



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI  
FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



## **Obrada tematske jedinice: Osobine električnog polja**

- diplomski rad -

Mentor:

dr Dušanka Obadović, red. prof.

Kandidat:

Dejana Vujadinović

Novi Sad, 2008.

*"Iz dana u dan sam se pitao šta je to elektricitet, ali nisam nalazio odgovor... i još uvek sebi postavljam to isto pitanje. Elektricitet je za mene sve... Dan kada tačno saznamo šta je elektricitet biće najznačajniji datum u istoriji čovečanstva".*

*Nikola Tesla*

**S A D R Ź A J**

1. UVOD.....	4
2. NAELEKTRISANJE.....	5
2.1. Istorijat elektriciteta.....	5
2.2. Struktura materije.....	8
2.3. Elementarno naelektrisanje.....	10
2.4. Električna svojstva materije.....	11
2.5. Kulonov zakon.....	12
3. ELEKTRIČNO POLJE NAELEKTRISANJA.....	13
3.1. Polarizacija i influenza.....	15
3.2. Električna indukcija.....	16
3.3. Homogeno električno polje.....	17
4. ELEKTRIČNI POTENCIJAL I RAD ELEKTRIČNOG POLJA.....	18
5. ELEKTRIČNA KAPACITIVNOST.....	20
5.1. Kondenzator.....	21
6. TEMATSKA JEDINICA: ELEKTRIČNO POLJE.....	22
6.1. Opšte metodičke napomene i nastavne metode.....	22
6.2. Pojam i klasifikacija nastavnih metoda.....	22
6.3. Struktura i tok časa.....	23
7. JEDNOSTAVNI EKSPERIMENTI U NASTAVI.....	24
7.1. Statički elektricitet.....	24
7.2. Elektroskop.....	24
7.3. Igrajući papirići.....	25
7.4. Elektroforus.....	26
7.5. Lajdenska boca.....	27
8. ZAKLJUČAK.....	30
9. LITERATURA.....	31
KRATKA BIOGRAFIJA KANDIDATA.....	32
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	33

## **1. UVOD**

Ovaj diplomski rad posvećen je jednom od mogućih načina obrade tematske jedinice o električnom polju. Cilj rada je celovito objašnjenje pojave elektriciteta, povezivanje teorije i prakse i formiranje naučnog pogleda na svet koji nas okružuje.

Pored objašnjenja pojave električnog polja, posebna pažnja u radu posvećena je metodama koje se koriste u nastavi fizike.

Posle uvodnog dela, prikazana je opšta teorija o električnom polju, kao i funkcionalne zavisnosti između fizičkih veličina koje opisuju elektrostatičke pojave.

Tematska jedinica «Električno polje» obrađuje se u osmom razredu osnovne škole kroz nastavne jedinice koje obuhvataju naelektrisanje tela, uzajamno dejstvo naelektrisanih tela, električno polje, Kulonov zakon, elektrostatičku indukciju, električni potencijal, električni napon i u dodatnoj nastavi električni kapacitet.

U šestom poglavlju, date su opšte metodičke napomene vezane za obradu tematske jedinice o električnom polju za uzrast VIII razreda osnovne škole: nastavne metode i sredstva, struktura i tok časa.

Zatim su detaljnije opisani jednostavni eksperimenti pomoću kojih se mogu demonstrirati pojave vezane za električno polje. Eksperimenti su odabrani tako da svaki reprezentuje neku osobinu elektrostatičkog polja, a zatim su te osobine pregledno predstavljene, kao i svi novousvojeni pojmovi vezani za ovu oblast.

Umesto klasičnih predavanja i učenja napamet, ovim demonstracionim ogledima se omogućuje učenicima da sami uđu u svet nauke, da logički razmišljaju, da postavljaju hipoteze, da ih provere i da dođu do rešenja, ali na nivou koji bi mogli razumeti učenici VIII razreda osnovne škole. Prednost jednostavnih ogleda je što su lako izvodljivi, zanimljivi i konstruišu se od materijala koji se mogu veoma lako naći. Njihovo pravljenje i izvođenje doprinosi produbljivanju teorijskog znanja, povećanju stepena aktivnosti učenika i njihovoj samostalnosti u radu, sposobnosti planiranja, kao i sticanju tehničke kulture što je u današnjem životnom okruženju veoma važno.

Kroz ovaj pristup nauci kroz eksperimente učenici uče kako da formulišu hipoteze i donesu zaključke. Kao rezultat učenici razvijaju osećaj za timski rad, grupne diskusije i dijalog koji se bazira na argumentima i činjenicama.

U zaključku su date opšte napomene i zapažanja vezana za metodički pristup obradi teme.

## **2. NAELEKTRISANJE**

Naelektrisanje je svostvo elementarnih čestica. Naelektrisanja se mogu spoznati preko njihovih spoljnih manifestacija, a to su električne i magnetne sile. Za celovitu spoznaju prisutnosti delovanja naelektrisanja pored položaja u strukturi materije potrebno je poznavati i osobenost prostora oko njih, prostora u kome se izražavaju njihove manifestacije. Naelektrisanja mogu u prostoru mirovati ili biti u pokretu. Naelektrisanje u mirovanju naziva se statičko naelektrisanje. U prostoru oko statičkih naelektrisanja zbivaju se električne pojave, pa se to stanje prostora naziva električnim poljem. Delovanje naelektrisanja u prostoru tumači se električnim poljem, koje svako naelektrisanje stvara u svojoj okolini. Naelektrisanja u kretanju mogu imati različite smerove, a ona u usmerenom kretanju nazivaju se električnom strujom. U prostoru oko naelektrisanja u kretanju pored električnog javlja se i magnetno polje, a zajednički se naziva elektromagnetno polje.

### **2.1. Istorijat naelektrisanja**

Pojavu neobičnog stanja, kao posledicu trljanja ćilibara, danas poznatog kao električno stanje, zapazio je Tales iz Mileta (oko 625-548. pne.) 600 godina pre nove ere. On je tvrdio da mora postojati jedan opšti princip, koji povezuje sve pojave i koji može da ih racionalno objasni. Iza svih prividnih raznovrsnosti i promena stvari, postoji prvobitni elemenat iz koga su sve stvari nastale i čije istraživanje mora biti krajnji cilj prirodnih nauka. Tales je pravilno zamislio i izrazio ideju, koja je stvarno rukovodila razvojem fizike kroz vekove.

Magnetne pojave prvi je, po predanju, zapazio pastir sa ostrva Krit. Tales iz Mileta je pokušao da svojstva magnetne rude (magnetit) rastumači delovanjem mističnih sila. Zrno istine našao je Demokrit (Δημόκριτος, oko 470-oko 360. pne.). On je mislio da su atomi magnetne rude istovetni sa atomima gvožđa, pa ih zato privlače. Nizaće se mnogi vekovi dok se ne približe stavovi o pojavama elektriciteta i magnetizma.

Grci su nam zaveštali atomski svet. Svet starih Grka sastojao se od beskrajno mnogo raznovrsnih atoma. Ta slika sveta je bila složenija nego što je stvarno potrebno za razumevanje Prirode. Uvođenjem pojma o molekulima, izgrađenim od različitih kombinacija i grupisanja atoma, broj potrebnih elemenata mogao se svesti na svega, u to doba, nekih sedamdesetak. Iz ovoga je za kratko vreme nastala moderna hemija.

Prva polovina XIX veka obeležena je izvanrednom plodnošću i otkrivanju prirode i razvoju fizike. Dvadeseti vek je pokušao da učini još veći i značajniji korak, stavljajući povrh molekularnog i atomskog sveta devetnaestog veka treći, elektronski svet. Tokom celog tog, poslednjeg veka težilo se svođenju osnovnih, elementarnih čestica na razuman broj. Odnosno, težilo se saznanju o konačnoj strukturi materije.

Posmatrajući razvoj nauke o elektricitetu, potvrđuje se teza da se nauka, slično kao i biljka, razvija uglavnom putem procesa beskrajno malih priraštaja. Svako istraživanje po pravilu je u značajnijoj meri samo modifikacija prethodnog, svaka nova teorija izgrađena je kao i neka velika građevina, dodavanjem mnogih različitih elemenata od strane značajnog broja graditelja.

Zanimljiv je paralelizam između istorije atomske koncepcije materije i atomske teorije elektriciteta. U oba slučaja ideje o tome vode svoje poreklo od samog početka. One su ostale neplodne u nizu vekova, odnosno sve dok ih razvitak tačnih kvantitativnih merenja nije oplodio. Trebalo je da prođe dvadeset vekova pa da se ovo dogodi u pogledu teorije o

strukturi materije, a svega dva do tri veka da se to dogodi i u pogledu elektriciteta. Čim se to desilo, u oba slučaja, za koje se mislilo da su jasno podeljenja, počeli su da se kreću zajedno i da se proučavaju kao različiti oblici iste pojave. Zar to nije sadržano u Talesovom verovanju o suštinskom jedinstvu prirode?

Zamisao o svetu sazdanom od atoma, koji su u neprekidnom pokretu, bila je jasno razvijena u umovima grčkih filozofa. Te ideje su svoje korene imale u spekulativnoj filozofiji. Savremeni fizičari imaju slične ideje, ali njihova saznanja se zasnivaju na neposrednim, kvantitativnim posmatranjima i merenju. Znači, Demokritova načela s izvesnim izmenama mogla bi gotovo da važe i danas. Veliki napredak koji je učinjen u današnje doba nije toliko u samim koncepcijama, koliko u vrsti osnova na kojem ove koncepcije počivaju.

Prvi čovek koji se bavio razmišljanjem o prirodi elektriciteta zamislio je da on ima atomsku strukturu. Ali, i pored toga, tek u novije vreme razvila se savremena elektronska teorija. Prva teorija o elektricitetu predložena je od Bendžamina Frenklina (Benjamin Franklin, 1706-1790) 1750. godine. Od otkrića Grka da protrljan ćilibar privlači lake predmete, nije bilo novih saznanja sve do 1600. godine kada je Gilbert (William Gilbert, 1544-1603), hirurg kraljice Jelisavete, otkrio da se staklena šipka i još dvadesetak drugih tela, protrljanih svilom, ponašaju kao ćilibar. On je tu pojavu opisao govoreći da je staklena šipka postala naelektrisana (elektron - ηλεκτρον - grčka reč za ćilibar). Oko 1747. godine Frenklin je ove dve vrste naelektrisanja nazvao pozitivnim i negativnim da bi ih razlikovao. Značenje tih naziva u stvari je potvrdio tek Faradej (Michael Faraday, 1791-1867) svojim ogleđima 1837. godine. Inače, Faradejevi ogleđi o prolazu elektriciteta kroz rastvor predstavljaju i prve eksperimentalne dokaze atomske strukture elektriciteta. Prolaz elektriciteta kroz materiju (provodnik) objašnjen je postojanjem etra koji okružuje tu materiju i predstavlja prenosioaca električnih pojava. Ovu teoriju je matematički obradio Džems Klerk Maksvel (James Clerk Maxwell, 1831- 1879) uvođenjem električnog i magnetnog polja.

Kada je 1887. godine Hajnrik Herc (Heinrich Rudolf Hertz, 1857-1894), dokazao da se električne pojave prenose u obliku električnih talasa koji se prostiru brzinom svetlosti - tačno onako kako je Faradej-Maksvelova teorija predvidela - bio je trijumf gledišta o postojanju etra, znači napuštena je atomska teorija elektriciteta.

Veber (Wilhelm Eduard Weber, 1804-1891) je 1871. godine postavio teoriju elektromagnetizma imajući u vidu dva tipa električnih sastojaka atoma. Slična razmišljanja je pola veka ranije imao i Amper sa svojim molekularnim elektromagnetima. Gotovo istovetno je razmišljao i Lorenc (Hendrik Antoon Lorentz, 1853-1928), dok je Stoni 1874. godine jasno izložio atomsku teoriju elektriciteta, čak je i proračunao vrednost elementarnog naelektrisanja. O takvim idejama je govorio i Helmholtc (Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz, 1821-1894) (1881. godine). Sve ovo pokazuje da atomska teorija elektriciteta, slično kao i atomska teorija o materiji, nije nova kao sama ideja, već se o njoj dugo raspravljalo i razmišljalo. Reč "elektron" predložio je 1891. godine Stoni za naziv prirodne jedinice elektriciteta.

Moćan impuls daljem razvoju nauke i proširenju znanja o elektricitetu i magnetizmu došao je iz duhovne atmosfere renesanse. Slom srednjovekovne skolastike upravljao je i promenama ljudskog pogleda o Prirodi. Preovladala je slika sveta kao materije u kretanju. Trebalo je utvrditi zakone i sile tog kretanja.

U XVII veku se objavljuju knjige o elektricitetu i magnetizmu. Obavljaju se značajni eksperimenti kao na primer Gerikea (Otto von Guericke, 1602-1686) i Greja (Stephen Grey, 1670-1736).

U XVII veku započela je ubzana izgradnja aparata za proizvodnju i čuvanje elektriciteta. Ono što su bile mašine za razvitak mehanike - to su postali aparati i eksperimentalni uređaji za nauku o elektricitetu. Frenklin je ustanovio da prilikom svakog naelektrisanja, nastaje

jednaka količina pozitivnog i negativnog elektricneta. Međutim, Frenklin je smatrao da u stvari postoji samo jedan elektricitet. Ako ga ima više u nekom telu ono je električki pozitivno, a ako ga ima manje, ono je negativno. Bilo je i drugih mišljenja, kao na primer da postoje dva fluida koji predstavljaju dve vrste elektricneta. Frenklinove ideje su preovladale možda i zbog njegovog velikog autoriteta, jer je on bio najslavniji istraživač pojave elektricneta u XVIII veku. Najpoznatija su njegova ispitivanja atmosferskog elektricneta i u okviru toga dokaz o električnoj prirodi munje (1750).

Krajem XVIII veka stupa na naučnu scenu Kulon (Charles Augustin de Coulomb, 1736–1806) sa svojim zakonima o privlačenju električnih i magnetnih veličina. Te sile su slične gravitacionim i obrnuto proporcionalne kvadratu rastojanja. Kulonov zakon je omogućio da se električne i magnetne pojave strogo matematički tretiraju, kao i pojave u nebeskoj mehanici. Činjenica je da proučavanje električnih i magnetnih pojava predstavlja mnogo složeniji proces od daleko jednostavnijih mehaničkih problema i procesa. Time se može objasniti sporiji razvoj znanja iz elektricneta i magnetizma. Poslednjih decenija XVIII veka počinju izučavanja kvantitativne prirode - merenjem veličine magnetnih polova i količine naelektrisanja. Treba pomenuti nosioce tih aktivnosti, pre svih Kulona i Kevendiša (Henry Cavendish, 1731-1810).

Međutim, ceo razmatrani period, bezmalo dva veka, karakteriše se elektrostatičkim pojavama, znači nema trajnih izvora elektricneta.

Nagli napredak nauke o elektricitetu otpočeo je kada je profesor anatomije Galvani (Luigi Galvani, 1737-1789) otkrio nove izvore elektricneta. Izučavajući fiziologiju žabljih bataka, otkrio je, po njegovom mišljenju, životinjski elektricitet. Do tada je trenje bilo jedini i slabo izdašni način proizvodnje elektricneta. Nakon saznanja za Galvanijeva otkrića, Volta (Alessandro Volta, 1745-1827) ih je otpočeo sistematski izučavati. Poznat je njegov eksperiment sa zaronjenim cinkovim i bakarnim pločama u rastvor sumporne kiseline. Spajanjem krajeva ploča provodnikom, u njemu je potekla struja. Tako je na nov način, trajnim izvorom struje, omogućeno kvalitetno novo izučavanje elektricneta. Na krajevima ploča postoji električni napon koji "tera" struju. Taj napon se povećava kada se spoje nekoliko ćelija na rad i tako nastaje "baterija". To otkriće pada u sam kraj XVIII veka, odnosno u 1799. godinu.

Most između magnetizma i elektricneta 1819. godine uspostavlja Ersted (Hans Christian Oersted, 1777-1851), utvrđujući da električna struja vrši određena dejstva na magnet. Pri mirovanju naelektrisanja opažaju se samo električne sile. Kada se elektricitet kreće, pojavljuju se iste sile kao i kod magneta. Amper (Andre-Marie Ampere, 1775-1836) zaključuje da ne postoji magnetna supstanca, već da magnetne slike izlaze iz električnih struja koje kruže u molekulima (elementarni magneti). Time je, svakako, Amper prethodio modernoj atomskoj teoriji. Slede Amperov zakon o magnetnom polju električne struje (1820), otkriće zakona o otporu protoku električne struje, i Omov (Georg Simon Ohm, 1787-1854) zakon (1827). Svakako najznačajnije eksperimentalno otkriće je Faradejev zakon o elektromagnetnoj indukciji (1831.) koji je uobličio u elektromagnetnu teoriju Džems Klark Maksvel (1865). U razdoblju od Faradejevih eksperimenata i Maksvelove teorije ostvareno je više značajnih otkrića na polju nauke o elektricitetu i magnetizmu. Ulazi se u period veoma preciznih merenja osnovnih električnih veličina, kao i određivanje odnosa između elektromagnetnih i elektrostatičkih pojava.

Dalji razvoj nauke o elektricitetu može se uslovno podeliti u dve oblasti. Jedna počinje matematičkim uopštavanjem Maksvelove elektromagnetne teorije, uopštavanjem zakona o održanju mase i energije, zakonima termodinamike, Maksvelove elektrodinamike, dokazima

za Maksvelovu teoriju o prirodi svetlosti kao elektromagnetnim pojavama, Hercovim radovima itd. Tu spada i određivanje sistema električnih jedinica na Prvom međunarodnom elektrotehničkom Kongresu 1881. godine. Doba atoma počinje 1896. godine Tomsonovim (Joseph John Tompson, 1856-1940) otkrićem elektrona i radovima Radeforda (Ernest Rutherford, 1871-1937) i plejade velikana savremene fizike.

Druga oblast se razvija u smeru praktične primene elektriciteta i uslovno predstavlja razvoj elektrotehnike kakvom je mi shvatamo danas. Počinje od Simensovog (Werner von Siemens, 1816-1892) otkrića dinamo-mašine (1866). Time otpočinje period elektrotehnike sa osnovom u jednosmernoj struji. Jedan od najplodnijih pronalazača - Edison (Thomas Alva Edison, 1847-1931) sve svoje napore i stvaralačke aktivnosti usmerava ka što većoj naizmjeničnoj primeni jednosmerne struje. U industriji se lagano supstituiše parna mašina sa brojnim kaišnicima i isprepletenim kaišnim prenosnicima snage sa elektromotorima jednosmerne struje. Njena primena je i u domenu osvetljenja. Nedostaci korišćenja jednosmerne struje su stalno prisutni. Nema mogućnosti njenog prenosa na veće udaljenosti, a to je zahtevalo izgradnju izvora - centrala u blizini većih potrošača. Edison i njegova kompanija grade brojne centrale, na stotine kako bi zadovoljili sve veće potrebe potrošača.

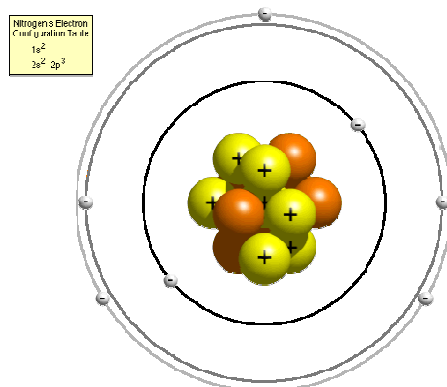
Mnogi su osećali da je ovakvo stanje neodrživo i da nema ozbiljnu perspektivu. Mogu se navesti brojni istraživači koji su pokušali da nađu rešenje korišćenjem naizmjenične struje, ali rezultata nije bilo. Tek je pojavom Nikole Tesle (1856-1943) njegovim brojnim patentima omogućeno da u praksu uđe naizmjenična struja sa širokim perspektivama za njeno dalje korišćenje i njenu ekspanziju u svim domenima ljudske aktivnosti.

## **2.2. Struktura materije**

Poznato je da se materija sastoji od supstancije i polja. Čiste supstancije mogu biti jednostavne i složene. Jednostavne se nazivaju hemijskim elementima, jer nikakvim hemijskim postupkom se ne mogu razložiti na jednostavnije. Složene materije nastaju spajanjem elemenata, imaju potpuno nova svojstva i nazivaju se jedinjenja. Smeše su sastavljene od različitih elemenata i jedinjenja. Najsitnije čestice elementa, koje još predstavljaju element su *atomi*. Danas je poznato 105 elemenata, a time i 105 različitih vrsta atoma. Svi atomi izgrađeni su od elementarnih čestica, a njihovu građu utvrdili su fizičari E. Raderford i N. Bor. Svaki atom sastavljen je od jezgra i omotača (slika 2-1). U središtu atoma na vrlo malom prostoru zgusnuti su protoni i neutroni, koji čine njegovo jezgro. Omotač jezgra čine elektroni koji se kreću velikim brzinama oko njega. Najverovatnije je da se elektroni u atomu vodonika kreću na rastojanju u odnosu na jezgro  $\sim 2 \cdot 10^{-10}$  m, a u slučaju atoma cezijuma, na rastojanju  $\sim 5,3 \cdot 10^{-10}$  m.

*Elektroni* su elementarne čestice, koje poseduju negativno naelektrisanje. *Protoni* su elementarne čestice koje poseduju naelektrisanje jednako po veličini naelektrisanju elektrona, ali suprotnog predznaka. Masa protona približno je jednaka jedinici atomske mase. Masa elektrona je oko 1836 puta manja od jedinice atomske mase, odnosno mase koju ima proton.



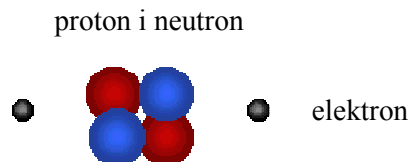


Slika 2-1. Sastav atoma

Količina naelektrisanja koju poseduje elektron i proton označava se kao *elementarno naelektrisanje*, jer nema manjeg u prirodi. *Neutroni* nemaju naelektrisanje, a masa im je približno jednaka masi protona, odnosno jedinici atomske mase. U normalnim uslovima broj elektrona u omotaču jednak je broju protona u jezgru, što znači da svaki atom sadrži jednaku količinu pozitivnog i negativnog naelektrisanja i posmatrano spolja električki je neutralan. Dimenzije elektrona i protona nije moguće pouzdano odrediti, jer te čestice nemaju oštre granice. Nije ih moguće ni videti, već je moguće u određenim uslovima videti i snimiti trag koji one ostavljaju pri prolazu kroz određenu materiju. Iz tih tragova moguće je odrediti njihovu brzinu, energiju, masu i naelektrisanje. Između protona i neutrona u jezgru deluju vrlo jake sile koje ih drže na okupu. To su nuklearne sile. Između protona i elektrona, međutim, vladaju električne sile koje zajedno s nuklearnim drže atom jednom celinom. Kretanje elektrona u atomu ima složen karakter, jer oni pored kretanja u omotaču istovremeno rotiraju i oko vlastite ose. Ta rotacija naziva se *elektronski spin*. Uz to se menja i položaj omotača u odnosu na jezgro. Atomi različitih elemenata međusobno se razlikuju po broju protona u jezgru, odnosno broju elektrona u omotaču. Tako atom vodonika kao najjednostavniji ima jedan proton u jezgru i jedan elektron u omotaču. Atom helijuma ima dva protona i dva elektrona, litijuma tri protona i tri elektrona itd.

Atomi istog elementa mogu se međusobno razlikovati samo po broju neutrona koje sadrži jezgro. Oni pritom imaju isti atomski broj jer poseduju isti broj protona, ali se razlikuju u masi zbog različitog broja neutrona. Takvi atomi se nazivaju *izotopi*. Najsloženiji atom je izotop urana U koji ima 146 neutrona, 92 protona i 92 elektrona. Neki jednostavniji primeri modela atoma prikazani su na slici 2-2.

Jedino je jezgro atoma običnog vodonika bez neutrona, dok jezgra svih ostalih atoma pored protona sadrže i neutrone. Svi elektroni u omotaču nemaju jednaku energiju. S obzirom na sadržaj energije pojedinih elektrona u atomu, elektroni se mogu u omotaču raspodeliti u 7 *ljusaka* ili *omotača*.



Slika 2-2 Model jednostavnog atoma helijuma

Te se ljuske prema svojem redosledu označavaju slovima  $K$ ,  $L$ ,  $M$ ,  $N$ ,  $O$ ,  $P$  i  $Q$ , pri čemu se ljuska najbliža jezgru označava s  $K$ , a najudaljenija s  $Q$ . Elektroni u ljuskama bližim jezgru imaju energiju manju od onih u udaljenijim ljuskama. Spoljašnja ljuska sadrži najviše do 8 elektrona, a unutrašnje do  $2n^2$ , gde je  $n$  broj ljuske računajući od jezgra.

### 2.3. Elementarno naelektrisanje

U prirodi, dakle, postoje dve vrste elementarnih naelektrisanja, jednim je dogovorno pridodan naziv "pozitivni" (kod protona), a drugim "negativni" (kod elektrona). Iako je masa protona veća od mase elektrona, njihovo naelektrisanje je po apsolutnom iznosu jednako i iznosi:

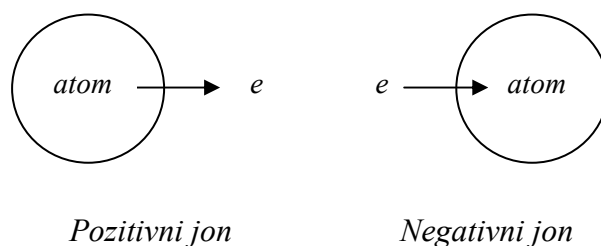
$$1e = 1,6 \cdot 10^{-19} \quad [C] \text{ ili } [As] \quad (2.1)$$

Veličinu elementarnog naelektrisanja utvrdio je 1917. fizičar R.A. Milliken (Robert Andrews Millikan, 1868 - 1953), a izražava se u kulonima [C] ili amper-sekundama [As].

Proton je čvrsto vezan u jezgru i pojavljuje se slobodan samo u reakcijama među jezgrima, nuklearnim reakcijama. U tim reakcijama dolazi do fizičke transformacije jezgra, a traju vrlo kratko. Elektron u normalnim uslovima postoji i slobodan, jer se u procesu jonizacije atoma može osloboditi veze s jezgrom. Njegovo sudelovanje u električnim pojavama je stoga aktivnije. Elektroni u atomu mogu posedovati samo određenu konačnu količinu energije i mogu se kretati putanjama određenim njihovom energijom. Oni nastoje da zaposednu putanje koje odgovaraju najnižem energetskom nivou i popunjavaju ljuske bliže atomskom jezgru. Takav atom se nalazi u osnovnom stanju.

Dovođenjem energije atomu spolja u obliku npr. toplote ili svetlosti, postiže se njegovo pobuđeno stanje, pri čemu elektroni mogu primiti toliko energije da mogu promeniti ljusku i preći u ljuske dalje od atomskog jezgra. Mogu se i osloboditi veze s jezgrom i biti izbačeni izvan atoma, ili obrnuto, mogu spolja biti ubačeni u putanje oko jezgra. Takav postupak, koji dovodi do promene broja elektrona, naziva se jonizacija.

Ako iz atoma izleti jedan elektron, narušava se električna ravnoteža atoma, jer ukupno pozitivno naelektrisanje protona postane veće od ukupnog negativnog naelektrisanja preostalih elektrona. Atom spolja više nije neutralan, a zbog prevladavanja pozitivnih naelektrisanja postaje pozitivan jon. Ako, međutim, atom primi jedan elektron i time ukupno negativno naelektrisanje elektrona postane veće od ukupnog pozitivnog naelektrisanja protona, on postaje negativni jon (slika 2-3).



Slika 2-3 Jonizacija atoma

Svaka hemijska veza među atomima zasniva se na razmeni elektrona među njima. U tako nastalom skupu atoma elektroni mogu istovremeno i u jednakoj meri pripadati svim atomima. Kako i skup atoma može biti izvrnut procesu jonizacije, jonima se smatraju naelektrisani atomi ili njihovi skupovi.

Dok negativno naelektrisanje u normalnim uslovima može biti prisutno ili kao naelektrisanje elektrona ili kao naelektrisanje negativnih jona, pozitivno naelektrisanje prisutno je samo kao naelektrisanje pozitivnih jona.

#### 2.4. Električna svojstva materije

Pokretljivost elektrona, oslobođenih jonizacijom, među atomima ili molekulima pojedinih materijala određuje osnovno električno svojstvo materije, električnu provodljivost. Materijali koji se odlikuju velikom električnom provodljivošću nazivaju se *provodnicima*. U njih se ubrajaju metali i njihove legure. To su materijali s kristalnom strukturom, kod kojih se atomi međusobno povezuju metalnom vezom. Pri tom vezivanju javlja se veliki broj slobodnih elektrona koji se lako stavljaju u kretanje i pritom nailaze na srazmerno mali otpor u kristalnoj rešetki. To su čvrsti provodnici. U provodnike se uvrštavaju i elektroliti i provodni gasovi. Elektroliti su soli odnosno krute materije kristalne strukture s jonskom vezom među atomima, te kiseline i baze otopljene u vodi. Pri tom otapanju javlja se određeni broj suprotno naelektrisanih jona. Slično stanje se javlja i kod nekih gasova. Elektrolite i provodne gasove za razliku od metala odlikuje istovremena pokretljivost i jona i elektrona. Pri kretanju jona javlja se i kretanje materije, čega pri kretanju elektrona nema. Oni se stoga za razliku od čvrstih nazivaju jonskim provodnicima.

Pored provodnika postoje i materijali koji se odlikuju vrlo malom ili gotovo nikakvom električnom provodljivošću. Ti materijali se nazivaju *izolatorima* ili *dielektricima*. U njih se ubrajaju čvrsti materijali s kristalnom strukturom, kod kojih se atomi međusobno povezuju kovalentnom vezom. U toj vezi elektroni su čvrsto vezani uz jezgra fiksirana u kristalnoj rešetki. Pored čvrstih materijala s kristalnom strukturom u izolatore se ubrajaju i neki materijali nekristalne strukture kao npr. guma, papir, staklo, mineralna ulja, te uz njih čista voda, neprovodni gasovi i vakuum.

Među materijalima s kristalnom strukturom nalaze se i neki materijali kod kojih veza među atomima može biti bliska i kovalentnoj i jonskoj vezi. Ti materijali se odlikuju znatno manjom provodljivošću nego što je imaju provodnici, ali većom od one kod izolatora, pa se nazivaju *poluprovodnicima*. Provodljivost im jako zavisi od spoljnih fizičkih i hemijskih uticaja. Tu se ubrajaju npr. olovni sulfid i neki spojevi silicijuma, germanijuma i selena. Kod čvrstih provodnika koji električnu struju prenose slobodnim elektronima javlja se njihovo haotično kretanje između atoma, koje podseća na kretanje molekula gasa. Slobodni elektroni se pritom rasporede tako da je provodnik spolja posmatrano električki neutralan. Usmereno kretanje slobodnih elektrona javlja se u provodniku tek pod spoljnim uticajem, kojim se

elektronu daje dodatna energija. Srednja brzina haotičnog kretanja elektrona u provodniku reda je veličine  $10^6$  m/s, a brzina njihovog usmerenog kretanja  $10^{-2}$  m/s. Pri prolazu struje kroz pojedine materijale opažaju se sledeći efekti: toplotni, magnetni, hemijski, svetlosni i fiziološki. Oni se mogu vrlo uspešno koristiti i njima se bavi tehnički deo elektrotehnike. Toplotni efekti se koriste u elektrotermiji, magnetni kod električnih mašina, hemijski u elektrolizi, a fiziološki u utvrđivanju korisnog i štetnog delovanja električne struje na žive organizme.

## 2.5. Kulonov zakon

**Kulonov zakon** definiše intenzitet, pravac i smer elektrostatičke sile kojom nepokretno naelektrisanje malih dimenzija (u idealnom slučaju tačkasto naelektrisanje) deluje na drugo. Ta sila se često naziva i „Kulonova sila“. Nazvana je po Šarlu-Avgustinu de Kulonu koji je koristio torzionu vagu kako bi je izmerio.

Kulonov zakon se može definisati kao:

Intenzitet elektrostatičke sile između dva tačkasta naelektrisanja je direktno proporcionalan proizvodu količina njihovih naelektrisanja, a obrnuto proporcionalan kvadratu rastojanja između ta dva naelektrisanja. Konstanta proporcionalnosti,  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ , a pravac dejstva električne sile je pravac najkraćeg rastojanja među njima.

Ako se posmatra samo intenzitet sile (a ne i njen pravac i smer), jednostavnije je onda koristiti pojednostavljeni, skalarni oblik zakona:

$$|F| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (2.2)$$

gde je:

$|F|$  - intenzitet sile,

$q_1$  - naelektrisanje jednog tela,

$q_2$  - naelektrisanje drugog tela,

$r$  - rastojanje između naelektrisanja,

$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 8.988 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$  (takođe  $\text{mF}^{-1}$ ) - elektrostatička konstanta, i

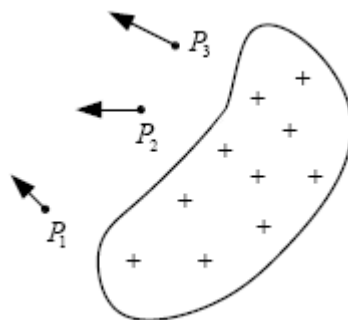
$\epsilon_0 \approx 8.854 \times 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$  (takođe  $\text{Fm}^{-1}$ ) - dielektrična konstanta (permitivnost) vakuuma.

Ova formula pokazuje da je intenzitet sile direktno proporcionalan količini naelektrisanja svakog objekta i obrnuto proporcionalan kvadratu rastojanja između naelektrisanja.

Naelektrisanja sa istim polaritetom se odbijaju, a naelektrisanja sa suprotnim polaritetima se privlače duž linije koja ih spaja.

### 3. ELEKTRIČNO POLJE NAELEKTRISANJA

Proučavanje elektriciteta istorijski se odvijalo proučavanjem sila koje se uočavaju između naelektrisanih tela. Najpoznatiji način naelektrisanja (odvođenja ili dovođenja naelektrisanja nekom telu) bio je trenjem. Analiza uočenih sila dovela je do zaključka da u električnim pojavama postoje dve električne veličine: naelektrisanje i polje. Naelektrisanje se javlja kao svojstvo čestica, a električno polje se javlja kao polje sila oko naelektrisanih čestica, tj. oko naelektrisanja. Kulon je još 1785. godine uočio i formulisao osnovni zakon o sili između naelektrisanih tela. Izraz za *Kulonovu silu* se po obliku podudara sa izrazom za *Njutnovu gravitacionu silu*, samo što u njoj umesto masa figurišu naelektrisanja, a s obzirom da naelektrisanja mogu biti i pozitivna i negativna, sledi da se naelektrisana tela mogu i odbijati, a ne samo privlačiti. Zakon se može eksperimentalno potvrditi samo za silu između vrlo malih naelektrisanih tela, koja se mogu smatrati matematičkim tačkama (tzv. tačkasto naelektrisanje ili probno naelektrisanje; eksperimentalno: naelektrisana kuglica). Isto tako prilike postaju jednostavne za proučavanje i merenje kad se tačkasto naelektrisanje nađe u okolini velikog, na primer metalnog, naelektrisanog tela (slika 3-1). Neka se pretpostavi da su i telo i kuglica naelektrisani pozitivnim naelektrisanjem. Eksperimentom se opaža da je sila na naelektrisanu kuglicu utoliko veća što je veći iznos naelektrisanja kojim je naelektrisana i to u bilo kojoj tački prostora.



Slika 3-1 Električna sila u okolini naelektrisanog tela

Umesto promene količine naelektrisanja kuglice, moguće je menjati njen položaj oko metalnog tela (P1, P2, P3, ...). U svakoj tački prostora sila koja deluje na kuglicu će imati uopšteno različitu veličinu, pravac i smer. Sila zavisi dakle i od fizičke veličine prouzrokovane prisustvom naelektrisanog tela. Ta veličina se zove *električno polje* naelektrisanog tela, *E*. Sila koja deluje na tačkasto naelektrisanje može se, prema tome, izraziti proizvodom dve nezavisne veličine:

$$F = q \cdot E \quad [N] \tag{3.1}$$

gde su:

$q$  - naelektrisanje [C],

$E$  - jačina električnog polja [V/m].

Električno polje je dakle, polje sila oko naelektrisanih čestica. Kad se u okolini nekog naelektrisanja nalazi više drugih naelektrisanja, tada se ukupna sila na to naelektrisanje može dobiti kao vektorski zbir sila svakog od okolnih naelektrisanja. Električno polje je

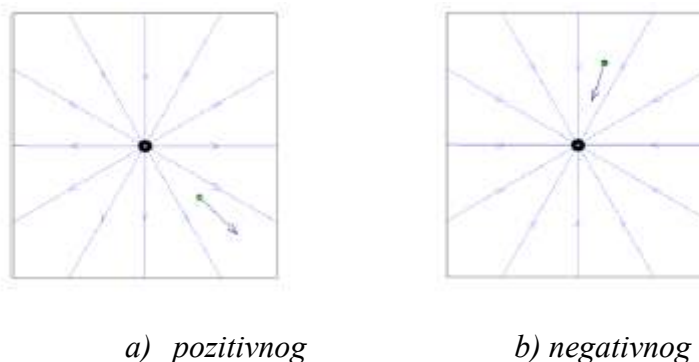
rezultat delovanja svih naelektrisanja koja se nalaze u nekom prostoru (unošenjem dodatnog naelektrisanja u taj prostor menja se i polje).

Jačina električnog polja  $E$ , u nekoj tački, jednaka je odnosu sile  $F$  koja deluje na naelektrisanje (postavljeno u tu tačku) i količine naelektrisanja  $q$ , a smer polja jednak je smeru koji bi imala električna sila koja deluje na pozitivno naelektrisanje postavljeno u tu tačku. Jačina polja u određenoj tački prostora može se odrediti, poznavajući silu  $F$  koja deluje na naelektrisanje  $q$  (dovedeno u tu tačku) pomoću izraza:

$$E = \frac{F}{q} \quad (3.2)$$

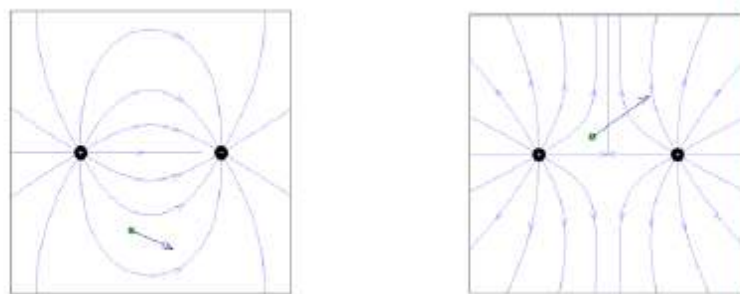
Jedinica za jačinu električnog polja je *volt po metru* (V/m).

Linije sile električnog polja su linije po kojima bi se, pod dejstvom električne sile u polju, kretalo pozitivno naelektrisanje. Linije sile izviru iz pozitivnih naelektrisanja i usmerene su prema negativnim naelektrisanjima u koje uviru. Gustina linija sila srazmerna je jačini električnog polja. Obično se pod pojmom "električno polje" misli na "jačinu električnog polja", to jest na intenzitet vektora električnog polja. Budući da se sila u svakoj tački menja (po smeru i/ili intenzitetu), znači da se i polje menja. Odredi li se polje u svakoj tački prostora, može se iz izraza (3.1) izračunati sila koja deluje na bilo koje naelektrisanje koje se dovede u bilo koju tačku tog prostora. Odavde se vidi praktična korist električnih polja, koja se zbog toga i grafički predstavljaju. Električno polje nije rezultat samo naelektrisanog tela, nego i svakog naelektrisanja unetog u polje. Budući da predstavlja polje sila, dakle vektorsko polje, može se predstaviti linijama polja ili linijama sile. Smer električnog polja jednak je smeru delovanja električne sile na pozitivno naelektrisanje (slika 3-2), pa je u okolini pozitivnog naelektrisanja smer polja suprotan od onog u okolini negativnog naelektrisanja. To se vidi po vektoru sile koja deluje na probno naelektrisanje uneto u neku tačku polja.



*Slika 3-2 Električno polje naelektrisanja*

Električno polje dva naelektrisanja prikazano je na slici 3-3. Tu je polje u svakoj tački vektorski zbir polja sa slike 3-2. Tangenta u svakoj tački linije sile pokazuje pravac delovanja sile. I ovde se ta sila uočava kao vektor sile probnog naelektrisanja. Dugo vremena su polja bila shvatana kao matematičke konstrukcije kojima su se pregledno mogle prikazati sile u okolini naelektrisanja. Realnim su smatrane samo sile i naelektrisanje. Zahvaljujući Maksvelu i Faradeju, polja dobijaju realna obeležja, ništa manje stvarna nego što su vidljivi mehanički predmeti koji nas okružuju. Dokaze o postojanju takvih polja izneli su proučavanjem elektromagnetnih talasa.



a) suprotnog polariteta

b) istog polariteta

Slika 3-3 Električno polje dva naelektrisanja

Tu naelektrisanja nemaju više svoja primarna značenja, već polje. Naelektrisanja postaju samo mesta u prostoru u kojima izvire ili poniru električne linije sile. Za pozitivno naelektrisanje kaže se da je *izvor*, a za negativno da je *ponor električnog polja* (slika 3-3).

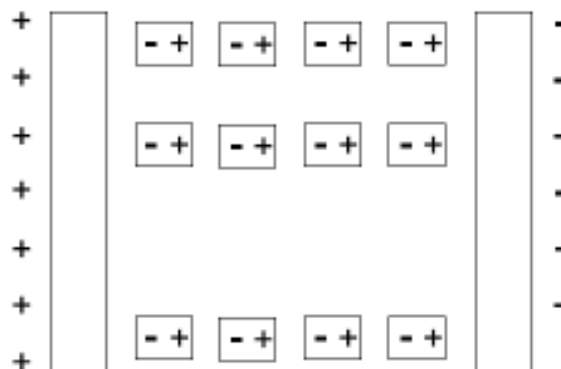
Polje oko elektroda, provodnih tela izolovanih od okoline, počinje i završava na naelektrisanjima smeštenim na površini. Budući da se naelektrisanja kojim je elektroda naelektrisana (zbog istog polariteta) međusobno odbijaju, svo naelektrisanje se raspoređuje po površini, pa u unutrašnjosti elektrode nema električnog polja. Svojstvo električnih polja da završavaju na površinama provodnika koristi se kod zaštite tela od delovanja električnih polja zaštitama od metalnih limova ili metalnih mreža. To je načelo tzv. *Faradejevog kaveza*.

### 3.1. Polarizacija i influenca

Kao neposredni rezultat delovanja sile u električnom polju uočavaju se dve važne pojave: *polarizacija dielektrika* i *influenca u provodnim telima*.

Statička električna polja pri mirujućim naelektrisanjima moguća su samo u električno neprovodnim materijalima, to jest izolatorima. Izolatori se stoga nazivaju i dielektrici (grčki: *dia* - kroz), jer kroz njih deluju električne sile.

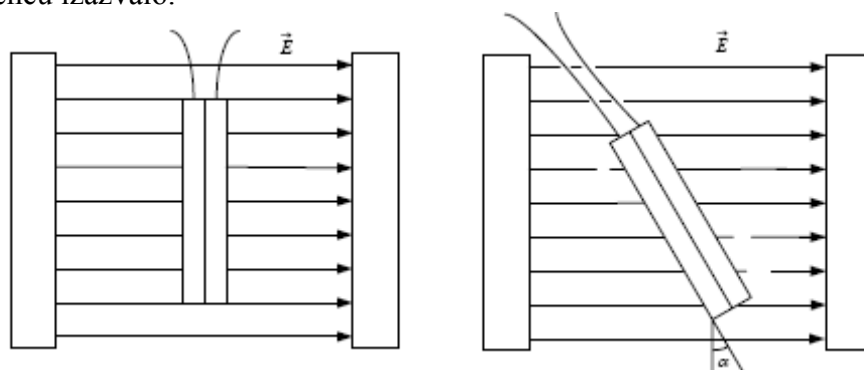
U njima normalno nema slobodnih naelektrisanja. Ako se takvi materijali unesu u električno polje, u njima može doći samo do određenog razmeštanja naelektrisanja u atomima i molekulima: pozitivna naelektrisanja se malo pomaknu u smeru polja, negativna u suprotnom, stvarajući tako dipole. Ta je pojava nazvana *polarizacija dielektrika*.



Slika 3-4 Polarizacija dielektrika

S druge strane, delovanje polja na provodnike, koji imaju slobodna naelektrisanja, manifestovaće se razdvajanjem naelektrisanja suprotnog predznaka. Ta se pojava zove

*influenca* (slika 3-5 a). Količina razdvojenog naelektrisanja jednaka je količini naelektrisanja koje je influencu izazvalo.



a) Pod  $90^{\circ}$

b) Pod  $45^{\circ}$

Slika 3-5 Električna influenca

Može se pokazati da količina razdvojenog naelektrisanja zavisi i od površine na koju je polje delovalo. Ako se metalne pločice postave u homogeno polje (na slici 3-5 b) pod uglom od  $45^{\circ}$ , zatim razdvoje u polju, pa izvuku van polja, svaka će primiti otprilike 71 % naelektrisanja u odnosu na eksperiment pod a).

### 3.2. Električna indukcija

Sve linije sila koje izviru iz nekog naelektrisanja  $q$ , čine u prostoru oko naelektrisanja električni fluks  $\Phi$ . Radi lakšeg proučavanja pojava u polju pri različitim dielektricima uvodi se nova vektorska veličina  $D$ . Istog je smera kao i jačina polja, a intenzitet joj je jednak gustini razdvojenog naelektrisanja, koje bi se na provodniku u toj tački električnog polja izdvojilo, tj. indukovalo. Naziv tog vektora je *električna indukcija* ili *vektor dielektričnog pomeraja*.

Električna indukcija  $D$  u nekoj tački prostora je po intenzitetu srazmerna jačini polja  $E$ :

$$D = \varepsilon E \quad (3.3)$$

Faktor srazmernosti  $\varepsilon$  je *dielektrična konstanta* i zavisi od materijala u kojoj je električno polje uspostavljeno. Dielektrična konstanta vakuuma je  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$ .

Dielektričnost materijala se iskazuje pomoću dielektrične konstante vakuuma i relativne dielektrične konstante  $\varepsilon_r$ :

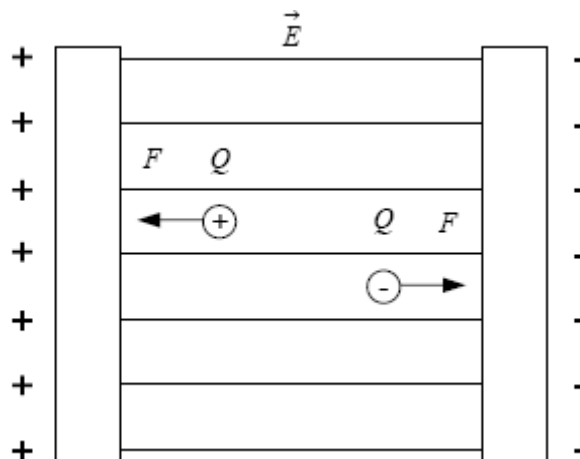
$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r \quad (3.4)$$

Relativna dielektrična konstanta,  $\varepsilon_r$ , je karakteristika određenog materijala i ona pokazuje koliko puta je veća električna indukcija u toj materiji nego što bi, uz istu jačina polja, bila u vakuumu. Relativna dielektrična konstanta,  $\varepsilon_r$ , je bezdimenzionalni broj i za većinu materijala manji je od 10 (3 za gumu, 6 za porcelan, 2-4 za staklo), u nekim keramičkim masama do 100, a najveće vrednosti idu čak i do 10000. Poznavanjem naelektrisanja, geometrije tela i materijala u prostoru, električno polje je u svakoj tački potpuno određeno.



### 3.3. Homogeno električno polje

Za električno polje kaže se da je *homogeno* ako mu je u svakoj tački jačina električnog polja istog inteziteta i smera. Sila koja deluje na pozitivno naelektrisanje,  $+q$ , uneto u homogeno električno polje (slika 3-6) je u smeru polja, a sila koja deluje na negativno naelektrisanje,  $-q$ , suprotna je smeru polja. Budući da i uneto naelektrisanje stvara vlastito električno polje, pretpostavlja se da je to mala količina naelektrisanja, pa je njegovo delovanje zanemarljivo.



Slika 3-6 Homogeno električno polje

Polje je *homogeno*, ako su linije sila polja međusobno paralelne. Homogeno polje ima u svakom delu prostora jednaku električnu indukciju,  $D$  i jednaku jačinu električnog polja,  $E$ , to jest za svaku tačku polja važi:

$$D = konst. \text{ i } E = konst. \quad (3.5)$$

Smer homogenog polja svugde je isti, a linije sile su ravne, paralelne, i na jednakim rastojanjima.

Električna indukcija,  $D$ , naelektrisane ploče jednaka je površinskoj gustini naelektrisanja:

$$D = \frac{q}{S} \quad (3.6)$$

gde je  $q$  – naelektrisanje i  $S$  - površina ploče.

U slučaju naelektrisane kugle električna indukcija je, zbog simetrije, istog intenziteta u svakoj tački površine:

$$D = \frac{q}{4\pi R_0^2} \quad \left[ \frac{C}{m^2} \right] \quad (3.7)$$

gde je  $R_0$  poluprečnik kugle.

#### 4. ELEKTRIČNI POTENCIJAL I RAD ELEKTRIČNOG POLJA

Određivanje jačine polja u nekoj tački kao rezultat delovanja više polja pojedinačnih naelektrisanja, na primer naelektrisanja na elektrodama, zahteva zbog svoje vektorske prirode složeni matematički aparat i duži račun. Očita je potreba za jednostavnijom, lako merljivom skalarnom veličinom, koja bi ipak pružala bitne informacije o prilikama u električnom polju. Tu potrebu zadovoljava **električni potencijal**.

Do pojma električnog potencijala može se doći ako se naelektrisanje  $q$  pod uticajem vektora jačine polja,  $\vec{E}$ , slobodno ili delovanjem sile kreće po nekoj putanji. Analogne prilike postoje i u mehanici. Telima na istoj visini pripisuje se jednaka "potencijalna energija". Ako se telo spusti pod uticajem gravitacione sile, na novoj visini ima nižu energiju za iznos koji je jednak izvršenom radu prilikom spuštanja. S druge strane, rad se ne vrši ako se telo kreće duž puta normalno na smer delovanja sile.

Slično se i naelektrisanju u električnom polju, (a i samim tačkama u kojima se naelektrisanje nalazi ili ga tamo zamišljamo), mogu pripisati različite potencijalne energije. Matematički je najjednostavnije da se početni nivo potencijalne energije uzima u beskonačnosti. Tamo je jačina električnog polja jednaka 0 i nema sile koja deluje na naelektrisanje, pa niti promene energije pri pomeranju. Ako se pozitivno naelektrisanje  $q$  dovede iz beskonačnosti u neku tačku električnog polja, izvršeni rad jednak je elektrostatičkoj potencijalnoj energiji u toj tački ( $E_p$ ). Rad je pritom jednak nuli za elementarne pomake normalne na smer polja.

Ako bi, pak, pozitivno naelektrisanje pod uticajem polja bilo odvedeno u beskonačnost, na tom putu bi se dobio (a ne utrošio) rad. Odnos između rada i naelektrisanja na kome je rad izvršen, odnosno potencijalna energija jedinice pozitivnog naelektrisanja zove se **električni potencijal**. Potencijal  $V$  u nekoj tački polja je:

$$V = \frac{E_p}{q} \quad [V] \quad (4.1)$$

Iz definicije potencijala sledi:

$$1V = \frac{1J}{1C}$$

a potencijalna energija naelektrisanja  $q$  u nekoj tački električnog polja biće:

$$E_p = q \cdot V \quad [J] \quad (4.2)$$

Ako dve tačke električnog polja, ili dva naelektrisana tela, imaju različite električne potencijale  $V_1$  i  $V_2$ , pri čemu je  $V_1$  veće od  $V_2$ , tada razlika potencijala između te dve tačke predstavlja **električni napon** i označava se sa  $U$ :

$$U = V_1 - V_2 \quad [V] \quad (4.3)$$

Jedinica za električni napon je **volt**.

Napon je jedan od najvažnijih pojmova u elektrotehnici i za razliku od  $E$  lako se meri.

Ako posmatramo dve tačke u električnom polju u kojima naelektrisanje ima različite potencijalne energije, iz definicije napona :

$$U = V_1 - V_2 = \frac{E_{F1}}{q} - \frac{E_{F2}}{q} = \frac{\Delta E_F}{q} \quad [J] \quad (4.4)$$

sledi:

$$\Delta E_p = q U \quad (4.5)$$

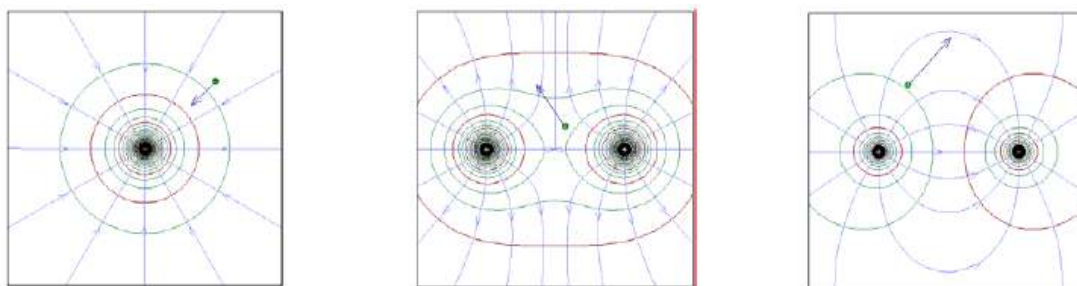
Pošto je promena električne potencijalne energije, pri premeštanju naelektrisanja  $q$ , jednaka radu električnog polja, dobija se:

$$A = q U \quad (4.6)$$

Treba uočiti da bi rad između dve tačke u električnom polju bio isti bez obzira na oblik putanje po kojoj bi se naelektrisanje kretalo. Rad, koji izvrše sile elektrostatičkog polja pri pomeranju probnog naelektrisanja duž neke putanje, ne zavisi od oblika putanje, već samo od položaja njenih krajnjih tačaka. Drugim rečima, to znači da rad zavisi samo od razlike potencijala, tj. napona.

U posebnom slučaju, kad su izvorna i odredišna tačka iste, tj. kad je putanja zatvorena kriva linija, rad će imati vrednost nula: ( $A = 0$ ). Elektrostatičko polje, kao i gravitaciono polje, pripada grupi tzv. *konzervativnih polja*. Zajednička osobina ovih polja je da je rad sile po zatvorenoj putanji jednak nuli.

Isto tako, ako se kretanje izvodi po linijama istog potencijala (pa je razlika potencijala između dve tačke jednaka nuli), ne troši se (niti dobija) rad. Linije istog potencijala zovu se **ekvipotencijalne linije** (slika 4-1).



Slika 4-1 Ekvipotencijalne linije

S obzirom da je prostiranje električnog polja trodimenzionalano, govorimo o ekvipotencijalnim površinama. Budući da za kretanje naelektrisanja po ekvipotencijalnoj površini nije potreban rad, vektori jačine električnog polja (električne linije sile) normalni su na ekvipotencijalne površine.

## 5. ELEKTRIČNA KAPACITIVNOST

Priključimo li pločaste elektrode na električni izvor (npr. na bateriju ili akumulator), na njima će se pod uticajem napona izvora razdvojiti jednake količine naelektrisanja suprotnog znaka, koji će u dielektriku među pločama stvoriti električno polje.

Ako, zatim, odvojimo elektrode od izvora, razdvojeno naelektrisanje će ostati i dalje na pločama vezana međusobno električnom silom, a odvojena dielektrikom u kojem stvaraju električno polje. Na taj način, u ovom sistemu provodnih elektroda razdvojenih dielektrikom, može se skladištiti naelektrisanje. Količina tog naelektrisanja  $q$  pritom je srazmerna naponu  $U$  između elektroda.

Eksperimentalno se može ustanoviti linearna zavisnost između količine naelektrisanja koje neko telo sadrži i njegovog potencijala, tj. napona:

$$q = C U \quad (5.1)$$

To znači da je za određeni sistem elektroda (i vrstu dielektrika) stalan odnos primnjenog naelektrisanja  $q$  i napona između elektroda, odnosno potencijala  $V$ . Taj odnos naziva se električna kapacitivnost tela. Oznaka kapacitivnosti je  $C$ , a jedinica je *farad* ( $F$ ).

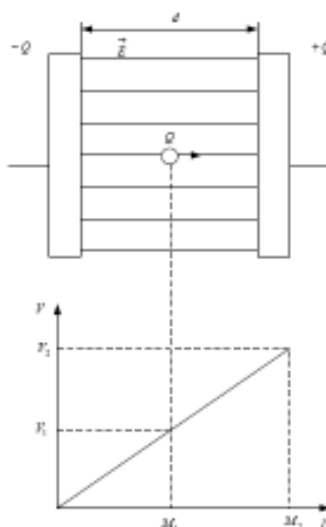
$$C = \frac{q}{V} \quad [F] \quad (5.2)$$

Kapacitivnost predstavlja meru sposobnosti tela da primi naelektrisanje.

Između pločastih, različito naelektrisanih elektroda, paralelno razmaknutih za udaljenost  $d$ , jačina električnog polja unutar elektroda može se odrediti pomoću izraza:

$$E = \frac{U}{d} \quad \left[ \frac{V}{m} \right] \quad (5.3)$$

Na slici 5-1 vidi se homogeno polje unutar elektroda i potencijal svake tačke između njih.



Slika 5-1 Električno polje i potencijal kondenzatora

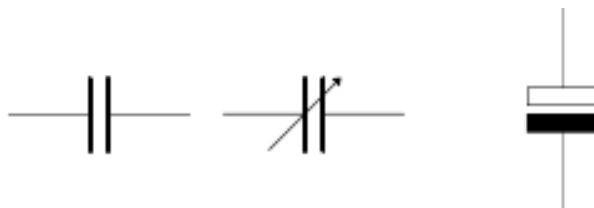
### 5.1. Kondenzator

Pločaste elektrode između kojih se nalazi izolator čine *kondenzator*. Vrste kondenzatora razlikuju se po obliku elektroda (pločasti, cilindrični, kuglasti...) i vrsti izolatora (vazdušni, keramički, elektrolitski, ...).

Ako se kondenzator priključi na izvor napona  $U$ , naelektrisanje iz izvora ići će prema elektrodama, dok se između njih ne uspostavi isti napon. Taj proces zovemo punjenje kondenzatora. Na svakoj elektrodi naći će se jednaka količina naelektrisanja, samo suprotnog predznaka. Izolator između elektroda sprečava da se naelektrisanja ponište. Polazeći od električne indukcije naelektrisanja na pločama  $D = \frac{q}{S}$  (izraz 3.6) i njene veze s jačinom električnog polja  $D = \epsilon \cdot E$  (izraz 3.3), te odnosa jačine polja i napona  $E = \frac{U}{d}$  (izraz 5.3) sledi:

$$q = D \cdot S = \epsilon \cdot E \cdot S = \epsilon \frac{U}{d} S = \epsilon \frac{S}{d} U = C U \quad (5.4)$$

Konstanta  $C$  zove se kapacitet kondenzatora, i ona za pločasti kondenzator zavisi od površine ploča  $S$ , razmaka ploča  $d$  i vrste dielektrika. Kapacitet kondenzatora se meri u *faradima*  $F$ , a realni kondenzatori imaju kapacitete u iznosima  $\mu F$  ( $10^{-6}$  F),  $nF$  ( $10^{-9}$  F) i  $pF$  ( $10^{-12}$  F). S obzirom na stalnost kapaciteta razlikuju se nepromenljivi i promenljivi kondenzatori. Simboli kondenzatora prikazani su na slici 5-2.



a) stalnog kapaciteta    b) promenljivog    c) elektrolitski  
Slika 5-2 Simboli kondenzatora

Osnovna obeležja kondenzatora su:

- kapacitet  $C$  u [F],
- tolerancija (dopušteno odstupanje od  $C$ ) u procentima,
- dopušteno temperaturno područje u  $^{\circ}C$ ,
- nazivni radni napon [U] i napon proboja.

Vrednosti kapaciteta su standardizovane.

#### Vezivanje kondenzatora

Ako su u praksi potrebni kapaciteti čija vrednost se ne nalazi u nizu raspoloživih, moguće je različitim vezivanjem više kondenzatora postići željenu vrednost kapaciteta. Vezivanje dva kondenzatora moguće je na dva osnovna načina: *serijski* i *paralelno*. Složene ili mešovite veze dobijaju se kombinacijom osnovnih načina vezivanja sa tri i više kondenzatora.

Serijska veza postiže se tako da se jedna jedna elektroda kondenzatora spoji s jednom elektrodom drugog, a paralelna da se međusobno povežu iste elektrode. Paralelnim vezivanjem kondenzatora povećava se kapacitet veze, a serijskim se smanjuje. S obzirom da

kapacitet kondenzatora predstavlja vezu dovedenog naelektrisanja i dobijenog napona na kondenzatoru, prema izrazu 5.4, za razumevanje veza kondenzatora potrebno je dva ili više kondenzatora spojiti (priključiti) na izvor napona.

## **6. TEMATSKA JEDINICA: ELEKTRIČNO POLJE**

### **6.1. Opšte metodičke napomene i nastavne metode**

Cilj nastave elektrostatičke (kao dela elektromagnetizma) u školama je da učenici steknu osnovna znanja iz elektrostatičke (pojave, pojmovi, zakoni, teorijski modeli) i osposobe se za njihovu primenu, kao i da steknu osnovu za nastavljanje obrazovanja na višim školama i fakultetima, na kojima je elektromagnetizam među fundamentalnim disciplinama.

Zadaci nastave elektrostatičke jesu da učenici:

- upoznaju najbitnije pojmove i zakone elektrostatičke kao i najvažnije teorijske modele;
- upoznaju metode istraživanja u elektrostatici;
- razumeju elektrostatičke pojave u prirodi i svakodnevnoj praksi;
- razvijaju naučni način mišljenja, logičko zaključivanje i kritički prilaz rešavanju problema;
- shvate značaj elektrostatičke, tj. elektromagnetizma za ostale prirodne nauke i za tehniku;
- upoznaju stav čoveka prema prirodi i razvijaju pravilan odnos prema zaštiti čovekove sredine;
- šire svoju radoznalost i interesovanje za prirodne fenomene;
- osposobe se za samostalno korišćenje literature i drugih izvora informacija;
- steknu radne navike i praktična umeća.

### **6.2. Pojam i klasifikacija nastavnih metoda**

U vaspitno-obrazovnom procesu, kao i u svakoj drugoj oblasti ljudske delatnosti, traže se i biraju odgovarajuća sredstva, načini i postupci pomoću kojih se mogu postići zadovoljavajući rezultati. Kako je nastava najorganizovaniji vid vaspitno-obrazovnog rada, razumljiva su nastojanja da se pronađu, selekcionišu i primene one metode i postupci koji će biti najcelishodniji i koji će dati optimalne rezultate. Te najadekvatnije postupke, koji se u nastavi koriste nazivamo *nastavnim metodama*.

Sama reč metoda grčkog je porekla i znači postupak pomoću koga se ostvaruje postavljeni zadatak. Polazeći od suštine metode uopšte, nastavne metode mogu se definisati kao naučno-verifikovani načini i postupci rada nastavnika (stručnjaka) i učenika (učesnika) u nastavnom procesu, kojima se obezbeđuju optimalni uslovi za racionalnu i efikasnu nastavu.

S obzirom da nastavne metode određuju i regulišu tok nastavnog procesa, neprestano su bile, a i sada su, u žiži interesovanja savremenih didaktičara, kako stranih tako i naših. Razmišljanja se kreću od pokušaja da se nađe jedna univerzalna metoda do određenja sistema metoda. Najbliži jednoj temeljnoj klasifikaciji je kriterijum za podelu metoda zasnovan na naučnom putu odvijanja procesa saznanja u nastavi, a to su:

- a) Metode zasnovane na posmatranju (pokazivanje, živo opažanje);
- b) Metode zasnovane na rečima: monološke (opis, pričanje, pripovedanje), dijaloške (popularna predavanja, diskusije) i rad sa knjigom (apstraktno mišljenje);
- c) Metode zasnovane na praktičnim aktivnostima (praktična zanimanja i laboratorijske metode - prakse).

Važan je i stav koji za klasifikaciju metoda uzima kao polaznu osnovu tok sazajnog procesa, po kom se sve metode dele u tri grupe:

- verbalno-tekstualne,
- ilustrativno-demonstrativne,
- laboratorijsko-eksperimentalne metode.

Bez obzira na široku lepezu klasifikacije metoda, veliki broj teoretičara se slaže da su osnovne sledeće nastavne metode: *metoda usmenog izlaganja, metoda razgovora, metoda rada sa tekstom, metoda pismenih i grafičkih radova, metoda demonstracije i metoda praktičnih i laboratorijskih radova.*

### **6.3. Struktura i tok časa**

Unutrašnja povezanost i međusobni odnos pojedinih programsko-sadržajnih elemenata i njihova vremenska raspoređenost predstavlja strukturu nastavnog časa. Prema programsko-sadržajnoj strukturi, nastavni čas treba da sadrži sledeće osnovne elemente: organizaciju nastavnog časa, proveru domaćih zadataka, obnavljanje i utvrđivanje pređenog gradiva u cilju pripreme učenika za usvajanje novih nastavnih znanja, izlaganje novog gradiva, sintetizovanja obradene methodske jedinice i zadavanje domaćeg zadatka. Što se tiče vremenske strukture nastavnog časa fizike, smatra se da čas treba da sadrži: uvodni, glavni i završni deo časa, koji su povezani i objedinjeni u celinu.

#### Prvi čas – tok časa

Prvi deo časa je uvodni deo časa i je predviđen za ponavljanje gradiva šestog razreda u kome je uveden pojam naelektrisanja kao osobina supstancije i obrađena lekcija Električna sila, kao jedan od oblika sile.

Iz razloga što se učenici prvi put u osmom razredu ozbiljnije susreću sa pojmom elektriciteta, drugi deo časa, tj. glavni deo, je predviđen za objašnjavanje naelektrisavanja tela, uzajamnog delovanja naelektrisanih tela, kao i uvođenje pojma i uticaja električnog polja, uz izvođenje jednostavnih eksperimenata od strane nastavnika uz maksimalnu saradnju učenika. Sav potreban materijal treba da bude već pripremljen na jednom većem stolu, tako da svi učenici mogu dobro da vide eksperiment. U toku eksperimenta, učenici donose zaključke i pokušavaju da objasne eksperiment.

U završnom delu časa, trebalo bi ponoviti šta je rađeno na času i kakvi su zaključci donešeni.

#### Drugi čas – tok časa

U uvodnom delu ovog nastavnog časa trebalo bi usmenim propitivanjem pojedinih učenika proveriti u kom stepenu su učenici savladali gradivo sa prethodnog časa (obratiti pažnju da li su učenici koristili i udžbenik, da li su i sami probali neki od eksperimenata i kakva su im iskustva i imaju li ideju za neki praktičan rad).

Glavni deo časa je predviđen za proučavanje osobina električnog polja, pojma električne kapacitivnosti i principa rada kondenzatora. Ovo je vrlo zanimljiva tema za učenike, pogotovo ako je propraćena eksperimentima, jer se svakodnevno susreću sa raznim pojavama vezanim za elektricitet, ne znajući njihovo pravo objašnjenje. Eksperimenti su u sledećem poglavlju detaljnije objašnjeni i mogu se izvesti pred celim razredom.

Završni deo časa predviđen je za ponavljanje i sistematizaciju stečenih znanja o električnom polju.

## **7. JEDNOSTAVNI EKSPERIMENTI U NASTAVI**

### **7.1. Statički elektricitet**

**Cilj:** detektovati naelektrisanje i uočiti uzajamno dejstvo naelektrisanih tela i postojanje sile između njih.

**Potreban materijal:** list novinskog papira, olovka.

**Priprema i izvođenje eksperimenta:** Uzmemo list novinskog papira i pridržavamo ga uz zid. (Zid ne treba da bude premazan uljanom bojom). Nekoliko puta protrljajmo list olovkom po celoj površini i pustimo papir. Šta se dogodilo? List ostaje na zidu.

Odvojimo sada jedan kraj papira od zida i pustimo ga. Šta se dogodilo? Odignuti kraj se vraća na zid.



*Slika 7-1 Uzajamno dejstvo naelektrisanih tela*

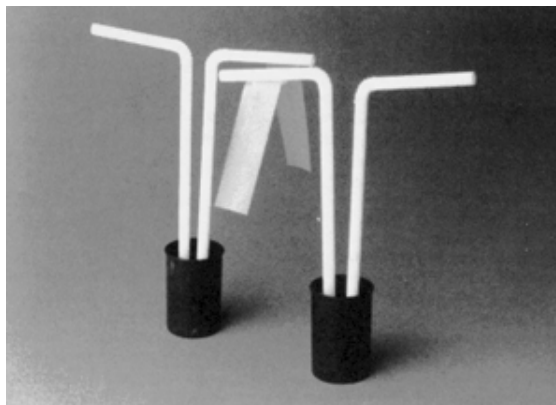
**Objašnjenje:** Trljanjem površina može se neko telo naelektrisati. Kad smo olovkom prelazili preko lista novinskog papira, naelektrisali smo ga negativnim naelektrisanjem. Negativna naelektrisanja na papiru izazivaju razdvajanje naelektrisanja u materijalu od koga je zid napravljen. Površina zida postaje pozitivno naelektrisana i između lista papira i zida deluje privlačna sila pa će papir ostati priljubljen uz zid kad ga pustimo. Prilikom odvajanja ivice papira od zida i puštanja, uočava se da se papir opet priljubljuje uz zid upravo zbog te privlačne električne sile. Ako je okolina jako suva čuće se lagano pucketanje statičkog elektriciteta.

(Eksperimenti sa statičkim elektricitetom ne izvode se kada je toplo i vlažno vreme. Najbolje ih je izvoditi kad je hladno i suvo. Kad je atmosfera topla i vlažna stvara se tanki nevidljivi sloj pare, koji prekriva sve predmete i ne dopušta kretanje naelektrisanja).

### **7.2. Elektroskop**

Obična plastčna lepljiva traka može primiti ili izgubiti negativno naelektrisane elektrone, kada je zalepimo za određenu površinu i brzo otrgnemo sa nje. Ako traku zalepimo za slamčicu možemo napraviti elektroskop, uređaj koji detektuje naelektrisanje. Plastični češalj će nam omogućiti da identifikujemo da li se traka naelektrisala pozitivno ili negativno.





*Slika 7-2 Elektroskop*

**Cilj:** detektovati i identifikovati naelektrisanje

**Potreban materijal:** 4 plastične slamčice sa savitljivim krajevima, 2 plastične kutijice od filma, dovoljno plastelina da do polovine napunimo kutijice, plastična lepljiva traka, plastični češalj i vunena tkanina.

**Priprema i izvođenje eksperimenta:** Kutijice napunimo plastelinom do polovine i dve slamčice zabodemo u njega tako da su im savitljivi delovi rašireni u suprotnom smeru. Slamčica treba da budu na istoj visini. Otkinemo dva parčeta trake dužine oko 10 cm i svaki čvrsto pritisnemo na površinu stola ili drugu ravnu površinu. Brzo otrgnemo trake sa stola i jednu zalepimo na slamčicu u jednoj kutijici, a drugu na slamčicu u drugoj kutijici. Ako primaknemo trake jednu drugoj, primetićemo da se međusobno odbijaju.

Zatim otkinemo još dva parčeta trake i pritisnemo lepljivu stranu jedne na glatku stranu druge, brzo ih otrgnemo i zalepimo na preostale dve slamčice. Ako primaknemo jednu drugoj primetićemo da se međusobno privlače.

Ako protrljamo češalj vunenom tkaninom (ili ga provučemo kroz kosu) i približimo trakama primetićemo da češalj odbija traku čija je glatka strana u sredini, a privlači traku čija je lepljiva strana u sredini. Ako prinesemo češalj trakama koje su otrgnute sa ravne površine češalj će odbijati obe trake.

**Objašnjenje:** Kada otrgnemo trake sa stola, trake ili uzimaju elektrone sa površine stola ili predaju deo svojih elektrona u zavisnosti od vrste materijala površine. U svakom slučaju, obe trake se naelektrišu istoimenim naelektrisanjem, bilo pozitivnim ili negativnim. Zato se trake međusobno odbijaju. Kada su trake zalepljene jedna za drugu, pri razdvajanju jedna dobije višak negativnog naelektrisanja, a druga ga gubi, pa se trake naelektrišu raznoimenim naelektrisanjem. Pošto se raznoimena naelektrisanja privlače i trake će se privlačiti.

Kada protrljamo češalj vunenom tkaninom, on postane negativno naelektrisan, pa odbija trake koje su se negativno naelektrisale, a privlači one sa pozitivnim naelektrisanjem.

### **7.3. Igrajući papirići**

**Cilj:** naelektrisanje trenjem, detektovanje naelektrisanja, objašnjavanje pojma polarizacije.

**Potreban materijal:** plastična ploča, dve debele knjige, mnogo lakih papirića, vunena tkanina.

**Priprema i izvođenje eksperimenta:** Papir se iseče na sitne delove. Dve debele knjige se postave na sto, a između njih se stavi gomilica papirića. Na knjige stavimo plastičnu ploču. Ploču trljamo vunenom tkaninom dok papirići ne počnu da se ispravljaju. Neki će se podići do

ploče i od nje odbiti, a drugi će ostati na ploči. Neki će se prividno lepiti jedan na drugi gradeći razigrane parove.



*Slika 7-3 Razigrani papirići*

**Objašnjenje:** Plastična ploča se trenjem naelektriše negativnim naelektrisanjem. Električno polje, koje potiče od ploče, dovodi do polarizacije naelektrisanja u papirićima (dielektriku). Papirići se podižu jer su svojim pozitivnim krajem okrenuti ka ploči koja ih privlači. Laki papirići se priljubljuju za ploču. Ako je kontakt između ploče i papirića slab, na papiriće ne može da pređe negativno naelektrisanje, pa oni ostaju uz ploču. Ako je kontakt dobar, elektroni prelaze sa ploče na papiriće i oni se elektrišu negativno. Ovi papirići se odbijaju od ploče. To izgleda kao ples papirića.

#### **7.4. Elektroforus**

**Cilj:** naelektrisavanje tela, uvođenje pojma kapacitivnosti

**Potreban materijal:** plastična čaša, aluminijumska posuda, parče stiropora

**Priprema i izvođenje eksperimenta:** Plastičnu čašu zalepimo selotejpom u sredinu aluminijumskog tanjira. Aluminijumski tanjir stavimo na komad vunom natrljanog stiropora. Taj uređaj naziva se grč. elektroforus ili "nosilac naelektrisanja".



*Slika 7-4 Elektroforus*

Nakon toga kratko dotaknemo aluminijumsku posudu da postane naelektrisana.



*Slika 7-5 Oseti se blagi udar*

Posudu sklonimo sa stiropora. Kada je dotaknemo osetimo blagi strujni udar i vidimo malu varnicu.



*Slika 7-6 Varnica*

**Objašnjenje:** Kada stiropor natrljamo vunom on primi negativno naelektrisanje, jer privlači elektrone sa vune. Kada stavimo aluminijsku posudu na stiropor elektroni sa stiropora odbijaju elektrone na posudi. Budući da elektroni ne mogu da odu sa posude jer su potpuno okruženi izolatorima (vazduhom i stiroporom), aluminijska posuda ostaje neutralna. Ako dotaknemo posudu dok je blizu stiropora elektroni će biti odgurnuti sa posude na nas, pri čemu nastaje mala varnica. Takođe se oseti protok elektrona kroz prst. Kada elektroni dođu na naš prst posuda je pozitivno naelektrisana. Kaže se da je posuda naelektrisana indukcijom. Pomoću izolatora posuda je prenosiva, te se naelektrisanje može prenositi s posude na druge predmete. Ako na primer pozitivno naelektrisanu posudu približimo prstu ili bilo kom drugom telu koje može biti izvor elektrona (sijalici), posuda privlači elektrone stvarajući drugu varnicu.

### **7.5. Lajdenska boca**

**Cilj:** uvođenje pojma kapacitivnosti i objašnjenje principa rada kondenzatora

**Potreban materijal:** kutijica od filma, ekser, aluminijska folija, voda, aluminijska posuda, plastična čaša, parče stiropora i fluorescentna sijalica.

**Priprema i izvođenje eksperimenta:** U eksperimentu 7.5. ćemo iskoristi uređaj za stvaranje elektriciteta iz eksperimenta 7.4. te ćemo pomoću njega naelektrisati Lajdensku bocu (primitivni kondenzator). Lajdensku bocu sastavljamo na sledeći način. Uzmemo kutijicu od filma, i gurnemo ekser kroz centar poklopca. Zatim aluminijsku foliju omotamo oko 2/3 posude. Na kraju posudu napunimo vodom iz slavine i zatvorimo poklopac, tako da ekser

bude u vodi.



*Slika 7-7 Lajdenska boca*

Uzimamo naelektrisanu aluminijumsku posudu koju smo naelektrisali na način opisan u eksperimentu 7.4. Izolatorom je prinesemo Lajdenskoj boci, i dotaknemo vrh eksera



*Slika 7-8 Punjenje Lajdenske boce*

Sada je boca naelektrisana. Postupak možemo ponoviti više puta za veći efekt. Tada boci približimo fluorescentnu sijalicu i to tako da jednom rukom držimo jedan vrh sijalice, a drugom aluminijum na kondenzatoru. Drugi vrh sijalice prislonimo na ekser. U tom trenutku sijalica kratko zasvetli.



*Slika 7-9 Pražnjenje boce*

**Objašnjenje:** Aluminijumska posuda se naelektriše na način opisan u eksperimentu 7.4. Kada stiropor natrljamo vunom on primi negativno naelektrisanje, jer privlači elektrone sa vune. Kada stavimo aluminijumsku posudu na stiropor elektroni sa stiropora odbijaju elektrone na posudi. Pomoću izolatora posuda je prenosiva, te se naelektrisanje može prenositi s posude na druge predmete. Kada pozitivno naelektrisanom aluminijumskom posudom dotaknemo ekser

na Lajdenskoj boci, elektroni iz eksera idu na posudu. Rezultirajuće pozitivno naelektrisanje na ekseru privlači elektrone iz tela. Lajdenska posuda tada će imati pozitivno središte odvojeno od negativne folije, te ako jednim prstom dotaknemo ekser, a drugim foliju, osetićemo protok elektrona. Ako jednom rukom držimo jedan vrh sijalice a drugom foliju na Lajdenskoj posudi, te drugim krajem sijalice dotaknemo ekser sijalica će se na kratko upaliti.

## **8. ZAKLJUČAK**

Cilj nastavnog predmeta Fizika je da:

- učenik ovlada savremenim znanjima iz fizike i upozna njihovu primenu u nauci, tehnici i svakodnevnom životu,
- kod učenika doprinese formiranju naučne slike o materijalnosti sveta,
- kod učenika razvija sposobnosti posmatranja, apstrahovanja i zaključivanja,
- podstiče maštu i razvija želju za stvaralaštvom,
- doprinosi razvoju celokupne njegove ličnosti.

Cilj ovog rada je celovito objašnjenje pojave elektriciteta, povezivanje teorije i prakse i formiranje naučnog pogleda na svet koji nas okružuje.

Za lakše sagledavanje pojava i uočavanje zakonitosti neophodno je korišćenje adekvatnih, zanimljivih, demonstracionih (jednostavnih) oglada, koji omogućuju učenicima da kroz individualni rad, razmišljanje i logičko zaključivanje, lakše usvoje predviđeno gradivo. Upotrebom demonstracionih oglada časovi fizike postaju interesantniji, a gradivo razumljivije i lako primenljivo.

Za obradu ove nastavne tematske jedinice korišćeni su sledeći ogladi:

1. Statički elektricitet
2. Elektroskop
3. Igrajući papirići
4. Elektroforus
5. Lajdenska boca

Ogladi su odabrani tako da reprezentuju osobine električnog polja koje su predstavljene, kao i sve novousvojene pojmove vezane za ovu oblast.

## **9. LITERATURA**

1. Dušanka Ž. Obadović, Milica Pavkov-Hrvojević, Maja Stojanović: *Jednostavni ogledi u fizici, 8. razred*, Zavod za udžbenike, Beograd, 2007.
2. B. Popović: *Osnovi elektrotehnike I, Elektrostatika, vremenski konstantne električne struje*, Građevinska knjiga, Beograd 1988
3. Darko V. Kapor, Jovan P. Šetrajić: *Fizika za osmi razred osnovne škole*, Zavod za udžbenike, Beograd, 2006.
4. Dragoslav M. Petrović, Svetlana R. Lukić: *Ekperimentalna fizika kondenzovane materije*, Univerzitet u Novom Sadu, PMF Novi Sad, 2000.
5. dr Ivan Janić: *Osnovi atomske fizike (skripta)*, Novi Sad, 1992.
6. Milan O. Raspopović: *Metodika nastave fizike*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1992.
7. List Elektroprivrede Crne Gore, *Iz istorije elektrotehnike*, Nikšić, oktobar 2001
8. Internet sajтови: <http://www.eduref.org>;  
<http://www.weatherwizkids.com>;  
<http://www.askeric.org>

.....



### **BIOGRAFIJA**

Dejana Vujadinović je rođena 27.04.1968. godine u Zrenjaninu. Osnovnu i srednju školu završila je u Novom Sadu.



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

*Redni broj:*

**RBR**

*Identifikacioni broj:*

**IBR**

*Tip dokumentacije:*

Monografska dokumentacija

**TD**

*Tip zapisa:*

Tekstualni štampani materijal

**TZ**

*Vrsta rada:*

Diplomski rad

**VR**

*Autor:*

Dejana Vujadinović

**AU**

*Mentor:*

dr Dušanka Obadović, red. prof.

**MN**

*Naslov rada:*

Obrada tematske jedinice: Osobine električnog polja

**NR**

*Jezik publikacije:*

srpski (latinica)

**JP**

*Jezik izvoda:*

srpski/engleski

**JI**

*Zemlja publikovanja:*

Srbija

**ZP**

*Uže geografsko područje:*

Vojvodina

**UGP**

*Godina:*

2008.

**GO**

*Izdavač:*

Autorski reprint

**IZ**

*Mesto i adresa:*

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4,  
Novi Sad

**MA**

*Fizički opis rada:*

9/36/0/0/21/0/0

**FO**

*Naučna oblast:*

Fizika

**NO**

*Naučna disciplina:*

Demonstracioni eksperimenti u nastavi

**ND**

*Predmetna odrednica/ ključne reči:*

elektricitet, električno polje, nastava fizike

**PO**

**UDK**

*Čuva se:*

Biblioteka departmana za fiziku PMF-a u Novom Sadu

**ČU**

*Važna napomena:*

nema

**VN**

*Izvod:* U radu je prikazana obrada tematske jedinice „Osobine električnog polja“. Pored teorijskog dela prikazani su demonstracioni ogledi prilagođeni uzrastu učenika.  
**IZ**

*Datum prihvatanja teme od NN veća:* 24.12.2007.

**DP**

*Datum odbrane:* 23.01.2008.

**DO**

*Članovi komisije:*

**KO**

*Predsednik:* dr Srđan Rakić, docent

*član:* dr Milan Pantić, vanr. prof.

*član:* dr Dušanka Obadović, red. prof.

UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

*Accession number:*

**ANO**

*Identification number:*

**INO**

*Document type:*

Monograph publication

**DT**

*Type of record:*

Textual printed material

**TR**

*Content code:*

Final paper

**CC**

*Author:*

Dejana Vujadinović

**AU**

*Mentor/comentor:*

Ph.D. Dušanka Obadović, full professor

**MN**

*Title:*

Treatment Themes Unit: Properties of Electric Field

**TI**

*Language of text:*

Serbian (Latin)

**LT**

*Language of abstract:*

English

**LA**

*Country of publication:*

Serbia

**CP**

*Locality of publication:*

Vojvodina

**LP**

*Publication year:*

2008

**PY**

*Publisher:*

Author's reprint

**PU**

*Publication place:*

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića  
4, Novi Sad

**PP**

*Physical description:*

9/36/0/0/21/0/0

**PD**

*Scientific field:*

Physics

**SF**

*Scientific discipline:*

Demonstrative experiments in teaching

**SD**

*Subject/ Key words:*

electricity, electric field, physics class

**SKW**

**UC**

*Holding data:*

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

**HD**

<i>Note:</i>	none
<b>N</b>	
<i>Abstract:</i>	This work elaborates on the theme unit „The properties of Electric field“. The topic is elaborated theoretically, as well as experimentally, using demonstrational experiments adapted to be suitable for elementary school pupils.
<b>AB</b>	
<i>Accepted by the Scientific Board:</i>	24.12.2007.
<b>ASB</b>	
<i>Defended on:</i>	23.01.2008.
<b>DE</b>	
<i>Thesis defend board:</i>	
<b>DB</b>	
<i>President:</i>	Ph.D. Srđan Rakić, assistant professor
<i>Member:</i>	Ph.D. Milan Pantić, associate professor
<i>Member:</i>	Ph.D. Dušanka Obadović, full professor