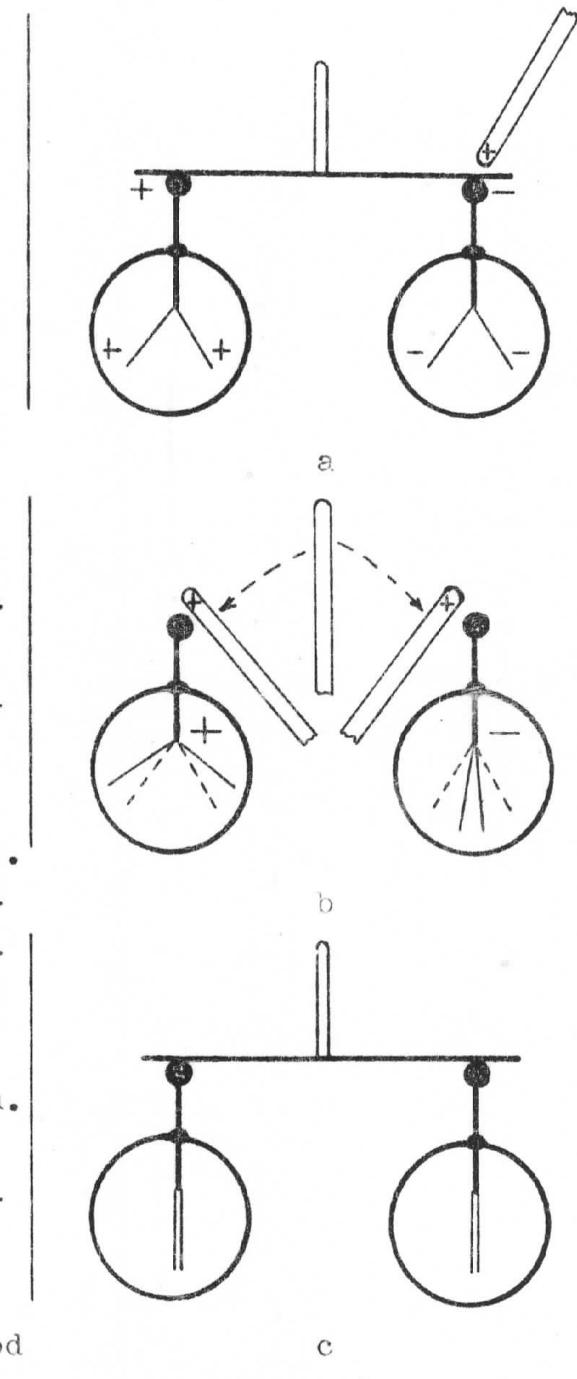


sl 8

Dakle električnom influencijom tela se mogu trajno nanelektrisati. Kada smo u opisanom ogledu rukom dodirnuli vrh elektroskopa, kroz naše telo, koje se ponaša kao provodnik, elektroni iz zemlje su neutralisali izdvojeno pozitivno nanelektrisanje na listićima elektroskopa i listići su se skupili. Kada smo odmaknuli prvo ruku, pa zatim i staklenu šipku, negativno nanelektrisanje koje je do tada bilo vezano uz pozitivno nanelektrisanje staklene šipke se raspoređuje u elektroskopu i on ostaje trajno negativno nanelektrisan.

- Spojimo vrhove dva ista elektroskopa (A i B) metalnom šipkom na kojoj je pričvršćena drška od izolatora. Elektroskopu A približimo svilom protryvnu staklenu šipku. Listići kod oba elektroskopa će se raširiti (sl 9 a). Ako uklonimo provodnik koji je povezivao elektroskope, držeći ga za izolovanu dršku, pa zatim udaljimo i staklenu šipku od elektroskopa A, listići oba elektroskopa ostaju rašireni. Znači da su oba elektroskopa nanelektrisana. Približimo elektroskopu A pozitivno nanelektrisanu staklenu šipku. Listići smanjuju otklon što znači da je elektroskop A negativno nanelektrisan. Ako istu šipku približimo elektroskopu B listići će se više širiti što je znak da je elektroskop B pozitivno nanelektrisan. (sl 9 b). Ako vrhove elektroskopa ponovo spojimo provodnikom listići oba elektroskopa se skupljaju što znači da su oba elektroskopa ponovo neutralna. (sl 9 c).

Zaključujemo da se influencijom, kao i trenjem, ne stvara elektricitet već samo razdvaja razdvaja negativan od pozitivnog elektriciteta koje tela u neutralnom stanju imaju u jednakim količinama.

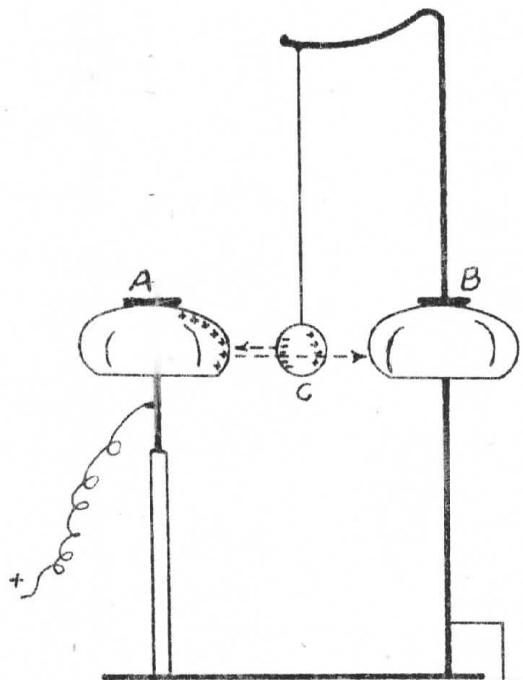


sl 9

- Pojavom influencije možemo otkloniti zašto nanelektrisana tela privlače neutralna u njihovoj blizini. Ovo se

- Pojavom influencije možemo objasniti zašto nanelektrisana tela privlače neutralna u njihovoj blizini. Ovo se može pokazati ogledom koji je poznat pod imenom "igra zvončadi". Za tu svrhu služi nam aparat koji je prikazan na sl 10. Aparat se sastoji od dva zvonceva između kojih je obešena metalna kuglica (C). Zvono A je izolovano, dok je zvono B u spoju sa zemljom. Ako zvono A provodno vežemo za pozitivan pol influentne mašine kuglica C će se klaviti između zvona A i B, udarati u njih i ona će zvoniti.

Pojava se može ovako objasniti: Na kuglici C, koja se nalazi u blizini pozitivno nanelektrisanog zvona A, nastaje razdvajanje elektriciteta tako da se na onoj njenoj polovini koja je okrenuta zvonom A nalazi negativan elektricitet, a na suprotnoj polovini nalazi se pozitivan elektricitet. Pošto je rastojanje raznimenih nanelektrisanja između zvona A i kuglice C manje nego rastojanje između njihovih istoimenih nanelektrisanja, privlačna sila koja postoji između tih nanelektrisanja će biti



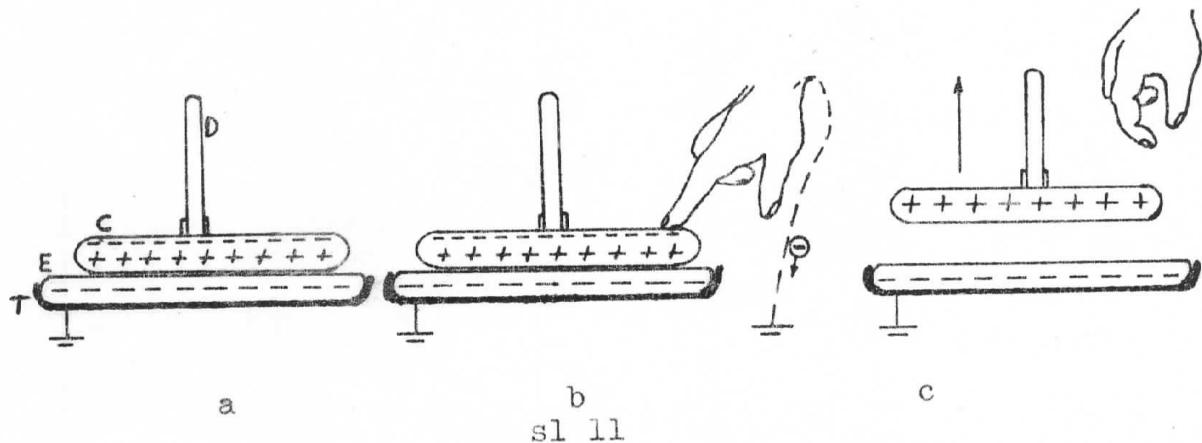
sl 10

veća od odbojne sile. Zato će zvono A privući kuglicu C. No čim kuglica dodirne zvono A negativni elektricitet će se neutralisati i kuglica će biti pozitivno nanelektrisana. Usled odbijanja pozitivnog nanelektrisanja kuglice i zvona, kuglica se odbije od zvona A i udari u zvono B. Usled dodira sa zvonom B, kuglica će se neutralisati, jer je zvono B provodno vezano sa zemljom. Razelektrisana kuglica se vraća u ravnotežni položaj. Proces se ponavlja i zvončad će zvoniti sve dotle, dok se na zvono A dovodi pozitivan elektricitet sa influentne mašine tj. dok je nanelektrisano.

Elektrostatičke mašine sa influencijom

Elektrofor

Elektrofor je pronašao Volta 1775 godine i predstavlja najprostiju elektrostatičku mašinu zasnovanu na pojavi električne influencije. Sastoji se iz ebonitne kružne ploče E, koja se stavlja na metalni tanjur T. Ako ebonitnu ploču protrljamo krznom ona će se nanelektrisati negativno. Tada se na nju stavi šupalj metalni disk C sa izolovanom drškom D, koju hvatamo rukom. Zbog neravnina na ebonitnoj ploči donja površina diska dodiruje izvestan broj tačaka, dok je ostala površina ebonitne ploče odvojena vazdušnim slojem od diska. Usled toga se donja površina diska nanelektriše pozitivno, a gornja strana negativno (sl lla). Ako prstom dodirnemo gornju površinu diska i zatim ga, pošto smo odmakli prst, podignemo držeći ga za izolatorsku dršku, disk je ostao pozitivno nanelektrisan, jer smo dodirom odvele nevezani tj. negativni elektricitet u zemlju. (sl llb ic) Pozitivno nanelektrisanim diskom možemo sada nanelektrisati druga tela.

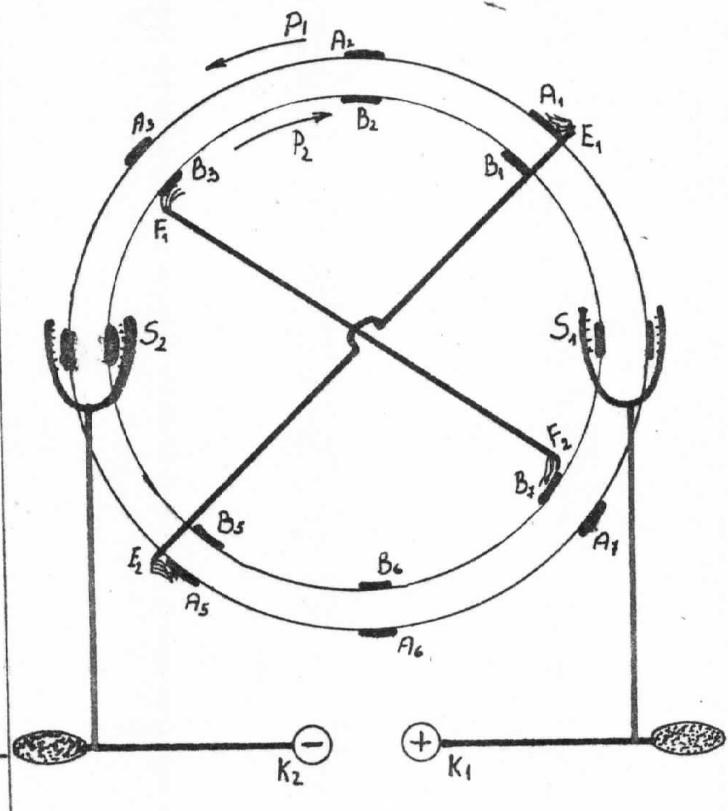


Potrebno je naglasiti da se ovde ne stvara elektricitet ni iz čega, već se na osnovu mehaničke energije dobija potencijalna električna energija po zakonu održanja energije. Naime pri odvajanju metalnog diska od ebonitne ploče mora se upotrebiti mehanički rad, jer se raznoimeni elektricitet koji se nalazi na njima međusobno privlači. Metalni tanjur sprečava rasturanje negativnog elektriciteta u vazduhu.

Influentna mašina

Influentna mašina se sastoji iz dve staklene ili ebonitne ploče u obliku diska P_1 i P_2 , postavljene paralelno na rastojanju od 3 do 4 mm i vertikalno učvršćene na osovinu oko koje se mogu obrnati u suprotnim smerovima preko pogonske ručice i kaiševa za transmisiju. Na spoljašnjim stranama blizu periferije obe kružne ploče imaju uske sektore kalajnih listića raspoređene na jednakim razmacima. Ispred svake ploče nalazi se po jedan dijametralni konduktor u vidu šipke. Obe šipke postavljene su tako da međusobno zaklapaju ugao od 90 stepeni. Šipke su izolovane u ležištima i na krajevima imaju metalne metlice E_1 E_2 , i F_1 F_2 , koje klize po sektorima. Na krajevima horizontalnog prečnika obe su ploče obuhvaćene savijenim metalnim šipkama na čijim se unutrašnjim stranama nalaze metalni zupci S_1 i S_2 . Ovi su zupci spojeni sa metalnim kuglama K_1 i K_2 , koje predstavljaju elektrode mašine. Šematski prikaz je dat na slici 12.

Okretanjem pogonske ručice ploče se obrću u suprotnim smerovima. Metalne metlice na konduktorima klize po kalajnim listićima. Predpostavimo da se kalajni listić B_3 zbog trenja sa F_1 nanelektrisao pozitivno. Kada B_3 dospe u položaj B_1 , tada se influentnim dejstvom A_1 nanelektriše negativno, a A_5 pozitivno, jer su A_1 i A_5 preko četkica E_1 i E_2 provodno spojeni. Kada negativno nanelektrisani listić A_1 dospe u položaj A_3 , tada se influencijom taka u položaju B_3 na elektriše pozitivno, a B_7 negativno. Prema tome ka usisnim

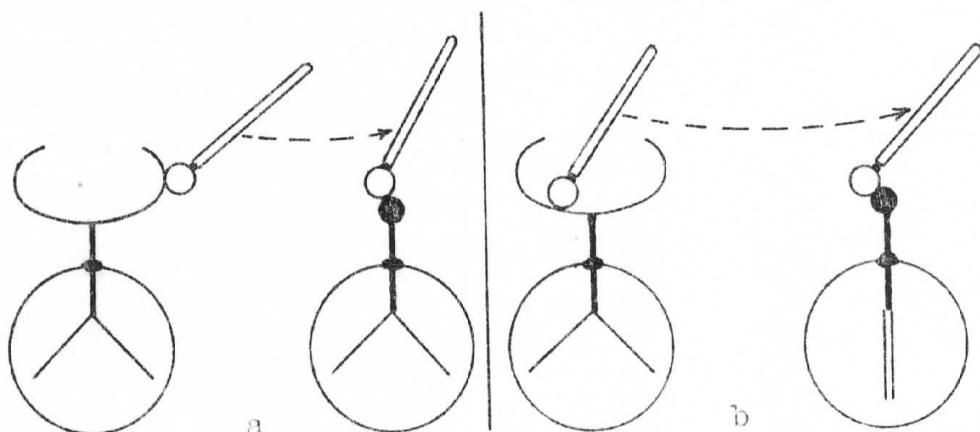


sl 12

šiljcima S1 kreću se stalno pozitivno, a ka šiljcima S2 stalno negativno naelektrisani listići. Tako se na metalnoj kugli K1 nagomilava pozitivno, a na K2 negativno naelektrisanje. Ako influentnom mašinom želimo naelektrisati neko telo, tada jedan pol vezujemo provodnikom za telo, a drugi za zemlju. Napon koji se dobija je reda veličine nekoliko stotina kilo volta. Influentna mašina se koristi kod najvećeg broja ogleda koje izvodimo kod ispitivanja elektrostatičkih pojava, kao izvor naelektrisanja.

Raspored elektriciteta na provodnicima

- Šuplju metalnu kuglu postavimo na elektroskop i nanelektrišemo je. (listići elektroskopa će biti rašireni). Nanelektrisanu metalnu kuglu dodirnemo sa spoljne strane metalnom kuglicom koja se nalazi na dršci od izolatora. (ovakvu kuglicu nazivamo probna kuglica). Zatim probnom kuglicom vrh nenelektrisanog elektroskopa. Ovaj proces ponovićemo nekoliko puta. Listići elektroskopa će se raširiti. (sl 13 a). Dakle elektroskop se nanelektrisao. Razelektrišemo elektroskop dodirom ruke pa probnim telom dodirnemo nanelektrisanu kuglu, ali tako da probnu kuglicu unesemo u šupljinu i dodirnemo unutrašnju stranu kugle pazeći da ne dotaknemo rub, pa opet dodirnemo vrh nenelektrisanog elektroskopa. Videćemo da se listići elektroskopa neće širiti bez obzira koliko puta ponovimo postupak. (sl 13 b).



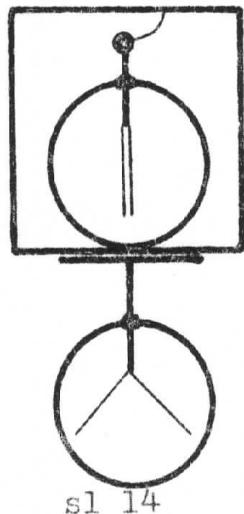
sl 13

Zaključujemo da u unutrašnjosti nanelektrisane kugle

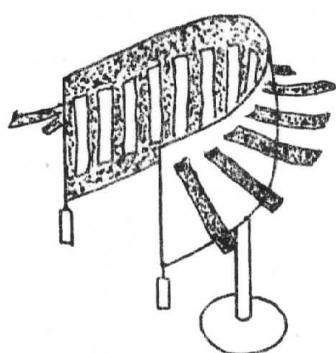
nema naelektrisanja već je celokupno naelektrisanje raspoređeno po površini metalne kugle. Da se naelektrisanje raspoređuje samo po spoljašnjoj površini provodnika pokazuje i sledeći ogled:

- Na elektroskop postavimo Faradejev kavez (zatvoren metalni kavez) u koje se nalazi drugi elektroskop, čiji je vrh provodnikom vezan za unutrašnju površinu metalnog kaveza. Kavez nanelektrišemo. Da je kavez nanelektrisan vidimo po tome što su listići elektroskopa na kojem je postavljen rašireni. Pri tome ćemo zapaziti da listići elektroskopa postavljenog u unutrašnjost kaveza ostaju skupljeni ma koliko se kavez nanelektriše. (sl 14).

Da je unutrašnji elektroskop ispravan pokazat će mo tako što će mo ga izvaditi iz kaveza i približiti mu nanelektrisano telo. Listići će se širiti.

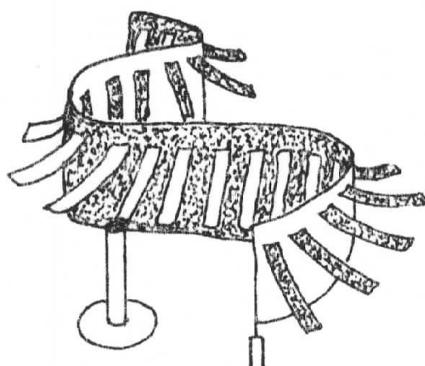


- Metalnu mrežu koja je postavljena na drškama od izolatora i sa obe strane ima okačene trake od tanke hartije, savijemo u obliku polukruga i nanelektrišemo. Videćemo da će se listići (koji se ponašaju kao električna klatna) raširiti samo na ispuštenoj strani mreže, dok će listići koji se nalaze na unutrašnjoj strani ostati priljubljeni (sl 15a).



a

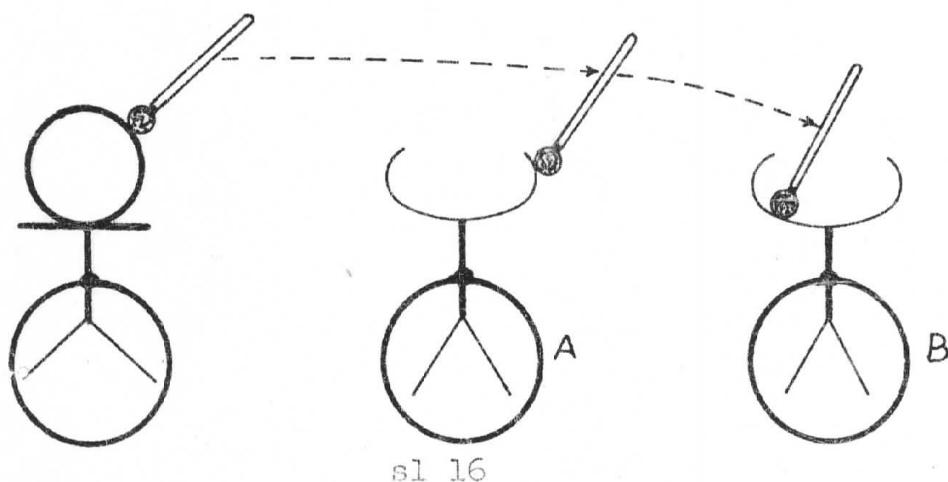
sl 15



b

Ako metalnu mrežu blago povijemo tako da dobije oblik talasaste površine listići na udubljenim delovima se neće raširiti, dok će se listići koji se nalaze na ispuštenim delovima mreže raširiti tj. odvojiti od mreže, što je znak da je na tim mestima mreža nanelektrisana. (sl 15 b). To znači da se elektricitet raspoređuje samo na ispuštenim delovima provodnika, dok ga na udubljenim delovima nema.

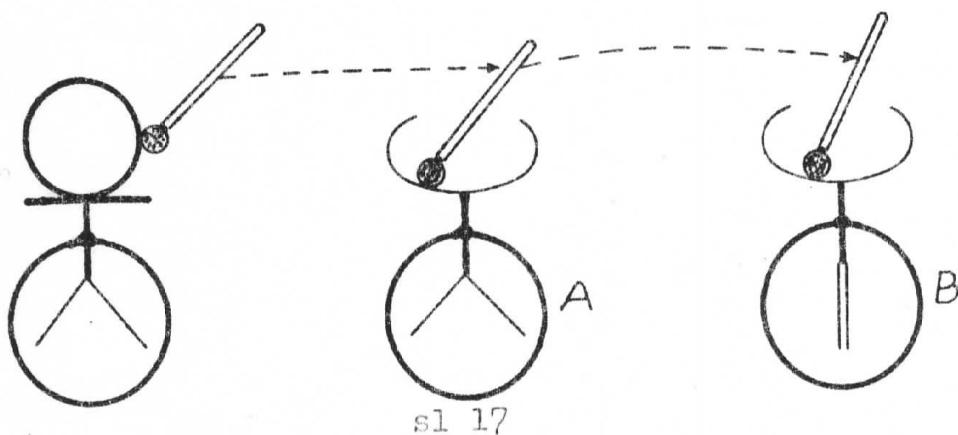
- Na dva elektroskopa (A i B) postavimo šuplje metalne kugle jednakih prečnika. Sa nekog nanelektrisanog tela (to može biti nanelektrisana metalna kugla , ili pak nanelektrisani elektrofor), probnom kuglicom prenesemo nanelektrisanje tako što prvo dodirnemo kuglu elektroskopa A po spoljnoj površini i zatim istom kuglicom elektroskop B po unutrašnjoj površini kugle.Isti postupak ponovimo nekoliko puta uvek iznova prenoseći nanelektrisanje sa nanelektrisanog tela na kugle.(dobro je da probna kuglica ne bude svih malog prečnika u odnosu na kugle).Primetit će mo da će se listići kod oba elektroskopa raširiti, što je znak da smo nanelektrisanje dodirom preneli i na elektroskop A i na elektroskop B . (sl 16). Razelektrišemo oba elektro-



skopa. Ponovo će mo probnom kuglicom preneti nanelektrisanje sa nanelektrisanog tela na kugle elektroskopa, ali tako što će mo sada opet prvo dodirnuti kuglu elektroskopa A , ali po njenoj unutrašnjoj površini, a zatim istom kuglicom kuglu elektroskopa B takođe po unutrašnjoj površini.



Postupak će mo opet ponoviti nekoliko puta. Primetit će mo da će se sada raširiti listići samo elektroskopa A , dok će listići elektroskopa B ostati priljubljeni.(sl 17). To znači da je probna kuglica predala celekupno svoje nanelektrisanje samo elektroskopu A , kada ga je dodirivala po unutrašnjoj strani kugle.

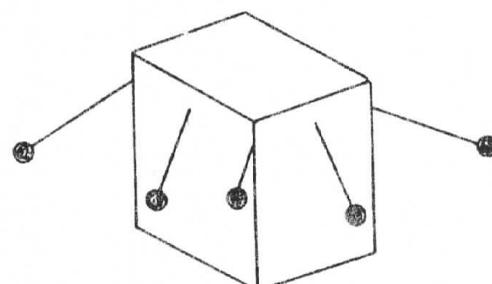


sl 17

Na osnovu ovoga možemo zaključiti da jedan nanelektrisani provodnik može predati sav svoj elektricitet drugom provodniku samo u tom slučaju ako ga dodiruje sa njegove unutrašnje strane. Međutim ni jedan nanelektrisani provodnik ne može dodirom predati sav svoj elektricitet drugom ako se dodiruju svojim spoljašnjim površinama.

Gustina nanelektrisanja

- Metalnu kocku na čijim su vertikalnim ivicama i ravnim površinama okačena električna klatna, postavimo na stalak od izolatora. (možemo upotrebiti i kocku od kartona uvijenu u staniol). Kocku spojimo provodnikom za pozitivan pol influentne mašine. Kada okretanjem ručice influentne mašine kocku nanelektrišemo, nanelektrisanje će se rasporediti po spoljnoj površini kocke. S obzirom da je kocka nanelektrisana električna klatna će se odmaknuti od površi-



sl 18

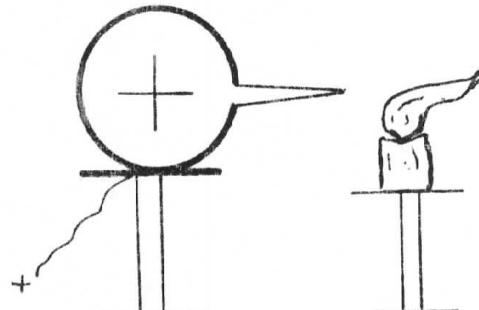
ne kocke. Primetit će mo da se klatna okačena na ivicama kocke više odmaknu nego klatna na ravnim površinama (sl 18).

Zaključujemo da je raspored naelektrisanja na telu nepravilnog oblika neravnomernan. Površinska gustina naelektrisanja (naelektrisanje po jedinici površine) je veća na jače zakriviljenim površinama. Prema tome najveća gustina naelektrisanja će biti na šiljcima, a najmanja na ravnim površinama. Na naelektrisanoj sveri je elektricitet revnomođno raspoređen, jer je zakriviljenost površine u svakoj tački svere ista.

Dejstvo šiljaka

- Metalnu kuglu na kojoj je postavljen šiljak postavimo na dršku od izolatora i provodno spojimo za pol influentne mašine. Ispred šiljka, na udaljenosti od oko 2 do 3 cm, postavimo upaljenu sveću tako da plamen bude u visini šiljka. Ako okrećemo ručicu influentne mašine i naelektrišemo kuglu primetit će mo da će se plamen sveće povijati od šiljka, a može čak i da se ugasi. (sl 19).

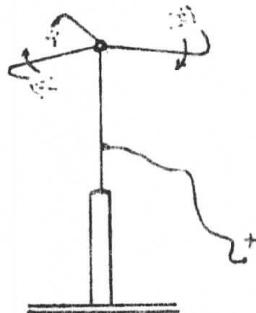
Ova pojava se objasnjava time da je na šiljcima zakriviljenost površine velika, pa je i površinska gustina naelektrisanja velika, usled čega je i jačina električnog polja u blizini šiljka velika. Stoga pod uticajem influentnog dejstva dolazi do razdvajanja naelektrisanja na neutralnim molekulima vazduha (pretežno N_2 i O_2), tj. stvaraju se dipoli i šiljakih privlači. Kada molekuli vazduha (dipoli) dodirnu šiljak naelektrišu se istom vrstom naelektrisanja kojom je nanelektrisan i šiljak. Stoga ih šiljak snažno odbija. Odbijeni joni povlače za sobom i neutralne molekule vazduha. Na taj



sl 19

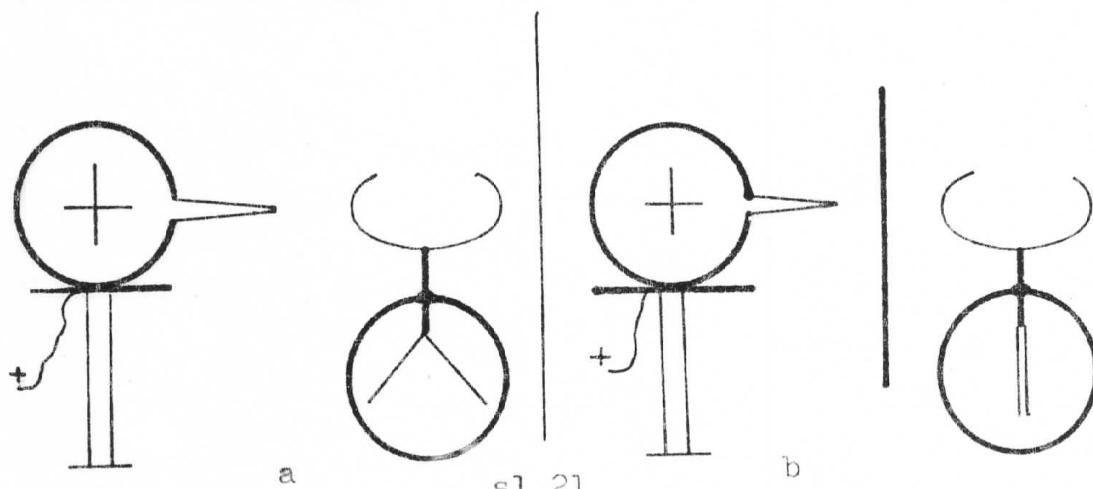
način stvara se električni vetar koji povija plamen sveće.

- Metalnu vrtešku koja se sastoji od šipki čiji su šiljci na krajevima orijentisani u istom smeru ili Segnerov točak, spojimo provodno za pol influentne mašine. Naelektrisavanje metalne vrteške izazvat će njeno obrtanje oko vertikalne osovine. (sl 20). Ovo se objašnjava time da u sled strujanja jona i molekula vazduha sa šiljaka po zakonu akcije i reakcije nastaje potiskivanje šiljaka unazad i lako pokretljiv Segnerov točak se obrće suprotno šiljcima.



sl 20

- U blizinu metalne kugle koja je postavljena na elektroskopu, postavimo metalni provodnik snabdeven šiljkom, tako da šiljak bude u visini kugle. Provodnik sa šiljkom provodno spojimo za pol influentne mašine. Okretanjem ručice influentne mašine nanelektrisat će mu provodnik sa šiljkom. Primetit će mo da se listići elektroskopa na kom se nalazi metalna kugla šire. (sl 21 a). Da je metalna kugla u blizini šiljka postala trajno nanelektrisana dokazuje to što listići elektroskopa ostaju rašireni i kada odaljimo šiljak.



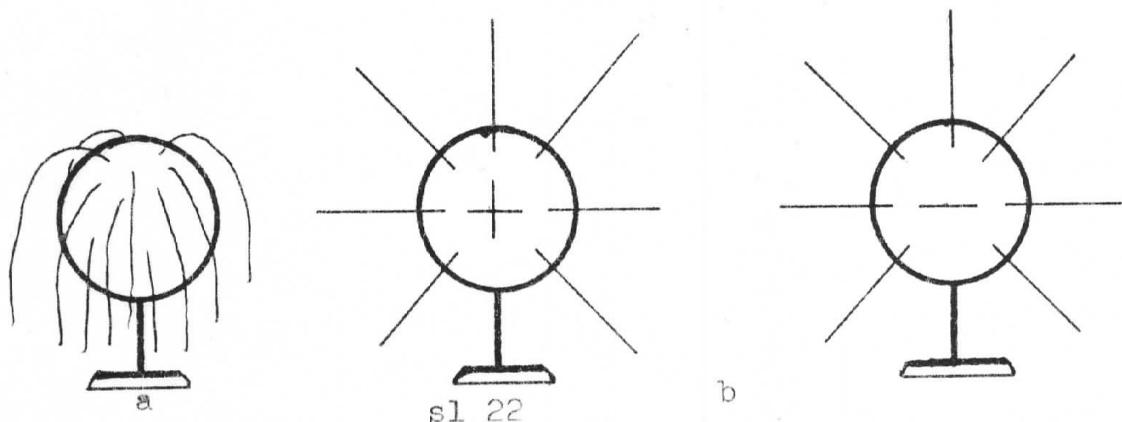
sl 21

Kada smo udaljili šiljak razelektrišemo metalnu kuglu na

elektroskopu dodirom ruke. Ponovo približimo šiljak, ali predhodno između šiljka i kugle postavimo ploču od izolatora. Naelektrisavanjem šiljka metalna kugla se sada neće nanelektrisati što pokazuje elektroskop. Zaključujemo da se u prvom slučaju kugla nanelektrisala usled dejstva električnog vetra, dok je u drugom slučaju ostala nenelektrisana pošto su se joni koji se kreću od šiljka ka kugli odbili od ploče i nisu stigli do kugle. Drugi slučaj je prikazan na slici 21 b.

Električno polje

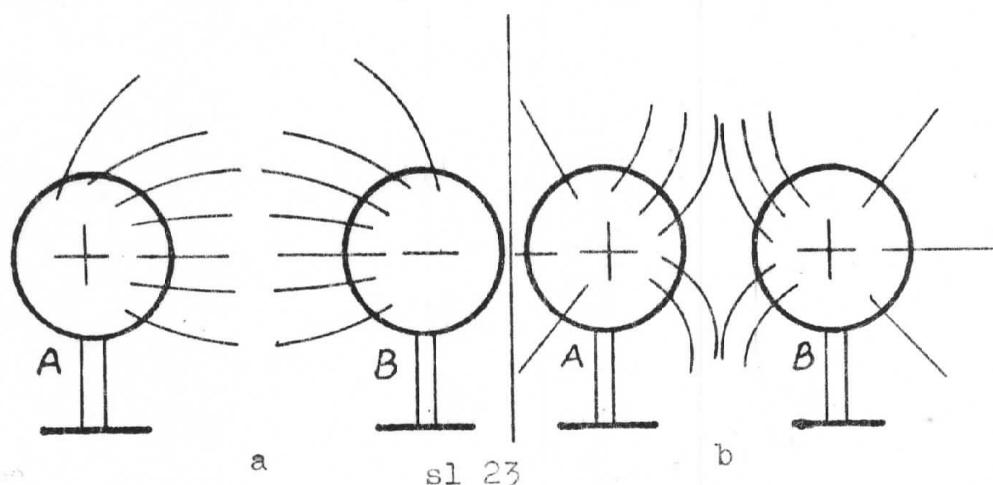
- Prostor oko nanelektrisanog tela u kojem se opaža dejstvo električne sile zove se električno polje, a jačina sile kojom polje deluje na jedinicu pozitivnog nanelektrisanja je jačina polja u toj tački. Električno polje je vektorska veličina pa je pored intenziteta određeno pravcem i smerom. Pod pravcem i smerom električnog polja podrazumevaju se pravac i smer u kojem sila deluje na pozitivnu količinu elektriciteta jedinične vrednosti u datoj tački polja. Za očevidnu predstavu električnog polja služimo se pojmom linija električne sile. To su linije koje u svakoj tački polja imaju pravac i smer električne sile u datom polju. Linije električne sile mogu se ogledom pokazati pomoću svilenih niti koje su jednim krajem zalepljene na površinu metalne kugle postavljene na dršci od izolatora. (električni čupavac). Umesto svilenih niti mogu biti i trake od tankog papira (sl 22 a). Kada se kugle nanele-



ktrišu pomoću influentne mašine svilene niti se postavljaju

u pravcima linija električne sile. Na slici 22 b su prikazani položaji svilenih niti u prostoru kada je metalna kugla nanelektrisana pozitivno ili negativno i kada u blizini nema drugih nanelektrisanih tela.

- Uzmemо dva "električna čupavca" A i B. Kuglu A nanelektrиšemo influentnom mašimom pozitivno, a kuglu B negativno i približimo ih. Svilene niti će zauzeti položaj u prostoru kako je prikazano na slici 23 a. Ako sada kugle A i B nanelektrиšemo istom vrstom elektriciteta i približimo ih, svilene niti će zauzeti položaj prikazan na slici 23 b.

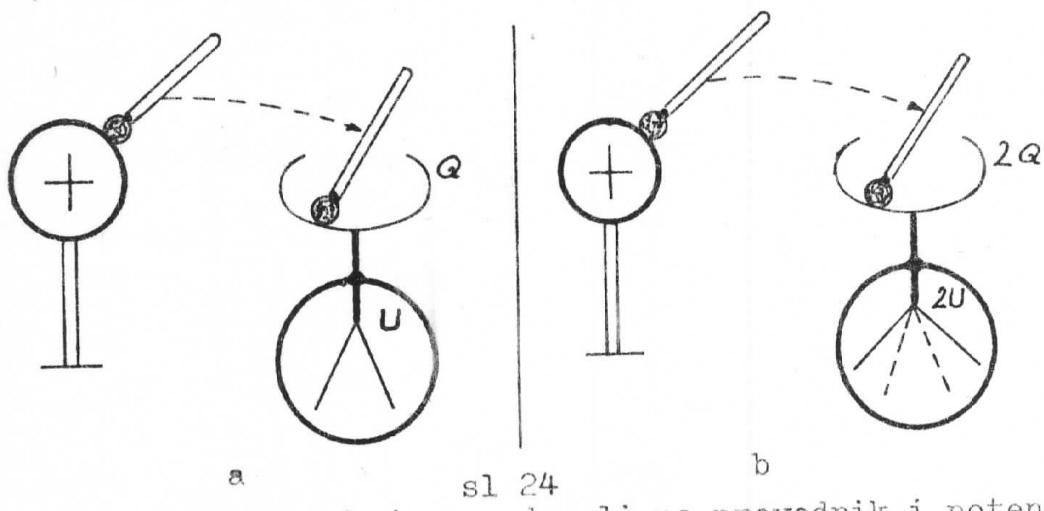


Na osnovу ovога можемо закљуčити да су линије електричних сила распоређене у целом простору око нанеелектрисаног тела и да се око усамљеног кружног проводника простиру радијално, тј. у правцу полупреčника. То значи да је првак електричног поља нормалан на површину проводника у свакој пачи површине проводника и да се линије електричних сила никад не секу.

Takođe на основу разматранја огледа приказаног на slici 23 a i b, можемо закљуčити да су линије електричне сile у пољу које потиче од две или више количина електричног увеја криве, jer se dejstva njihovih pojedinačnih поља сабирају векторски у свакој тачки простора око тих тела. С обзиром да се смер електричног поља утврђује према кретању позитивног нанеелектрисања унетог у поље, можемо рећи да линије електричне сile извиру из позитивног нанеелектрисања, а увиру у негативно нанеелектрисање.

Kapacitet

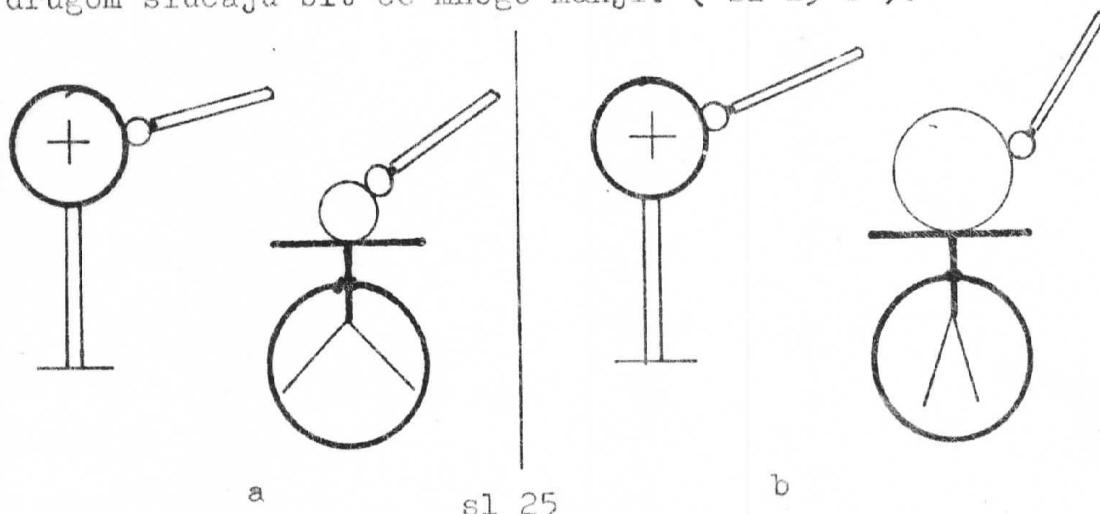
- Šuplju metalnu kuglu postavimo na elektroskop, a drugu metalnu kuglu postavimo na stalak od izolatora i nanelektrisemo je. Probnom kuglicom dodirnemo nanelektrisanu kuglu. Ovim je kuglica primila deo nanelektrisanja na sebe. Sada probnom kuglicom dodirnemo unutrašnju površinu kugle na elektroskopu pa će celokupno nanelektrisanje sa probne kuglice preći na nju. Ovo će mo ponoviti određeni broj puta dok skretanje listića elektroskopa ne bude uočljivo. Elektroskop će dakle pokazivati neki potencijal u odnosu na zemlju U , koji će mo zabeležiti. (sl 24 a). Postupak ponovimo tako što će mo nanelektrisanje prenositi isti broj puta kao u prethodnom slučaju. Time smo na šuplju kuglu doveli istu količinu elektriciteta kao prethodni put, pa je ukupna količina elektriciteta na kugli $2Q$. Primetit će mo da elektroskop pokazuje određeni potencijal u odnosu na zemlju koji je sada $2U$. (sl 24 b). Znači da postoji proporcionalnost između količine elektriciteta koju smo doveli na provodnik i potencijala $Q - U$. Stavljajući $Q = C \cdot U$ dobijamo pozitivnu konstantu $C = \frac{Q}{U}$, koja se naziva kapacitet.



čine elektriciteta koju smo doveli na provodnik i potencijala $Q - U$. Stavljajući $Q = C \cdot U$ dobijamo pozitivnu konstantu $C = \frac{Q}{U}$, koja se naziva kapacitet.

- Na elektroskop postavimo metalnu pločicu, a na nju manju metalnu kuglicu. Sa nanelektrisane metalne kugle postavljene na stalku od izolatora probnom kuglicom prenesemo nanelektrisanje na kuglicu postavljenu na elektroskopu. Ovaj postupak ponovimo određeni broj puta dok ne dobijemo uočljiv otklon listića na elektroskopu koji će mo zabeležiti.

(sl 25 a). Zatim uklonimo malu kuglicu i pošto smo razelektrisali elektroskop, na njega postavimo veću kuglu i ponovimo isti postupak. Sada će biti potrebno mnogo više puta prenositi naelektrisanje da bi listići elektroskopa pokazali isti otklon kao sa malom kuglom. Odnosno za jednak broj prenošenja naelektrisanja otklon listića elektroskopa u drugom slučaju bit će mnogo manji. (sl 25 b).



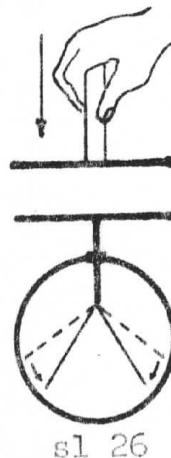
Znači da je bilo potrebno dovesti više naelektrisanja većoj kugli da bi elektroskop pokazao isti potencijal kao sa manjom kuglom. S obzirom na relaciju $C = \frac{Q}{U}$, sledi da je kapacitet veće kugle veći nego kapacitet manje kugle, odnosno da zavisi od prečnika kugle, a ne zavisi od količine elektriciteta Q , ni od potencijalne razlike U . Kazemo da je kapacitet kugle utoliko veći, ukoliko se veća količina elektriciteta može naneti na nju pri istoj potencijalnoj razlici.

Pojam kondenzatora

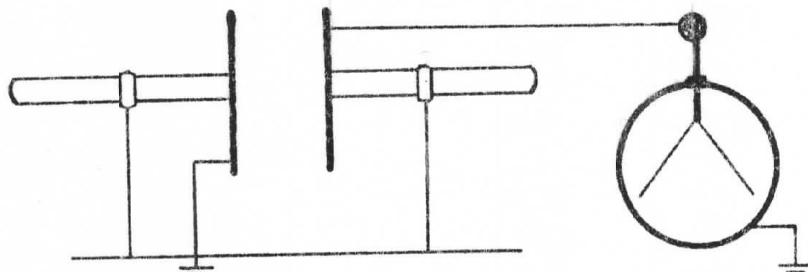
- Elektroskop snabdeven ravnom pločom naelektrišemo. Elektroskop će pokazivati određeni potencijal u odnosu na zemlju, tj listići će se raširiti. Ako ploči na elektroskopu približavamo drugu metalnu ploču koju držimo u ruci, otklon listića na elektroskopu će se smanjiti, tj smanjiti će se potencijal nanelektrisane metalne ploče (sl 26). S obzirom da je količina elektriciteta na ploči ostala ista i s obzirom na relaciju $Q = C \cdot U$, znači da se približavanjem druge ploče njen kapacitet povećao. Dakle na ovom

principu moguće je povećati kapacitet jednog provodnika i na njemu sakupiti veću količinu elektriciteta. Sistem takva dva, međusobno izolovana provodnika od kojih jedan može biti uzemljen, naziva se električni kondenzator. Ako su ti provodnici u obliku ploča, onda je to pločasti kondenzator. Električni kondenzator omogućuje nagomilavanje veće količine elektriciteta nego na uzamlijenom provodniku, jer da bi se postigao isti napon potrebno je dodati novu količinu elektriciteta.

- Pločasti kondenzator kod kojeg je moguće menjati rastojanje između ploča, nai elektrišemo. Predhodno smo jednu ploču kondenzatora spojili sa elektroskopom čije je kućište uzmlijeno, a drugu uzmlijili. Kondenzator napunimo tako da lističi elektroskopa budu maksimalno otklonjeni kada su ploče na rastojanju od nekoliko santimetara. (sl 27). **Ako** sma-



sl 26



sl 27

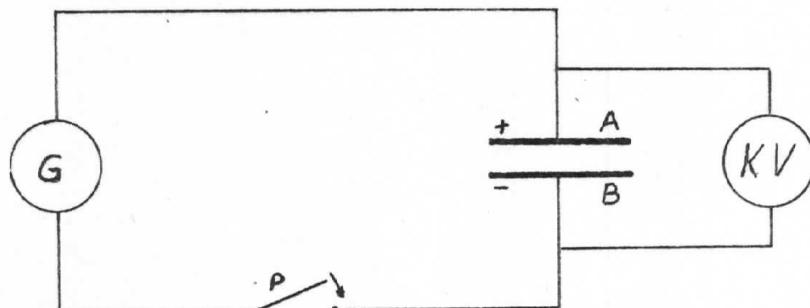
njujemo rastojanje između ploča lističi se skupljaju. Kada su ploče na rastojanju 1-2 cm između njih postavimo neki izolator (dielektrik). To može biti staklena ili ebonitna ploča. Primetit će mo da se lističi elektroskopa još više skupljaju. Prema onome što je predhodno rečeno zaključujemo da se kapacitet kondenzatora povećava smanjivanjem rastojanja između ploča i unošenjem dielektrikuma u prostor između ploča kodnenzatora.

NAELEKTRISANJE U POKRETU

Do sada su razmatrane pojave vezane za statički elektricitet, odnosno pojave pri kojima se elektricitet na provodnicima nalazio u ravnoteži. Dalje će biti razmatrane pojave koje nastaju kretanjem elektriciteta kroz metalne provodnike, s posebnim akcentom na magnetsko dejstvo struje odnosno elektromagnetizam. U ovim ogledima često će mo upotrebljavati ampermetar i voltmeter, pa treba uvek imati na umu da se ampermetar spaja u seriju, a voltmeter paralelno sa potrošačem i da ampermetar nikada ne smemo spojiti direktno na izvor struje. Dobro je pre spajanja instrumenta uvek napraviti približan račun na osnovu Osnovog zakona. Kod većine ogleda vezanih za efekte jednosmerne struje, kao izvor struje koristit će mo akumulator napona 12 volti, koji će mo u strujno kolo vezati preko kliznog otpornika, pomoću kojeg će mo regulisati jačinu struje u kolu.

Pojam struje

- Već je u ogledima iz elektrostatike bilo naglašeno da je proces naelektrisanja tela u stvari proces prelaska elektrona sa jednog tela na drugo. Isto tako i proces razelektrisanja tela objašnjavao se prelaskom elektrona sa tela sa viškom elektrona na telo sa manjom elektronima. Dakle dolazilo je do usmerenog kretanja elektrona. Usmereno kretanje elektrona, u opštem slučaju naelektrisanih čestica naziva se električna struja. Pločasti kondenzator, voltmeter



i galvanometar spojimo u strujno kolo u kojem postoji prekidač, kao što je prikazano na slici 28. Dok je prekidač otvoren kondenzator nanelektrišemo na jedan od ranije opisanih načina. Ako prekidač zatvorimo, kazaljka voltmetra, koji je pokazivao napon između ploča kondenzatora, će past na nulu. Istovremeno će kazaljka galvanometra pokazati određeni otklon. Ako je potencijal ploča A i B suprotan, pokazat će se isti efekti, ali će galvanometar pokazati otklon u suprotnu stranu. Ogled se može izvesti sano odgovarajućom aparaturom. Naime, moramo imati galvanometar koji registruje struju jačine nekoliko mikro ampera, a voltmetar da pokazuje napon od nekoliko kilo volta, jer napon između ploča kondenzatora mora biti 4-5 kilo volta. Kapacitet kondenzatora da bude oko **390** pF (između ploča kondenzatora $R = 10$ cm i $d=2$ mm postavimo ebonit $\epsilon_r = 2,8$). U procesu razelektrisavanja kondenzatora kroz kolo je potekla struja koju je galvanometar registrovao.

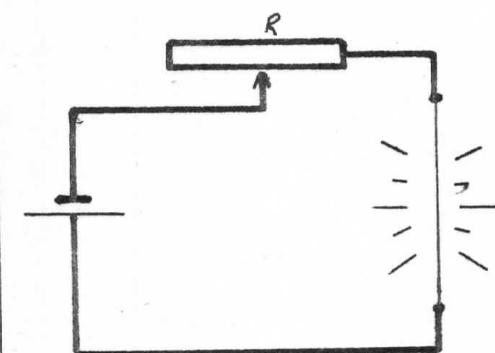
Dejstva električne struje

Kretanje nanelektrisanih čestica može se uočiti samo posredstvom spoljašnjih i unutrašnjih efekata u provodnicima, dakle posredstvom dejstva električne struje. Neka osnovna dejstva električne struje su: termičko, hemijsko, elektromagnetno...

Termičko dejstvo

U strujni krug uklopimo tanku žicu (može iz spleta dvožilnog kabela za kućne električne vodove), dugu nekoliko santimetara i klizni otpornik. Kao izvor struje koristimo akumulator (sl 28 A).

Ako smanjujemo otpor kliznog otpo-



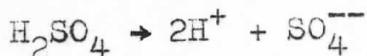
sl 28 A

rničke žice se sve više greje dok se konačno ne rastopi. Bakle termičko dejstvo struje se ogleda u zagrevanju provodnika pri prolasku struje kroz njega. Toplota se oslobođa u procesu savlađivanja otpora koji pruža provodnik kretanju elektrona. Ovo je ujedno i ilustracija osigurača.

Hemijsko dejstvo

Hemijsko dejstvo električne struje se naj lakše može konstatovati pri prolasku električne struje kroz tečne provodnike - elektrolite (zakišljena voda). Ogled se izvodi pomoću Hofmanovog aparata, koji se sastoji od tri staklene cevi spojene pri dnu. Krajnje cevi pri vrhu imaju slavine, a pri dnu elektrode. Slobodne krajeve elektroda vežemo za polove akumulatora. (sl 29).

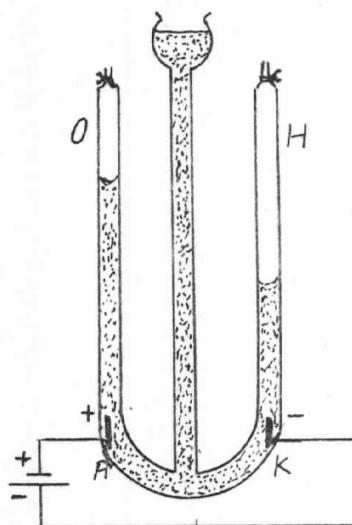
Srednja cev ima pri vrhu proširenje kroz koje sipamo rastvor sumporne kiseline u vodi dok se ne napune krajnje cevi do samih slavina, koje su do tada bile otvorene. Sada se slavine zatvore i uspostavi se strujno kolo. Hemijsko dejstvo struje konstatuje se time da se na elektrodama izdvaja gas koji potiskuje vodu u srednju cev. Na anodi se izdvaja kiseonik, a na katodi vodonik, što će mo utvrditi pomoću plamena šibice. Naime, vodonik gori plavičastim plamenom, a kiseonik pospešuje plamen šibice. Izdvajanje gasa u cevima objašnjava se procesom elektrolize vode. Molekuli sumporne kiseline u vodi disociraju na jone vodonika i atomske grupe SO_4^{2-} .



Pozitivni joni vodonika neutrališu se pri dodiru sa katodom i molekuli vodonika se izdvajaju na katodi. Negativni joni grupe SO_4^{2-} u dodiru sa anodom takođe se neutrališu i odmah hemijski reaguju sa vodom oduzimajući joj dva atoma vodonika. Tako nastaje molekul sumporne kiseline, pri čemu se oslobađa jedan atom kiseonika i kiseonik se izdvaja na anodi.

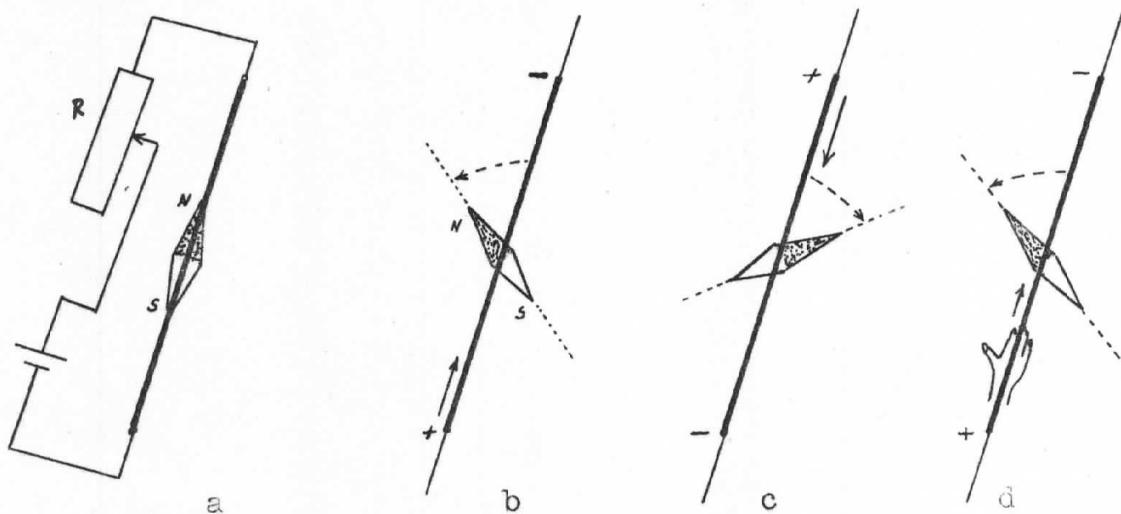
Magnetno dejstvo

Prav provodnik koji predstavlja deo strujnog kola, u



sl 29

kojem se nalazi akumulator kao izvor struje i klizni otpornik, postavimo iznad magnetne igle na oko jedan santimetar. Magnetna igla je postavljena na šiljku, i može se slobodno obrnati oko vertikalne ose. Provodnik postavimo iznad magnetne igle tako da se pravac provodnika poklapa sa pravcem koji zauzima magnetna igla pod dejstvom zemljinog magnetnog polja. (sl 30a). Uključimo strujno kolo preko otpornika tako da kroz kolo protiče struja jačine približno 2,5-3 ampera. Kada kroz provodnik protiče struja magnetna igla skreće. Skretanje magnetne igle objašnjava se time da se oko provodnika kroz koji protiče struja obrazuje magnetno polje pa je otklon magnetne igle rezultat uzajamnog dejstva magnetnih polja strujnog provodnika i magnetne igle.



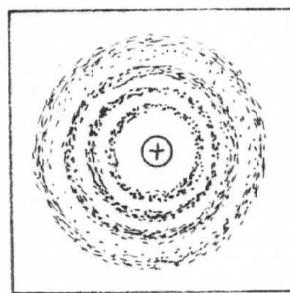
sl 30

Kada kroz provodnik protiče struja u smeru jug - sever, severni pol magnetne igle pokrene se prema zapadu, tj u levo (sl 30 b). Ako se smer struje promeni tako da bude sever - jug , severni pol magnetne igle pokrene se prema istoku, tj u desno. (sl 30 c).

Na osnovu ovih ogleda Ersted je postavio pravilo po kome se određuje smer skretanja severnog pola magnetne igle u blizini provodnika kroz koji protiče struja: "Ako desnu ruku postavimo iznad provodnika dlanom prema magnetnoj igli koja se nalazi ispod provodnika, tako da prsti pokazuju smer struje, onda palac pokazuje smer kretanja severnog pola magnetne igle" - Pravilo desne ruke. (sl 30 d).

Magnetno polje pravog provodnika

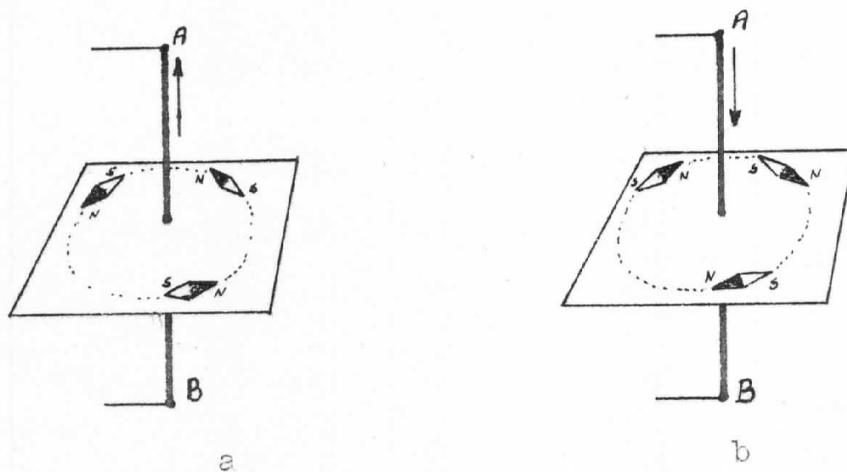
- Prav bakarni provodnik provučemo kroz ploču od izolatora (može biti karton na koji smo zlepili gladak papir), tako da je provodnik postavljen normalno na ravan ploče. Provodnik neka je debljine oko 2 mm. Kroz provodnik propustimo struju jačine oko 10 ampera. Ovu jaku jednosmernu struju naj jednostavnije će mo dobiti pomoću univerzalnog ispravljača. Karton pospemo opiljcima gvožđa istovremeno lupkajući po ploči. Opiljci gvožđa će se poredati u vidu koncentričnih krugova oko provodnika. (sl 31). Dakle linije magnetnog polja pravolinijskog provodnika su koncentrični krugovi oko tog provodnika.



sl 31

- Smer linijsa magnetnog polja pravog provodnika možemo odrediti pomoću sledećeg ogleda: Upotrebit će mo isti pri bor kao u predhodnom ogledu, ali će mo na izolovanu ploču umesto gvozdenih opiljaka postaviti nekoliko manjih magnetnih igala po zamišljenoj kružnici oko provodnika. Magnetne igle postavit će mo na šiljkove oko kojih se mogu slobodno okretati u horizontalnoj ravni - deklinacione igle. Deklinacione igle zauzet će pravac magnetnog meridijana tako da njihovi , plavo obojeni , severni polovi pokazuju prema severnom geografskom polu. Međutim čim propustimo električnu struju kroz provodnik, deklinacione igle će se obrnuti i postaviti u pravcu tangente na koncentrični krug oko provodnika. Za slučaj kada struja teče od B ka A , tj prema posmatraču, severni polovi deklinacionih igala postavit će se u smeru suprotnom od smera kazaljke na satu. (sl 32 a). Ako promenimo smer struje u provodniku tako da ona teče od A ka B tj. od posmatrača (gledajući odozgo), deklinacione igle će se odmah okrenuti tako da će sada njihovi severni

magnetni polovi imati smer isti kao što je smer kazaljke na satu. (sl 32 b).

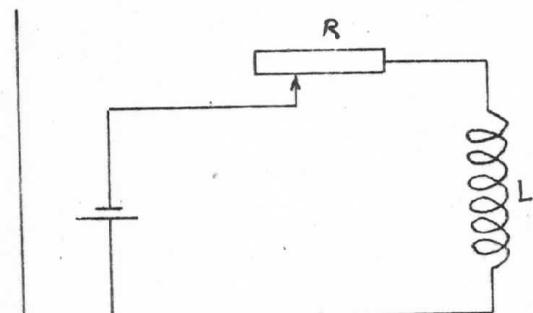


sl 32

Na osnovu ovog ogleda može se postaviti pravilo za određivanje smera linija magnetnog polja pravolinijske struje: Magnetne linije sile koje okružuju struju imaju smer u kome bi trebalo obrtati zavrtanj da bi se on pomerao u smeru struje. - Ovo je Maxsvelovo pravilo zavrtanja. Moženo definisati i drugo pravilo poznato kao pravilo desne pesnice: Ako se šakom desne ruke obavlje strujni provodnik, a palac postavi u smeru struje koja protiče kroz njega, onda prsti pokazuju smer linija magnetnog polja.

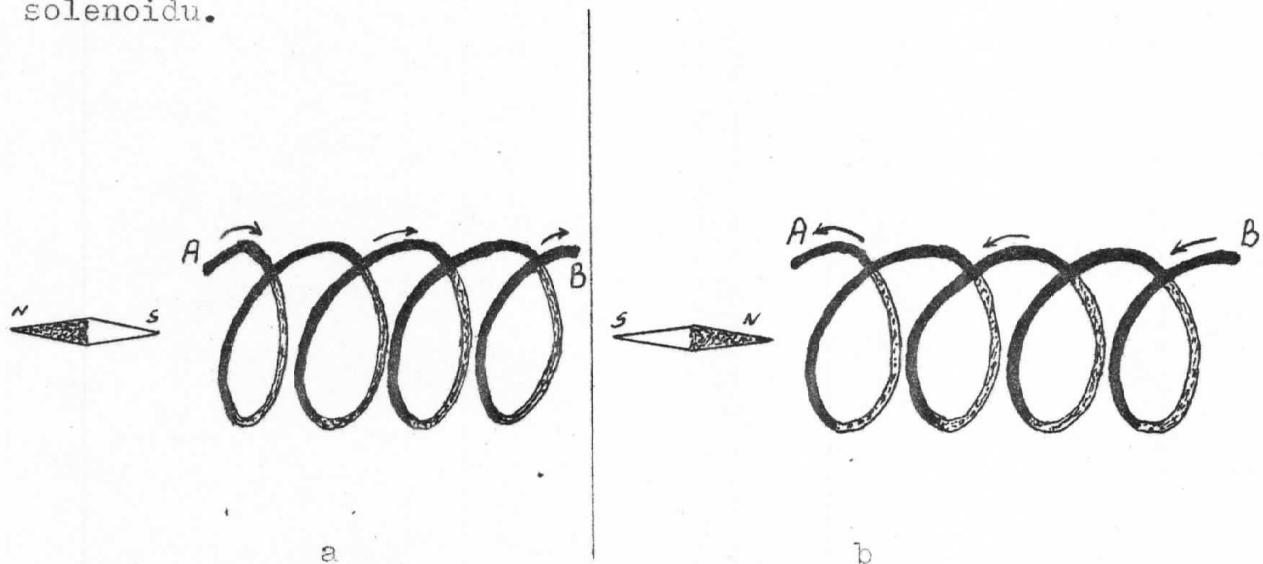
Magnetno polje solenoida

- Smer magnetnog polja kružnog provodnika može se, takođe, odrediti magnetnom iglom. Solenoid od bakarnog provodnika debljine 2 -3 mm, prečnoka oko 6 cm (ogled se može izvesti i sa drugim solenoidom), postavi se na stalak od izolatora. U bližinu solenoida , sa njegove prednje strane, postavimo magnetnu iglu u visini centra solenoida na udaljenosti koja dozvoljava da se igla slobodno okreće. Ako kroz solenoid propustimo struju jačine oko 3 A. (kao izvor koristimo akumulator, a Šema veze je na sl 33)



sl 33

tako da je smer struje kroz solenoid od A ka B (sl 34 a), magnetna igla će zauzeti takav položaj da će severni pol magnetne igle koji je plavo obojen N , biti nasuprot solenoidu. Ako promenimo smer struje tako da je sada od B ka A (sl 34 b), okrenut će se i magnetna igla za 180 stepeni, tako da će severni pol N magnetne igle biti usmeren prema solenoidu.

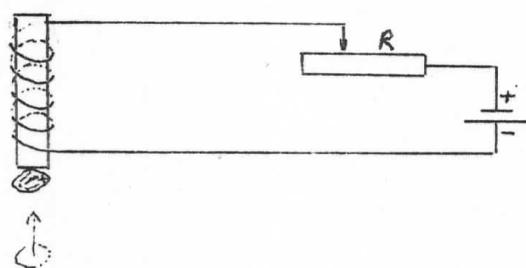


sl 34

S obzirom da se istoimeni polovi odbijaju, a raznoimeni privlače zaključujemo: Ukoliko je posmatrač zauzeo takav položaj u odnosu na solenoid da se smer električne struje kroz njega poklapa sa smerom kazaljke na časovniku, onda se severni pol solenoida nalazi sa njegove suprotne strane, a južni pol sa one strane sa koje gledamo.

Elektromagnet

U predhodnom ogledu videli smo da se namotaj izolovane žice (solenoid) ponaša kao magnet. Uzet će mo namotaj tanke bakarne žice i preko klijnog otpornika priključiti na izvor struje - akumulator tako da kroz solenoid protiče struja jačine oko 2,5 - 3 ampera. Ako u šupljinu solenoida postavimo komad željeza



on će privlačiti druge predmete od željeza. Dobili smo ele-

sl 35

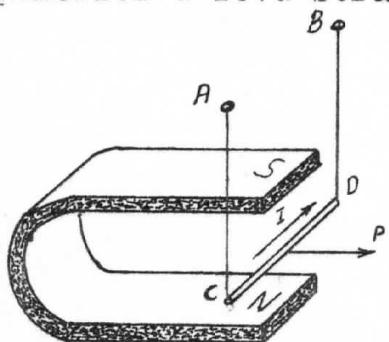
ktromagnet. (sl 35). Zbog identičnosti pojava kod stalnih magneta i solenoida kroz koje protiče struja, kao i zbog identičnosti njihovih magnetnih polja, Amper je došao do zaključka da je električna struja uzrok svih magnetnih pojava. Ovo znači da je magnetno polje stalnih magneta rezultat kružnih struja u njihovoј unutrašnjosti. Naime, stalni magneti su sačinjeni od skupa orijentisanih elementarnih magneta, koji nastaju usled atomskih kružnih struja, odnosno kruženjem elektrona oko atomskih jezgara.

Dejstvo magnetnog polja na strujni provodnik

- Ako se neki provodnik kroz koji protiče struja nalazi u magnetnom polju stalnog magneta ili polju drugog provodnika sa strujom, dolazi do uzajamnog dejstva magnetnih polja, odnosno, javlja se sila uzajamnog dejstva. Ovakve sile nazivamo elektromagnetskim silama, a njihovo dinamičko dejstvo otkrio je Amper 1821 godine. Na osnovu zakona akcije i reakcije proizilazi da se, usled elektromagnetskog dejstva, mora kretati pokretljiv provodnik kroz koji protiče struja kada se nalazi u magnetnom polju nekog magneta. Da bi smo proučili kako deluje magnetno polje na provodnik kroz koji protiče struja, izvešćemo sledeći ogled:

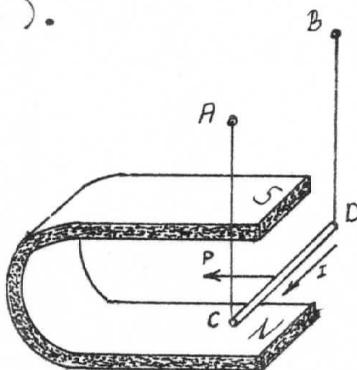
Za metalne stezalice A i B, koje su utvrđene na dršci od izolatora obešene su dve vitke žice čiji su donji krajevi vezani za metalni provodnik CD. Ovaj provodnik postavimo u sredinu između magnetnih polova potkovičastog magneta. Između polova magneta vlada magnetno polje usmereno od severnog pola N ka južnom polu S. (još je bolje ako umesto provodnika CD upotrebimo nekoliko namotaja tanke bakarne žice u obliku pravougaonika i postavimo ga u polje magneta tako da donja ivica pravougaonika bude između polova magneta). Kroz provodnik propustimo jednosmernu struju iz akumulatora preko jednog kliznog otpornika, tako da jačina struje bude oko 2,5 - 3 ampera. Kada zatvorimo strujni krug provodnik CD će biti izbačen iz ravnotežnog položaja. Ako je smer struje takav da kroz provodnik protiče od C ka D

provodnik se pomeri u desnu stranu (sl 36 a). Ako promenimo smer struje tako da struja teče od D ka C , provodnik će se pomeriti u levu stranu (sl 36 b).



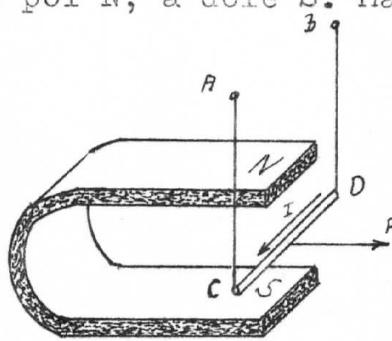
a

sl 36



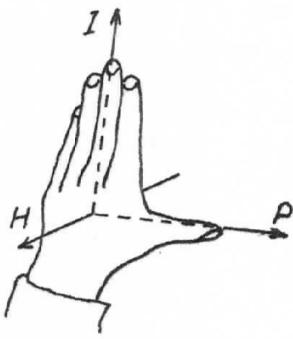
b

Obrnemo sada magnet, tako da je gore pol N, a dole S. Magnetsko polje je sada suprotno orijentisano. Ako je smer struje ostao isti (od D ka C), provodnik se pomeri u desnu stranu (sl 37) Dakle smer kretanja provodnika kroz koji protiče struja, u magnetnom polju, zavisi od smera magnetnog polja i smera struje u provodniku.



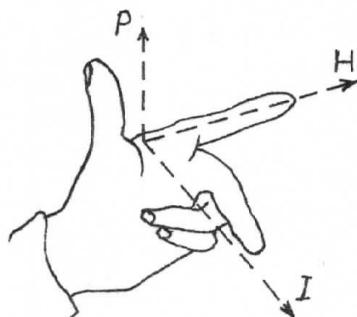
sl 37

Ako levu ruku sa odvojenim palcem, postavimo tako da linije magnetnog polja ulaze u dlan, prsti da su usmereni u smeru struje koja protiče kroz provodnik, tada položaj palca pokazuje pravac i smer u kome će se kretati provodnik (sl 38a)



a

sl 38



b

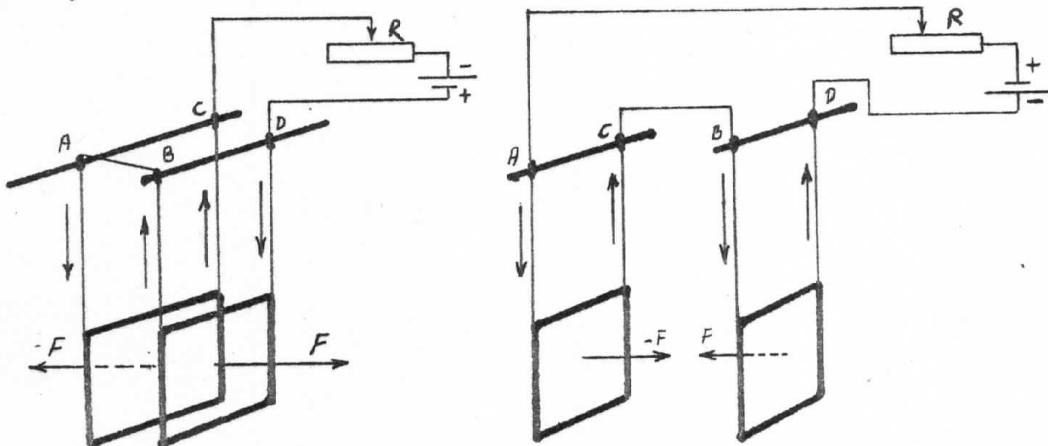
Smer kretanja provodnika možemo odrediti i pomoću Flemingo-vog pravila leve ruke (sl 38 b) koje glasi: Kad palac, kažiprst i veliki prst leve ruke ispružimo tako da međusobno

rade prave uglove i ruku postavimo tako da kažiprst bude upravljen u smeru magnetnog polja, a veliki prst u smeru struje, onda smer palca pokazuje smer kretanja provodnika kroz koji protiče struja.

Uzajamno dejstvo dva provodnika kroz koje protiče struja

- Uzmemo dva stakla od izolacionog materijala i na svaki za metalne stezače okačimo tanku bakarnu žicu namotanu u obliku pravougaonog rama. Kao i u predhodnom ogledu koristimo akumulator kao izvor struje. Jačina struje u kolu da bude oko 3 ampera, što postižemo pomoću promenljivog otpornika redno vezanog u kolu. Stalke postavimo tako da ramovi od žice koji su o njih okačeni budu jedan prema drugom u istoj visini i na rastojanju od nekoliko milimetara. Strujno kolo povežemo tako da struja kroz ramove teče u suprotnim smerovima. Kada uspostavimo strujno kolo ramovi se međusobno odbijaju. (sl 39 a). Ako pak, strojno kolo povežemo tako da struja kroz ramove teče u istom smeru, a ramove razdvojimo na udaljenost od oko 4 cm, videćemo da će se ramovi međusobno privlačiti kada uspostavimo strujno kolo.

(sl 39 b).



a

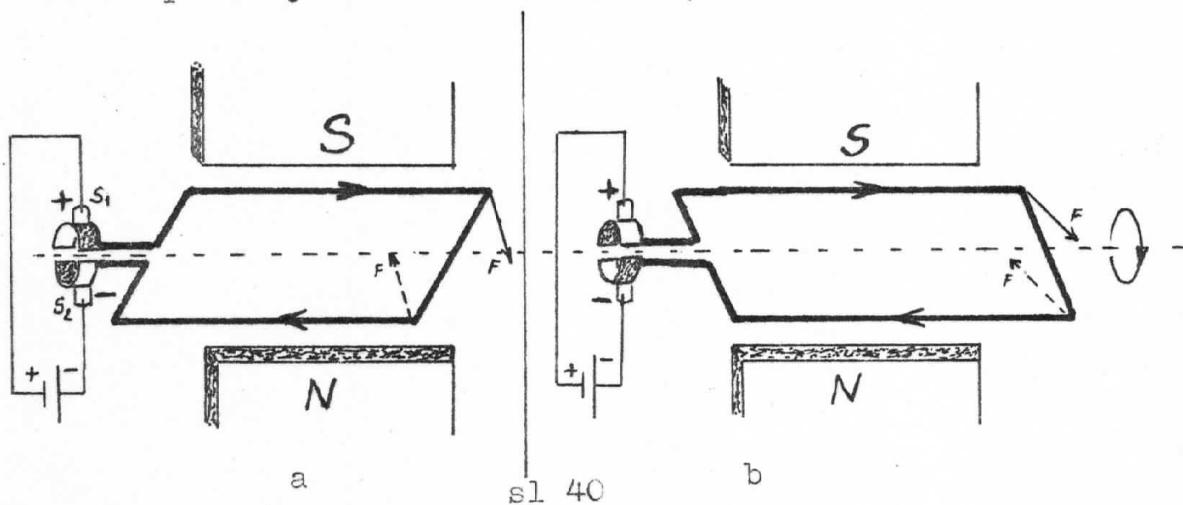
sl 39

b

Na osnovu ovoga zaključujemo da se paralelne struje suprotnog smera odbijaju, a paralelne struje istog smera privlače. Odbijanje i privlačenje paralelnih provodnika kroz koje protiče struja je rezult dejstva nj. magnetnih polja.

Princip elektromotora

- Na osnovu onoga što je do sada rečeno o uzajamnom dejstvu magnetnog polja struje i polja stalnog magneta možemo zaključiti da će na pravougaoni provodnik kroz koji protiče struja i koji se nalazi u homogenom magnetnom polju, delovati spreg sila koji će težiti da zaokrene ram u smeru koji možemo odrediti po već poznatim pravilima. Ovaj spreg sila kojim magnetno polje deluje na zatvoren provodnik izaziva obrtanje rotora elektromotora. Elektromotor je sistem koji se sastoji od rotora - namotaj izolovane žice sa izvodima, i statora - stalni magnet. Rad elektromotora možemo prikazati pomoću školskog modela elektromotora čija je principijelna šema prikazana na slici 40. Pravougaoni ram se može obrtati oko ose OO', koja je ujedno osa motora. Na osovinu motora nalaze se polukružni segmenti, međusobno izolovani, S_1 i S_2 . Ram se preko četkica vezuje za izvor jednosmerne struje. Koristimo akumulator, a jačina struje obično može biti oko 2 ampera. Kada zatvorimo strujni krug ram počne da se obrće. Obrtanje rama objašnjava se na sledeći način: Kada je smer struje kroz ram kao na slici 40 a, ram se pod dejstvom sprega elektromagnetskih sila zakrene u smeru koji je naznačen. Kada bi smer struje ostao isti ram bi se u horizontalnom položaju zaustavio. Međutim, usled inercije ram

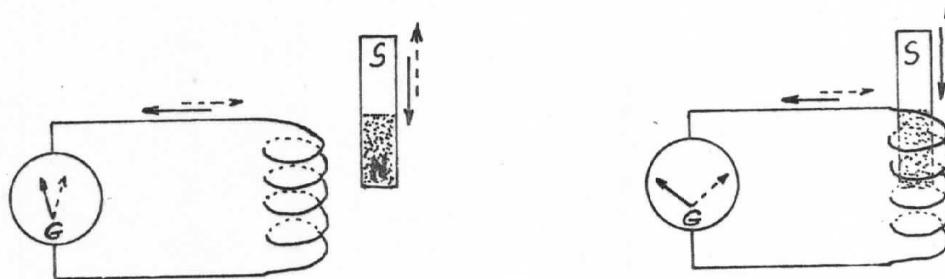


prolazi horizontalni položaj, pa segmenti menjaju mesta tako da se menja smer struje kroz ram. Stoga će ram nastaviti kretanje u istom smeru. (sl 40 b).

Elektromagnetna indukcija

Kada se strujni provodnik nađe u magnetnom polju, na njega deluje elektromagnetna sila koja teži da ga izbací iz magnetnog polja. Na ovome se zasniva proces pretvaranja električne energije u mehaničku. Obrnut slučaj je da se kretanjem provodnika pod dejstvom mehaničkih sila proizvede električna energija. Proces nastanka elektromotorne sile u provodniku pod dejstvom neelektričnih sila naziva se elektro magnetna indukcija. Sledеćim ogledima može se objasniti proces nastajanja indukovane ems u provodniku:

- Solenoid od tanke bakarne žice spojimo sa galvanometrom. (možemo upotrebiti solenoid sa ≈ 500 namotaja i otpora $R=2,5 \Omega$). Ako u blizini solenoida pomeramo stalni magnet pomerat će se igla galvanometra što znači da kroz kolo protiče struja. (sl 41 a). Otkloni kazaljke bit će daleko veći, tj kroz kolo će teći jača struja, ako magnet uvlačimo i izvlačimo u šupljinu solenoida (sl 41 b). Primetit će se da će otklon kazaljke biti još veći ako brže pomeramo magnet, kao i da će otklon kazaljke biti u jednu stranu, kada magnet uvlačimo, a u suprotnu stranu kada magnet izvlačimo. Ogled ponovimo tako da sada pomeramo solenoid, a magnet neka miruje. Dogodit će se potpuno identične pojave.



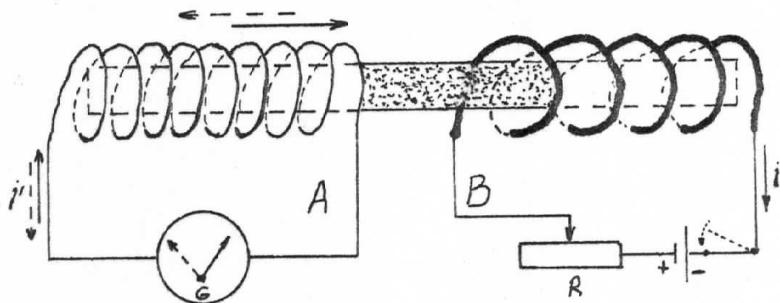
a sl 41

b

Zaključujemo da se pod dejstvom mehaničke sile, usled kretanja provodnika u magnetnom polju, u provodniku javlja struja čiji smer zavisi od smera kretanja provodnika, a jačina od brzine kretanja provodnika odnosno od jačine sile. Struja koja se javlja u kolu naziva se indukovana struja.

Uzajamna indukcija

- Uzmemo dva solenoida označenih na slici sa A i B . Na krajeve solenoida A ($n=500$ $R=2,5\Omega$) priključimo galvanometar kao i u predhodnom slučaju. Drugi solenoid B ($n=250$) priključimo u strujno kolo izvora jednosmerne struje, preko kliznog otpornika, tako da jačina struje u kolu bude oko 3 A. Kao izvor možemo koristiti akumulator. Kroz šupljine solenoida A i B postavimo zajedničko gvozdeno jezgro. Ako pomeramo jedan ili drugi solenoid, u kolu solenoida B se indukuje struja što pokazuje kazaljka galvanometra. (sl 42). Umesto da pomeramo solenoid isti efekat će možemo dobiti prekidanjem i uključivanjem strujnog kola. Naime, u trenutku uključivanja i isključivanja strujnog kola A , u kolu B se javlja struja.

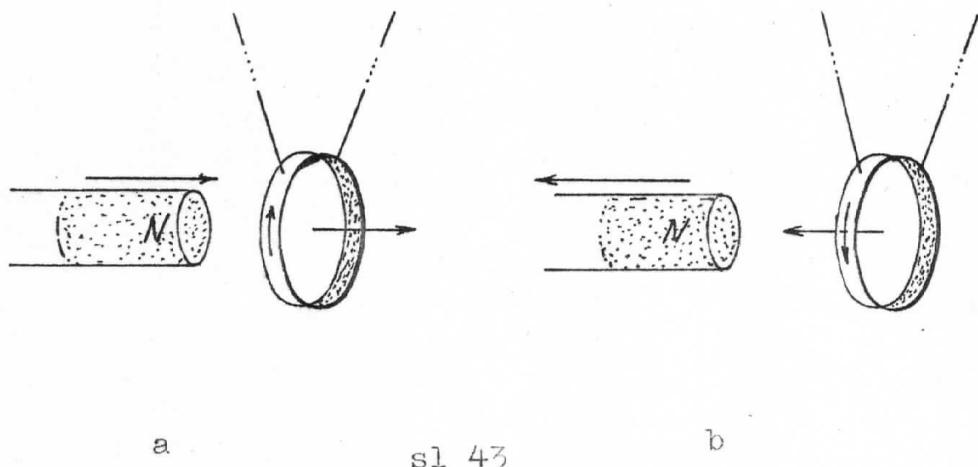


sl 42

S obzirom da je u opisanim ogledima usled međusobnog relativnog kretanja i usled uključivanja i isključivanja strujnog kola, u stvari dolazilo do promene broja linija sile magnetnog polja kroz površinu koju provodnik čini svojim oblikom, odnosno promene magnetnog fluksa, zaključujemo: Od brzine kretanja provodnika u magnetnom polju i brzine promene struje, zavisi brzina promene magnetnog fluksa. Dakle otklon galvanometra će biti u toliko veći, ukoliko je veća brzina promene magnetnog fluksa kroz površinu koju provodnik čini svojim oblikom. Drugim rečima indukovana elektromotorna sila u kolu proporcionalna je brzini promene magnetnog fluksa. Ovo je Faradejev zakon indukcije koji je on postavio 1831g

Lencovo pravilo

- Tanak aluminijumski, ili bakarni prsten okačimo o dva konca. Kroz sredinu prstena uvlačimo i izvlačimo jak magnet u obliku štapa. Primetit će mo da će se prsten pomerati u smjeru kretanja magneta, tj ako magnet poktrćemo prema prstenu, prsten se pomera od magneta (sl 43 a), a ako magnet povlačimo od prstena, prsten se pokreće za magnetom (sl 43 b).



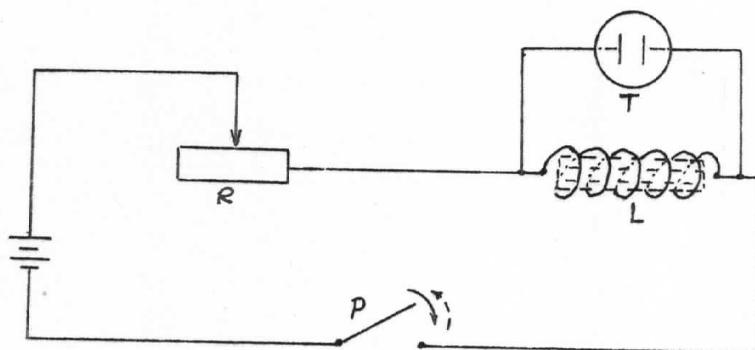
a sl 43 b

Pomeranje prstena objašnjava se uzajamnim dejstvom magnetskog polja stalnog magneta i magnetskog polja struje koja se indukuje u prstenu usled promene magnetskog fluksa kroz površinu koju prsten čini svojim oblikom. Promena fluksa je nastajala usled kretanja magneta. Pri tome se približavanjem magneta fluks povećavao, a prsten se pomerao u onom pravcu i smeru gde je magnetsko polje slabije, tj nastojao je da održi prvobitno stanje fluksa. Takođe, kada smo magnet povlačili od prstena, prsten se kretao u prostor jačeg magnetskog polja nastojeći opet da zadrži prvobitno stanje fluksa. Kažemo da se u prstenu indukuje struja takvog smera čije magnetsko polje teži da spreči kretanje koje je izazvalo indukciju. Ili : U provodniku se indukuje struja, odnosno ems takvog smera da svojim magnetskim poljem nastoji da spreči promenu magnetskog fluksa, tj. da poništi uzrok svog nastanka. (Lencovo pravilo).

Samoindukcija

- Namotaj tanke bakarne žice ($n=1200$, presek $0,8 \text{ mm}^2$) koji je snabdeven sa gvozdenim jezgrom, priključimo preko jednog

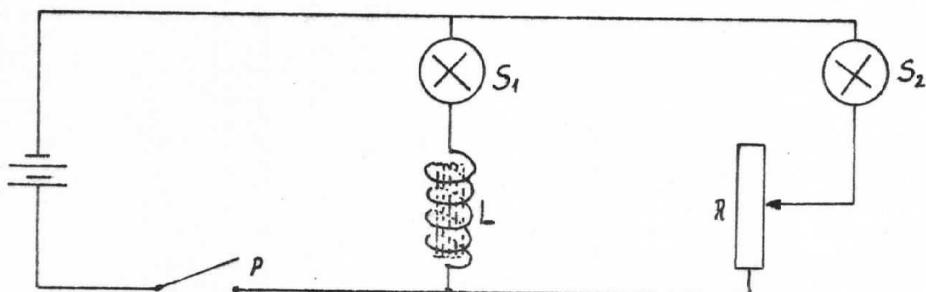
prekidača na izvor jednosmerne struje. Kao izvor koristit će mo akumulator napona 2,5 - 3 V . Paralelno sa solenoidom u kolo vežemo tinjalicu koja se pali na 220 volti (sl 44). Kada strujno kolo uključimo tinjalica neće svetleti, jer je napon u kolu daleko ispod napona paljenja tinjalice. U trenutku isključenja kola tinjalica zasvetli, što znači da se u tom trenutku napon u kolu naglo povećao i dostigao vrednost napona paljenja tinjalice. Pojava se objašnjava time da



sl 44

je u momentu prekidanja strujnog kola došlo do promene jačine struje u kolu , a time i do promene sopstvenog magnetnog fluksa, što po Faradejevom zakonu uslovljava pojavu ems samoindukcije u provodniku, odnosno struju samoindukcije čiji je smer određen Lencovim pravilom. Usled ems samoindukcije u momentu isključenja strujnog kola unutrašnji napon u kolu dostiže napon paljenja tinjalice i tinjalica zasvetli.

- Solenoid sa gvozdenim jezgrom, klizni otpornik i dve sijalice vežemo u strujno kolo kao na slici 45.

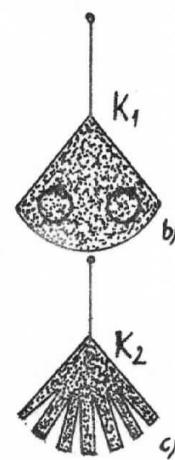
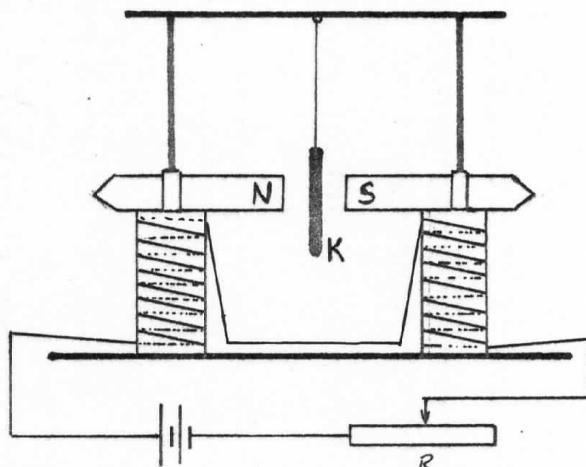


sl 45

U ogledu sam koristio izvor jednosmerne struje napona 9 V, obične žarulje za džepnu lampu i solenoid otpora 90 Ω . Klizni otpornik treba podesiti da bude istog otpora kao i solenoid. U strujno kolo je postavljen i prekidač P. Kada uključujemo strujno kolo primetit će mo da će sijalica S_1 zasvetleti sa izvesnim zakašnjnjem u odnosu na sijalicu S_2 . Dok je strujno kolo uključeno jednako svetle i sijalica S_1 i S_2 . U momentu isključenja strujnog kola sijalica S_2 se ugasi pre nego sijalica S_1 . Dakle u kolu je u momentu uključenja i isključenja strujnog kola usled promene sopstvenog magnetnog fluksa u solenoidu, došlo do pojave struje samoindukcije, koja po Lencovom pravilu teži da poništi uzrok svog nastanka. Stoga će u trenutku uključenja strujnog kola, kada struja u kolu raste, struja samoindukcije biti suprotnog smera i sijalica S_1 kasnije zasvetli. U momentu isključenja strujnog kola, struja u kolu opada, pa će struja samoindukcije biti istog smera i sijalica S_1 se kasnije gasi.

Waltenhofenovo klatno

- Za jedan stalak okačeno je klatno od bakarnog lima, koje slobodno osciluje između polova elektromagneta. Elektromagnet, koji se sastoji od dva solenoida sa zajedničkim gvozdenim jezgrom, spojen je u strujni krug izvora jednosmerne struje (akumulator) preko jednog kliznog otpornika tako da je struja u kolu oko 2-3 ampera. (sl 46).



sl 46

Ako strujno kolo nije uključeno, klatno od bakarnog lima će

se slobodno klatiti. Međutim čim se propusti jednosmerna struja kroz kolo klatno se naglo ukoči. Ako se masivna bakarna pločica zameni bakarnom pločicom K_2 sa isećima između kojih se nalaze vazdušni međuprostori (sl 46 c), onda će takvo klatno nastaviti svoje kretanje u magnetnom polju *skoro* bez kočenja.

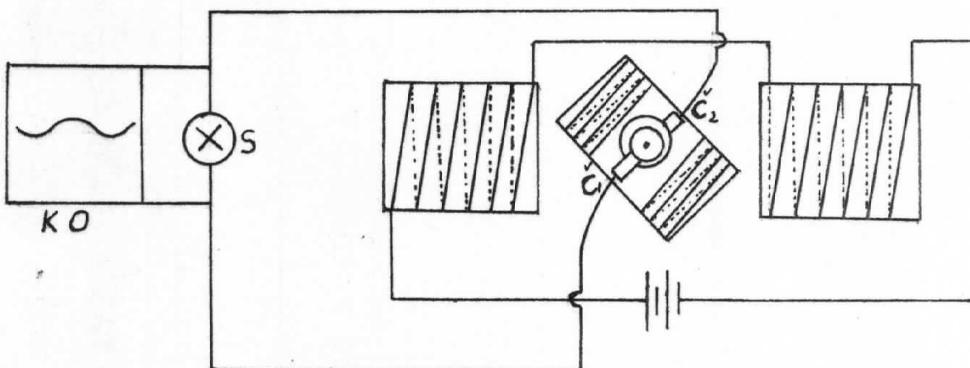
Pojava se objašnjava time da se u masivnoj bakarnoj pločici kada se ona kreće u magnetnom polju javljaju vrtložne struje (sl 46 b), usled delovanja Lorencove sile. Zbog malih otpora duž zatvorenih putanja u masivnim provodnicima, vrtložne struje mogu postići vrlo veliku jačinu i izazvati jako mehaničko i toplotno dejstvo. Indukovane vrtložne struje takođe podležu Lencovom pravilu. To znači da se u masivnim provodnicima indukuju struje takvog pravca i smera da se njihovo mehaničko dejstvo maksimalno odupire uzroku indukcije (kretanju provodnika u magnetnom polju). Zbog toga dolazi do naglog kočenja klatna od masivne bakarne pločice, kada se kroz kalemove elektromagneta propusti jednosmerna struja.

Kada smo upotrebili pločicu sa isećima, nastajao je prekid zatvorenih krivih koje čine indukovane struje. Dakle sprečili smo zatvaranje vrtložnih (Fukoovih) struja i klatno se nije zaustavilo.

Naizmenična struja

- Do sada su u ogledima bila razmatrana dejstva jednosmerne struje. Međutim daleko veći značaj u savremenoj tehnici ima naizmenična struja. To je struja kod koje su u toku vremena promenljivi i jačina i smer. Takvu struju dobijali smo još kod ogleda indukcije. (galvanometer je pokazivao otklon naizmenično u jednu pa u drugu stranu, dok smo uza stopno uvlačili i zivlačili magnet u šupljinu solenoida). Ovakva struja nema nikakvog značaja. Naizmenična struja koja se koristi u tehnici i za koju možemo reći da ima dominantnu ulogu je prostoperiodična sinusna struja koja se dobija obrtanjem pravougaonog metalnog rama konstantnom ugaonom brzinom u homogenom magnetnom polju.

Dobijanje naizmenične struje možemo prikazati pomoću školskog modela generatora naizmenične struje, koji je šematski prikazan na slici 47. Sastoji se od dva kalema sa gvozdenim jezgrom (stator) koji su vezani u red i pobuđuju se strujom iz akumulatora. Između dva kalema nalazi se pokretni kalem (rotor) koji se može obrnati oko horizontalne osovine i čiji se izvodi završavaju na metalnim prstenvima koji su postavljeni na osovinu generatora i izolovani. Na metalne prstenove se oslanjaju ugljene četkice \check{C}_1 i \check{C}_2 . Za ugljene četkice vezana je u strujno kolo sijalica S.



sl 47

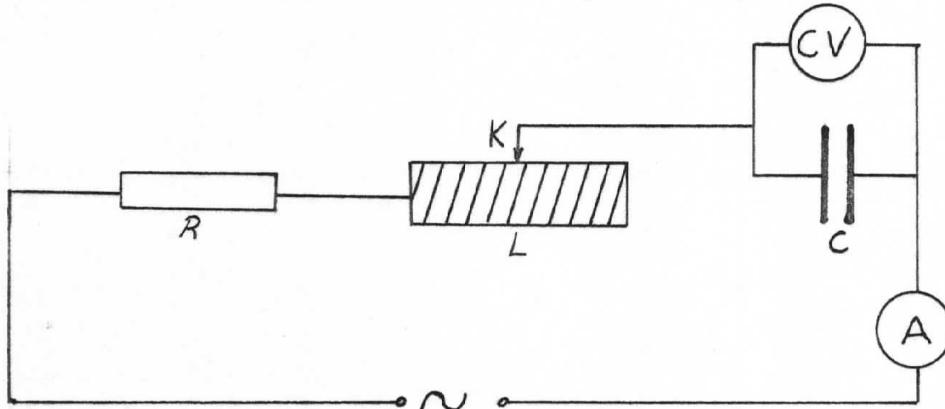
Ako se rotor okreće u kalemu se indukuje struja koja usija vlakno sijalice i sijalica svetli. Ako paralelno sa sijalicom vežemo katodni osciloskop (vertikalni ulaz), videćemo da se u kalemu rotora indukuje naizmenični napon.

Ukoliko nemamo katodni osciloskop ipak možemo pokazati da se u kalemu rotora indukuje naizmenična struja: U kolo umesto sijalice vežemo instrument sa pokretnim kalemom. Okrećemo rotor veoma polako i oprezno. Primetit će mo da će se kazaljka instrumenta pomerati u jednu, pa u drugu stranu, što znači da se u kolu indukuje struja promenljivog smera. Ako rotor ne okrećemo dovoljno polako, kazaljka usled inercije ne može pratiti promene struje.

Rezonancija serijski vezanog RLC kola

- Omski otpor $R=5 \Omega$, kalem čiji induktivitet možemo menjati (sekundar regulacionog transformatora čiji se in-

duktivitet može menjati pomeranjem kliznog kontakta K., kondenzator kapaciteta $C = 10 \mu F$ i ampermetar A vežemo u seriji na izvor naizmeničnog napona od 6 V. Paralelno sa kondenzatorom vežemo cevni voltmeter CV. (sl 48).



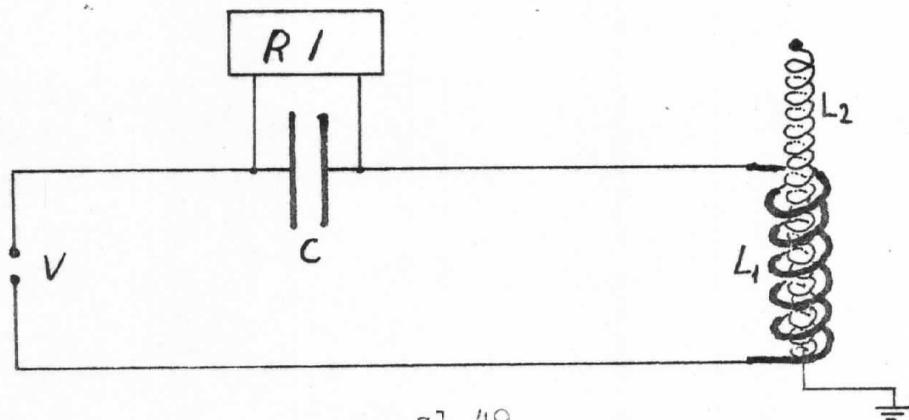
sl 48

Pomeranjem kliznog kontakta menjamo induktivitet kalema i dovodimo kolo u rezonanciju. Rezonancija u kolu nastaje u trenutku kada je napon na kondenzatoru najveći i struja u kolu naj jača. Napon i struja imaju manju vrednost za sve druge položaje kliznog kontakta. Merenjem napona utvrdit će mo da je pri rezonanciji napon na kondenzatoru jednak naponu na krajevima uključenog dela kalema, a pad napona na omskom otporu jednak je priključenom izvornom naponu. To znači da je vrednost ukupnog otpora u kolu jednaka vrednosti omskog otpora. U slučaju rezonancije napon na kondenzatoru i na kalemu može da premaši izvođeni napon ukoliko je $\frac{1}{R\omega} - \frac{L\omega}{R}$ veći od jedinice.

Tesline struje

- Tesline struje se proizvode pomoću Teslinog transformatora. To su struje vrlo visoke frekfencije i visokog napona. Primarni Teslinog transformatora, koji je načinjen od nekoliko navoja debele žice, je deo oscilatornog kola u kome se još nalaze kondenzatori kapaciteta C i varničar V. Kondenzator se puni pomoću Rumkorfovog induktora RI, a napunjen kondenzator se prazni preko kalema L_1 (primarni) i varničara. Pri pražnjjenju nastaju prigušene oscilacije velike frekfencije.

Fri tome se u sekundaru Teslinog transformatora L_2 , koji se sastoji od nekoliko stotina namotaja tanke žice i koji je postavljen unutar primara i nema feromagnetsko jezgro, indukuje visok napon velike frekfencije. (sl 49).

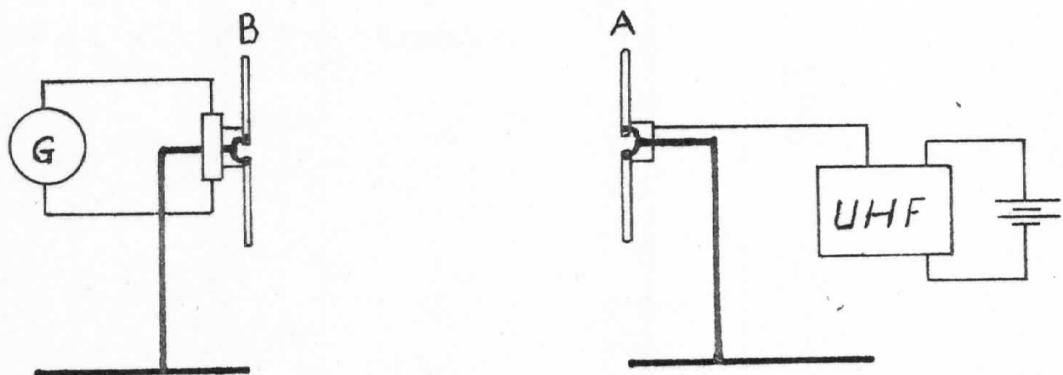


sl 49

Da su Tesline struje bezopasne za čovečiji organizam, jer se pri visokoj frekfenciji električno polje tako brzo menja da joni, zbog inercije, nisu u stanju da reaguju na promenljivo električno polje, lako će mo dokazati time što će mo u polumraku vrhu sekundara približiti prst. Videće se varnica, a osetit će mo samo lako peckanje na prstu. Jako električno polje izazvat će svetljenje gejslerovih cevi koje držimo u ruci blizu Teslinog transformatora, što može biti vrlo efektno.

Detekcija elektromagnetnih talasa

- Detekciju elektromagnetnih talasa možemo prikazati pomoću aparature prikazane na slici 50 . Aparatura se sastoji



sl 50

od UHF oscilatora, koji daje oscilacije frekvencije 1 GHz, a napaja se baterijom od 9 V, zatim predajne dipol antene (A) i prijemne dipol antene (B) u čije je strujno kolo priključen galvanometar. Kada uključimo strujno kolo predajne antene (A) i na rastojanju do 1 m postavimo prijemnu antenu paralelno predajnoj, galvanometar u kolu prijemne antene će pokazati slabu struju.

Oscilacije sa UHF oscilatora se dovode na dipol pa se nanelektrisanje krajeva dipola naizmenično menja. U istom ritmu će se menjati i struja u dipolu. Kada je najveća potencijalna razlika izmedju krajeva dipola, tada je naveća jačina električnog polja oko dipola, a struja u dipolu je nula pa je i magnetno polje oko dipola jednako nula. Smanjenjem potencijalne razlike izmedju krajeva dipola smanjuje se i jačina električnog polja oko njega, a struja u dipolu - - time i magnetno polje oko dipola se povećava. Dakle pri oscilovanju dipola oko njega nastaje promenljivo električno i magnetno polje. Oko promenljivog magnetnog polja se javlja indukciono električno polje koje izaziva indukciono magnetno polje tj. oko dipola se u okolini prostora šire elektromagneti talasi, koji se prostiru i kroz prazan prostor što dokazuje pojava struje u kolu prijemne antene koju galvanometar registruje. Da bi galvanometar mogao registrovati struju u kolu prijemne antene mora postojati detektor (dioda) čija je uloga da preobraća naizmeničnu struju u jednosmernu koja pulsira.

Prema Lenjinu put naučnog saznanja polazi od "živog posmatranja ka apstraktnom mišljenju i od njega ka praksi", tako i proces učenja polazi od, kako je to već u uvodu naglašeno živog posmatranja - percepcija i predstava.

"Opšte" u fizici, (pojmovi i zakoni) mogu se usvojiti samo uz pomoć pojedinačnog i konkretnog, u protivnom se javlja formalizam u znanju učenika. Zbog toga, kad god je to moguće učenici treba da u nastavi fizike posmatraju predmete, procese i pojave o kojima uče.

Opisani ogledi su uglavnom poznati ogledi iz oblasti elektriciteta i elektromagnetizma, s tim što je napravljen jedan odabir ogleda koji se mogu izvoditi onim sredstvima koji se nalaze u fizičkim kabinetima opremljenim bar naj osnovnijim sredstvima i instrumentima, a koji u potpunosti zadovoljavaju zahtev očiglednosti nastave. Pri tome nisam išao u dubinu matematičkog, teorijskog tretiranja opisanih pojava i zakonitosti, jer to i nije tema moga rada. Nastojao sam, naime, samo akcentirati pojavu odabrati i opisati ogled koji se lako izvodi, koji je očigledan i koji navodi posmatrača na sasvim jasan i odredjen zaključak, koji će moći samostalno formulisati.

Zaključak koji izvodimo na osnovu ogleda, predstavlja ustvari bazu teorijskog tumačenja pojave. Nastojao sam da oglede ne objašnjavam i suviše detaljno, ali da uz priloženu sliku bude u potpunosti razumljivo. To daje mogućnost za varijacije kod pojedinih ogleda, pogotovo stoga što se isti nekad mogu izvesti i drugim sredstvima osim opisanim.



L I T E R A T U R A

1. Dr. Ribar Bela

Elektricitet i magnetizam
Novi Sad 1978.

2. Branko Đurić Živojin Ćulum

Fizika III - elektricitet
i magnetizam
Beograd 1973.

3. Dr. Gojko L.Dimić

Dr. Georgi T.Mavrodićev

Fizika za III razred gimna-
zije prirodno matematičkog
smera

4. Lomel - Kenig

Eksperimentalna fizika

Beograd 1922.

5. Dr. Branimir Marković

Pokusni iz fizike

Zagreb 1950.

