

1

Električne pojave

- 1.1.** Povijesni uvod
- 1.2.** Električni naboj
- 1.3.** Coulombov zakon
- 1.4.** Električno polje
 - 1.4.1.** Električna potencijalna energija
 - 1.4.2.** Električni potencijal i napon
- 1.5.** Električni kapacitet
 - 1.5.1.** Spajanje kondenzatora
 - 1.5.2.** Energija pohranjena u kondenzatoru

Uvod

U učenju i istraživanju fizikalnih pojava došli smo do područja koje predstavlja, slobodno možemo reći, osnovu našeg modernog načina života. Točno je da se mnogo toga oko nas giba, pada, leti ili se okreće. Mehanika nam pomaže da shvatimo uzroke i načine gibanja, jednako kao što nam znanost o toplini otkriva kako rade automobili, klima-uređaji i hladnjaci. Moderna sredstva komunikacije, poput mobitela, televizije i interneta, ne možemo razumjeti ako ne naučimo o električnim i magnetskim pojavama. Električne i magnetske pojave neprestano nas prate u svakodnevnom životu. Usijana nit žarulje, daljinski upravljač televizora ili mikrovalna pećnica - sve su to uređaji koji najneposrednije otkrivaju univerzalnost električnih i magnetskih pojava svakodnevnog života. Jednako važno, na mikroskopskoj razini, elektromagnetska sila odgovorna je za strukturu tvari, čvrstoću materijala i njegovu električnu vodljivost. Dakle, poznavanje električnih i magnetskih pojava nužno je za razumijevanje modernog svijeta oko nas. No s obzirom na univerzalnost fizikalnih pojava, sva znanja koja smo do sada stekli u mehanici i u izučavanju toplinskih pojava, nužna su za razumijevanje gradiva koje nas čeka na sljedećim stranicama.

Proučavanje električnih pojava započet ćemo povijesnom skicom, a zatim uvesti osnovne pojmove vezane za električni naboј, električne sile i svojstva materijala povezanih s električnim pojavama. Odmah zatim, dozvolit ćemo nabojima da se počnu gibati - uvest ćemo električnu struju i pokazati da se kao posljedica protoka naboja pojavljuje čudesna veza između električnih i magnetskih pojava. To ujedinjenje različitih područja istraživanja predstavlja golem spoznajni i tehnološki korak naprijed. Tako se otvara mogućnost stvaranja magnetskih polja pomoću električnih, kao i električnih polja pomoću magnetskih, a to predstavlja korak prema modernoj civilizaciji komunikacije. To je ujedinjenje dovelo do formuliranja zakona elektromagnetske indukcije koja obuhvaća promjenjiva električna i magnetska polja, kao i elektromagnetske valove, kojima ćemo se više baviti sljedeće godine.

Konceptualno, ujedinjenje električnih i magnetskih pojava u područje zvano elektromagnetizam, predstavlja drugo veliko ujedinjenje u fizici. Prvo se zbilo onog trenutka kada je Newton shvatio da isti zakoni prirode vladaju na Zemlji i u svemiru. On je na taj način, formulirajući svoj zakon opće gravitacije, ujedinio zemaljsku i svemirsku fiziku. Tako je uklonio zadnje ostatke shvaćanja Zemlje kao istaknutog ili posebnog mesta u svemiru. Nakon elektromagnetizma, istraživanja u području mikrosvijeta otkrila su još međudjelovanja koja u njemu vladaju. Naime, elektromagnetska sila jedna je od četiri osnovne sile - interakcije u prirodi. Osim nje, tu su još gravitacijska sila, jaka nuklearna sila i slaba nuklearna sila. U drugoj polovici 20. stoljeća fizičari su uspjeli formulirati jednu vrlo elegantnu matematičku teoriju ujedinjenja tri međudjelovanja - interakcije: elektromagnetska jaka i slaba sile ujedinjene su u tzv. standardni model. Zanimljivo je da se gravitacijska sila uspijeva othrvati ujedinjenju, prije svega zato što još ne znamo na mikroskopskoj razini opisati gravitaciju pomoću kvantne mehanike. Stoga se posljednjih godina provode intenzivna istraživanja na području kvantne gravitacije i sličnih matematički vrlo zamršenih teorija. Ona bi omogućila jednu teoriju jedinstvenog polja, koja bi u sebi sadržavala sva međudjelovanja. Ideja ujedinjenja svih međudjelovanja može se vidjeti i u naslovu knjige Ruđera Boškovića iz godine 1758. *Teorija prirodne filozofije reducirane na jedinstveni zakon sila koje postoe u prirodi*. Ta je knjiga gotovo 150 godina utjecala na fizičare poput Faradaya, Maxwell-a i Kelvina.



Ključni pojmovi

- električni naboј
- elementarni naboј
- zakon očuvanja naboja
- električna indukcija
- Coulombova sila
- električno polje
- električna potencijalna energija
- električni potencijal
- električni napon
- električni kapacitet



1.1. Povijesni uvod



Benjamin Franklin (1706.–1790.), američki znanstvenik i jedan od osnivača Sjedinjenih Američkih Država. Bio je tiskar i izdavač te osnivač prve javne posudbene knjižnice. Poznat je po izumu gromobrana i pionirskim istraživanjima elektriciteta. Pokazao je da je munja elektricitet i uveo pojam električnog naboja te nazive pozitivni i negativni naboј.

Teorija električnih i magnetskih pojava počinje u 17. stoljeću, ali još je i Tales iz Mileta u 7. stoljeću prije nove ere znao da jantar, fosilna smola od koje se stoljećima izrađuje atraktivni nakit, privlači ljkusice sjemenki ili slamke kad ga se protrla tkaninom. Grčki naziv za jantar je ηλεκτρον (elektron). Slično privlačenje javljalo se između komada minerala magnetita nađenog u prirodi, a opisao ga je rimski pjesnik Lukrecije.

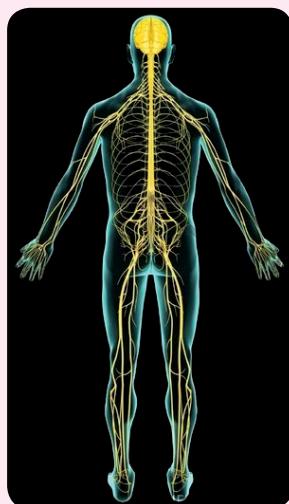
William Gilbert je u 16. stoljeću proučavao i jedne i druge pojave. Izveo je niz pokusa s nabijenim tijelima te proučavao privlačenje i odbijanje slamki koje je u horizontalnom položaju podupro poput magnetske igle. Ustanovio je da i drugi materijali trljanjem proizvode slične efekte kao i jantar. On je uveo naziv "električni" za "tijela koja privlače kao jantar".

Pokusi tijekom 18. stoljeća pokazali su da postoje dvije vrste elektriciteta pa su se električna tijela ponekad privlačila, a ponekad odbijala. Posebno je zanimljive pokuse proveo vrtlar francuskog kralja, francuski kemičar Charles Francois de Cisterney du Fay. Benjamin Franklin je 1747. godine ustanovio da su one dvije vrste elektriciteta zapravo jedna drugoj suprotne pa je nabijena tijela moguće neutralizirati. Prepostavio je da sva tijela imaju neku količinu elektriciteta, a trljanjem se jedna može ukloniti. Tada nastaje manjak, odnosno negativni elektricitet, a tijelo koje je primilo elektricitet je imalo višak, odnosno pozitivni elektricitet.

Danas znamo da je situacija obrnuta jer se uklanja i dodaje negativni naboј, ali se do danas zadržala ideja pozitivnog i negativnog elektriciteta, odnosno, kako danas kažemo, viška ili manjka negativnog naboja.

Izučavanje električnih pojava odvijalo se odvojeno od izučavanja magnetskih pojava sve do 19. stoljeća, kada je H. C. Oersted pokazao da se pomoću električne struje može proizvesti magnetsko polje. Tada je shvaćena prožetost električnih i magnetskih pojava te od tada govorimo o elektromagnetizmu, jedinstvenoj teoriji elektriciteta i magnetizma.

Pogled u biologiju

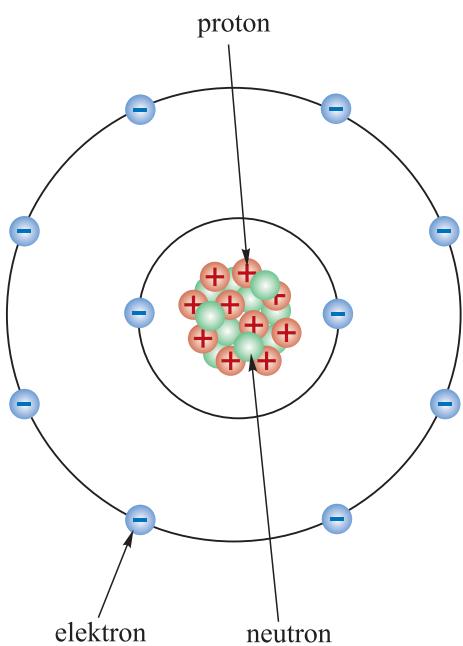


Bioelektricitet

Talijanski liječnik i fizičar Luigi Galvani secirao je 1786. godine žabu na stolu na kojem su prethodno bili izvođeni eksperimenti povezani sa statičkim elektricitetom. Kad je Galvanijev asistent dodirnuo živac žabinog kraka nanelektriziranim skalpelom, pojavila se iskra i krak se trznuo kao da je žaba živa. To je bilo prvo opažanje veze elektriciteta i života. Galvani je smatrao da je otkrio posebnu vrstu elektriciteta – životinski elektricitet. No talijanski fizičar Alessandro Volta nešto je kasnije pokazao da je "životinski elektricitet" fizikalna pojava te da je kod Galvanijevih pokusa sa žabama elektricitet došao s metalnog skalpela. Ipak, mnogi znanstvenici onog doba vjerovali su da se uvođenjem prave mjere elektriciteta u mrtvo tijelo može vratiti život. Ta ideja, nazvana galvanizmom, inspirirala je 1818. godine Mary Shelley za roman Frankenstein.

Danas znamo da se sva tvar, živa i neživa, sastoji od atoma te da se atomi mogu ionizirati, dodavanjem ili oduzimanjem elektrona pretvoriti iz neutralnih u električni nabijene čestice. Usmjereno gibanje molekula koje sadrže ione daje električnu struju. Tako kroz živce i mišiće ljudi i životinja teku električne struje. S obzirom na to da su naboji izvori električnog polja, a električne struje izvori magnetskog polja, žive stanice stvaraju električna i magnetska polja.





1.2-1

Atom je neutralna čestica građena od protona, neutrona i elektrona. Protoni i neutroni nalaze se u jezgru, a elektroni u elektronskom omotaču. Ova slika je samo shematska. Prava jezgra je 100000 puta manja od omotača, a elektroni se ne gibaju po kružnim stazama.

1.2. Električni naboј

Tijela mogu biti neutralna, električki pozitivno ili električki negativno nabijena. Danas znamo da je električna nabijenost nekog tijela posljedica viška ili manjka negativnog naboja. Nosilac negativnog naboja je elementarna čestica - elektron, koja je dio atomske strukture tvari (slika 1.2-1). Općenito, **električni naboј** je temeljno svojstvo čestice. Električni naboј ujedno je izvor električnog polja.

Tvar se na mikroskopskoj razini sastoji od atoma. On je građen od jezgre, koja nosi glavninu mase i elektronskog oblaka. Jezgra je građena od složenih čestica - protona, koji nose pozitivan električni naboј i neutrona, koji su električki neutralni. Oko jezgre se na relativno velikoj udaljenosti nalazi elektronski oblak, koji čine elektroni, nosioci negativnog električnog naboja. Naboј elektrona je po iznosu jednak naboјu protona. To je fascinantna činjenica jer je masa protona oko 1840 puta veća od mase elektrona, a proton je i složene strukture. Sastoji se od elementarnih čestica - tri kvarka, čiji se trećinski naboјi kombiniraju u naboј po iznosu točno jednak naboјu elektrona.

Jedinica za električni naboј je kulon (C). To je izvedena jedinica SI, a definirana je preko osnovne jedinice SI ampera, čiju ćemo definiciju dati kasnije. Ovdje moramo opisati dva izuzetno važna svojstva električnog naboja.

1. Električni naboј je *kvantiziran*. To znači da postoji neki minimalni iznos električnog naboja, a sve su veće količine cijelobrojni višekratnici tog **elementarnog naboja**. Najmanji iznos električnog naboja je naboј koji nosi elektron $q_e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C.
2. Električni naboј je apsolutno očuvan. Iz toga slijedi da se električni naboј u nekom procesu ne može stvoriti ili uništiti. Količina naboja koja je ušla u proces ili reakciju ne mijenja se, ona je nepromjenjiva veličina. U prirodi ili u laboratoriju nikada nije opažen proces u kojem bi bila narušena jednakost

$$Q_{\text{ukupno}}(\text{prije procesa}) = Q_{\text{ukupno}}(\text{nakon procesa}).$$

Tu činjenicu nazivamo **zakonom očuvanja naboja**.

Električni naboј je temeljno svojstvo čestice i izvor električnog polja. Jedinica SI električnog naboja je kulon (C).

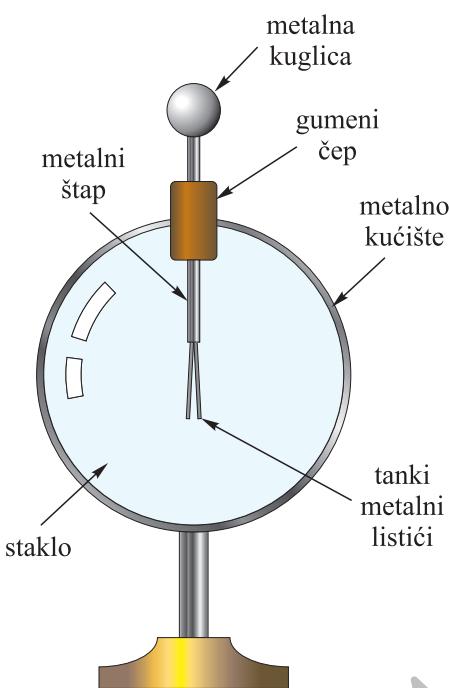
- Elementarni naboј je najmanji električni naboј koji može imati slobodna čestica. Jednak je naboјu elektrona i iznosi $1,602 \cdot 10^{-19}$ C.

Zakon očuvanja naboja: ukupni električni naboј zatvorenog sustava ne mijenja se s vremenom: $\Delta Q = 0$.

Napomena

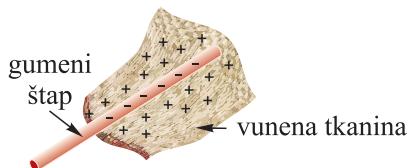
Mjerna jedinica za električni naboј je kulon, C.





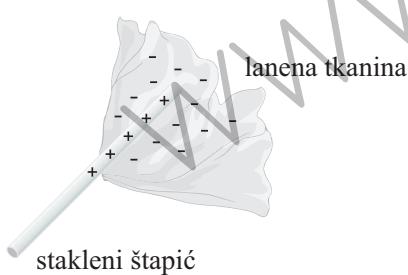
1.2-2

Elektroskop je električni uređaj za utvrđivanje prisutnosti električnog naboja



1.2-3

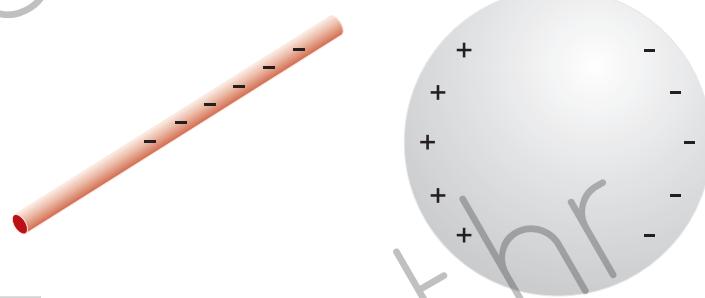
Trljanje gumenog štapa o vunenu tkaninu uzrokuje električnu indukciju: štap se nabija negativno, a tkanina pozitivno



1.2-4

Trljanje staklenog štapa o lanenu tkaninu uzrokuje električnu indukciju: štap se nabija pozitivno, a tkanina negativno

Uređajem zvanim *elektroskop* (slika 1.2-2) moguće je utvrditi prisutnost električnog naboja. Neki su dijelovi elektroskopa od metala. Metali su vodiči, odnosno materijali koji posjeduju skoro slobodne elektrone koji se mogu relativno lako gibati kroz materijal i koji dobro vode električnu struju, o čemu će kasnije biti riječi. Za razliku od njih, izolatori su materijali koji nemaju slobodnih elektrona. Kod njih su elektroni vezani za atome ili molekule koje grade takav materijal. Pozitivni naboji su kod čvrstih materijala vezani u kristalnoj rešetki i oni se ne mogu gibati. Kod tekućina i plinova javljaju se pozitivni i negativni ioni koji se mogu pomicati. Oni predstavljaju nosioce slobodnih naboja. Međutim, elektroskop ne može razlikovati pozitivan naboј od negativnog, ali iskustvo uči da se, primjerice, stakleni štap pozitivno nabije ako ga se protrlja svilenom ili lanenom tkaninom, plastični štap postaje negativno nabijen kada je protrljan krznom, a gumeni štap postaje negativno nabijen ako ga se protrlja vunenom tkaninom. U svim su slučajevima elektroni oni koji su prešli iz jednog predmeta (materijala) u drugi i izazvali višak ili manjak negativnog naboja (slike 1.2-3 i 1.2-4).



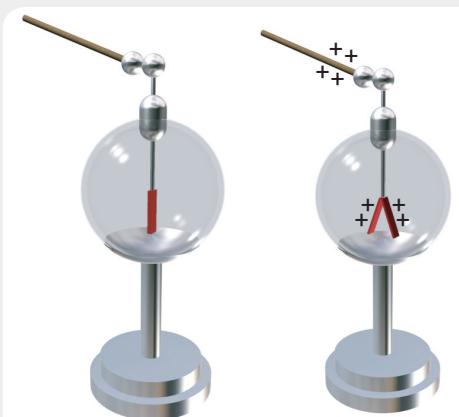
1.2-5

Negativno nabijen štap u blizini neutralne metalne kugle uzrokuje razdvajanje naboja (električnu indukciju) na kugli

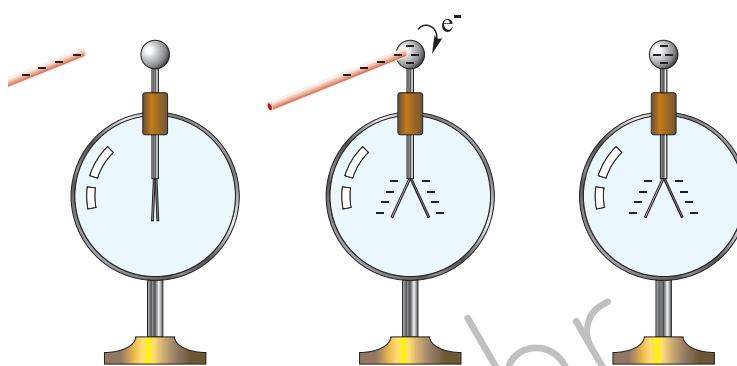
Elektroskop radi na principu **elektrostatske indukcije** ili električne influencije, odnosno na principu razdvajanja naboja u vodičima. U neutralnom se elektroskopu naboji razdvoje (slika 1.2-5) pa se listići zbog odbijanja istoimenih naboja rašire. Na slikama 1.2-6 i 1.2-7 vidimo proces nabijanja elektroskopa negativno, odnosno pozitivno:

- listići nisu rašireni - nema influencije
- električna influencija - listići su rašireni
- prijelaz naboja - listići su manje rašireni.

Elektrostatska indukcija je razdvajanje pozitivnih i negativnih električnih naboja.

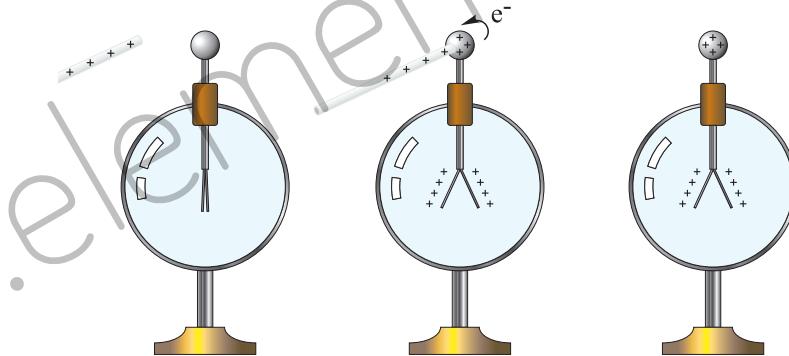
Animirani pokus

Na animaciji priloženoj uz udžbenik možete pogledati načelo rada elektroskopa. Dodirivanje metalne kuglice nenabijenog elektroskopa pozitivno nabijenim štapom uzrokuje otklon listića. Naime, štap privlači elektrone s elektroskopa, ostavljajući ga pozitivno nabijenim. Listići su tada nabijeni istoimenim naboјima pa dolazi do njihovog odbijanja.



1.2-6

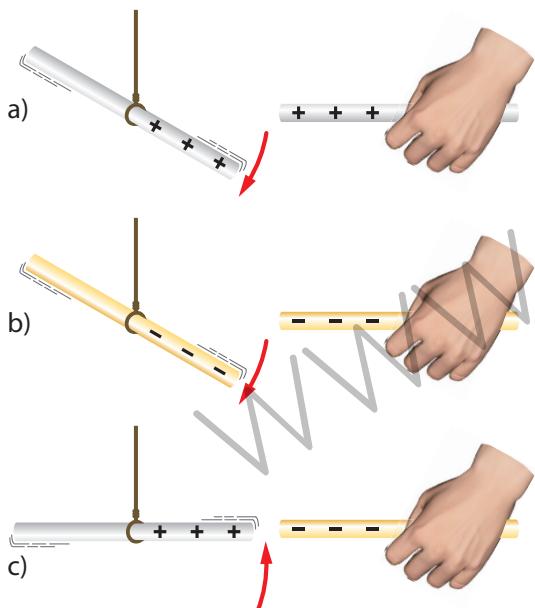
Negativno nabijanje elektroskopa: elektroni prelaze sa štapa na listiće. Listići se razdvajaju.



1.2-7

Pozitivno nabijanje elektroskopa: elektroni prelaze s listića na štap. Listići se razdvajaju.

1.3. Coulombov zakon



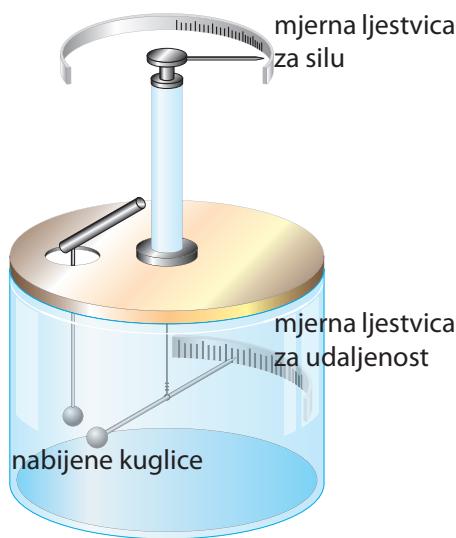
1.3-1

- a) Dva pozitivno nabijena staklena štapa se odbijaju
- b) Dva negativno nabijena štapa od jantara se odbijaju
- c) Suprotno nabijeni štapovi se privlače

Sada znamo da tijela možemo električki nabiti negativno ili pozitivno. Pokusi koje je lako izvesti, a prikazani su na slici 1.3-1, pokazuju privlačenje i odbijanje različito nabijenih tijela. Vidimo da se jednako nabijena tijela odbijaju, a različito nabijena tijela privlače. Točnije, postoji neka sila koja može biti privlačna ili odbojna, a smjer sile ovisi o predznacima naboјa.

Da bismo razumjeli i matematički opisali силу koja vlada između električki nabijenih tijela, moramo se sjetiti pojma polja. Razmatrajući gravitacijsko privlačenje, kazali smo da se oko masivnih tijela stvorilo polje - gravitacijsko polje. Kada u to polje dovedemo neko tijelo s masom, tada se na to tijelo javi sila, privlačna gravitacijska sila, opisana Newtonovim zakonom opće gravitacije. Dakle, prostor oko masivnog tijela je u "posebnom stanju" - masa je stvorila polje. Sila je tada jednostavno umnožak gravitacijskog polja i odgovarajućeg svojstva tijela - mase, u slučaju gravitacije.

Vrlo slična stvar događa se s električki nabijenim tijelom. Ranije spomenuto "posebno stanje prostora" oko električki nabijenih tijela očituje se time da "prostor" oko nabijenog tijela djeluje na drugo nabijeno tijelo te ga privlači ili odbija. Kaže se da se oko električki nabijenog tijela stvara *električno polje*. Kada se u to polje dovede drugo nabijeno tijelo naboјa Q_2 , javlja se električna sila na to drugo, nabijeno tijelo. Tu

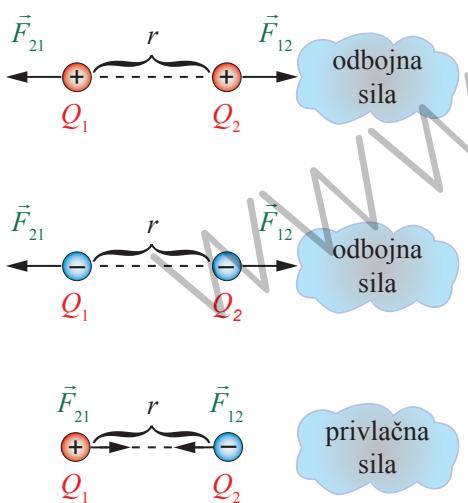


1.3-2

Torzijska vaga je uređaj u kojem uvijanje žice (torzija) služi za mjerjenje sile



Charles Coulomb (1736.-1806.), francuski fizičar, prvi je postavio matematički izraz za električnu силу, силу između dva točkasta naboja, koji danas nazivamo Coulombovim zakonom. Jedinica SI za električni naboј nosi njegovo ime. Kao što je masa izvor gravitacijske sile, tako je električni naboј izvor električne sile. Obje sile, Newtonova gravitacijska i Coulombova električna, opadaju s kvadratom udaljenosti.



1.3-3

Coulombova sila je odbojna za istoimene, a privlačna za raznoimene naboje

silu istraživao je Coulomb. On je izveo niz pažljivih pokusa služeći se uređajem - torzijskom vagom, koja je prikazana na slici 1.3-2. Pomoću nje je uspio ustanoviti matematičku ovisnost sile o veličinama naboja i njihovom razmaku. Uzeo je dvije kuglice od srčike drveta, nabio ih elektroskopom i ustanovio da je sila, privlačna ili odbojna, proporcionalna umnošku količina naboja Q_1 i Q_2 koji se nalazi na tijelima i da opada s kvadratom udaljenosti. Smjer sile pokazuje u smjeru spojnica naboja, a matematički zapis **Coulombove sile** je

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} .$$

Naboji su točkasti, a iznosi naboja mogu biti pozitivni ili negativni (slika 1.3-3). Konstanta k ovisi o sustavu jedinica koje se rabe, ali u njoj je skrivena i ovisnost o sredstvu u kojem se nalaze naboji. U vakuumu je eksperimentalno određena konstanta k u jedinicama SI jednaka:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,9875 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2} \approx 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2},$$

gdje ϵ_0 nazivamo permitivnošću vakuma:

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}.$$

Coulombova je sila, koju zovemo i elektrostatskom silom, kao i Newtonova sila opće gravitacije, sila "inverznog kvadrata", odnosno njen iznos pada s kvadratom udaljenosti. Očito postoji matematička sličnost između dvije sile, iako znamo da je gravitacijska sila uvijek privlačna, a Coulombova sila može biti privlačna i odbojna (slike 1.3-3 i 1.3-4).

Coulombova sila je električna sila između dva točkasta naboja. Razmjer na je iznosima naboja, a obrnuto razmjeru kvadratu udaljenosti među njima.

Ovisnost sile, a i električnog polja, o sredstvu pojavljuje se u konstanti k , čiju smo vrijednost naveli za vakuum. Međutim, mijenja silu za neko drugo sredstvo u kojem su uronjeni naboji pa ona ima ovakav oblik:

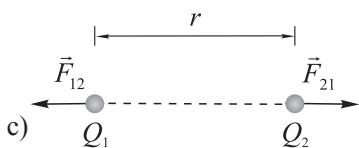
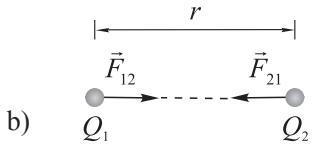
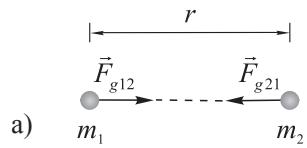
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} .$$

Vidimo da se u nazivniku pojavljuje veličina koja u sebi nosi karakteristiku sredstva. Zovemo je *relativna permitivnost*. Njene su vrijednosti za različita sredstva navedene u tablici 1.

| materijal (tvar) | ϵ_r | materijal (tvar) | ϵ_r |
|------------------|--------------|------------------|--------------|
| vakuum | 1 | zrak | 1,00059 |
| helij | 1,000068 | polietilen | 2,26 |
| neon | 1,000130 | staklo | 4-7 |
| vodik | 1,000250 | porculan | 6-8 |
| argon | 1,00051 | etanol | 24,3 |
| dušik | 1,00055 | voda | 80,1 |
| silicij | 12 | parafin | 2,2 |
| germanij | 16 | teflon | 2,1 |
| pleksi-staklo | 3,4 | najlon | 3,5 |
| papir | 3,7 | guma | 6,7 |

Tablica 1

Relativne permitivnosti različitih materijala



1.3-4

- a) Gravitacijska sila između dviju masa
 b) Coulumbova sila između suprotno nabijenih tijela
 c) Coulumbova sila između jednako nabijenih tijela

Primjer 2

Usporedite gravitacijsku i elektrostatsku (Coulombovu) silu između elektrona i protona.

Rješenje:

I jedna i druga sila su sile čiji iznos pada s kvadratom udaljenosti:

$$F_G = G \frac{m_e m_p}{r^2} \quad F_E = k \frac{Q_e Q_p}{r^2},$$

gdje je G gravitacijska konstanta, a k je konstanta iz Coulombovog zakona, odnosno $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$. Omjer te dvije sile ne ovisi o udaljenosti:

$$\frac{F_E}{F_G} = \frac{k e^2}{G m_e m_p} = 2,3 \cdot 10^{39}.$$

Na temelju toga možemo zaključiti da u atomu dominantnu ulogu ima elektrostatska sila, u usporedbi s gravitacijskom silom. Međutim, jaka nuklearna sila, koju smo spominjali na početku ovog poglavlja, nadmašuje elektrostatsku silu u jezgri za više redova veličina te čini jezgru stabilnom tvorevinom.

Primjer 3

U jednom vrhu pravokutnika sa stranicama $a = 1 \text{ m}$ i $b = 0,5 \text{ m}$ nalazi se naboј $Q_1 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ C}$. U suprotnom (dijagonalnom) vrhu nalazi se naboј $Q_2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$. Koliki moraju biti naboјi u susjednim vrhovima da bi ukupna sila na naboј Q_1 bila jednaka nuli?

Rješenje:

Raspored naboјa je takav da se naboјi Q_1 i Q_2 odbijaju pa na Q_1 djeluje odbojna sila po iznosu jednak

$$F_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

gdje je d dijagonala pravokutnika $d = \sqrt{a^2 + b^2} = 1,12 \text{ m}$. Smjer odbojne sile F_{21} poklapa se sa smjerom dijagonale. Naboј Q_3 mora proizvesti privlačnu silu F_{31} , koja će poništiti horizontalnu komponentu sile F_{21} , odnosno:

$$F_{31} = F_h = F_{21} \cos \alpha = F_{21} \frac{a}{d} = 1,29 \text{ N},$$

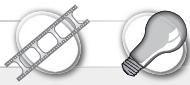
pa je naboј Q_3 jednak:

$$Q_3 = F_{31} \frac{a^2 \cdot 4\pi\epsilon_0}{Q_1} = -1,43 \cdot 10^{-5} \text{ C}.$$

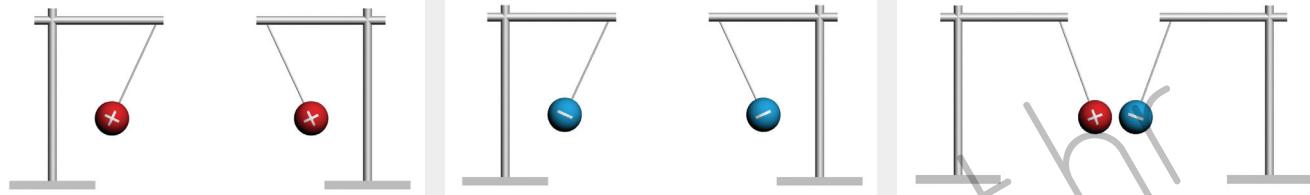
Na isti je način i naboј Q_4 jednak:

$$Q_4 = F_{41} \frac{b^2 \cdot 4\pi\epsilon_0}{Q_1} = -1,79 \cdot 10^{-6} \text{ C}.$$

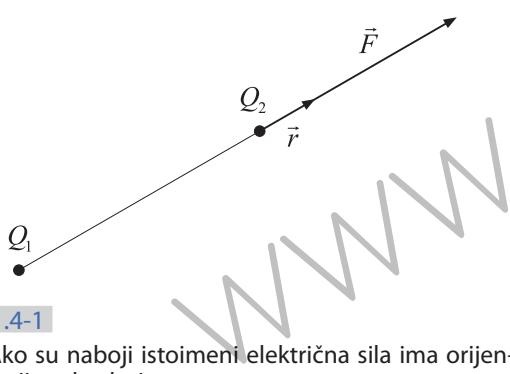
Animirani pokus



Raznoimeni naboji se odbijaju (pozitivni ili negativni), a istoimeni privlače.



1.4. Električno polje



1.4-1

Ako su naboji istoimeni električna sila ima orijentaciju od naboja

Prema ranijem opisu polja, sila na naboju Q_2 , doveden u područje naboja Q_1 , jednaka je

$$\vec{F}_{12} = Q_2 \vec{E}_1$$

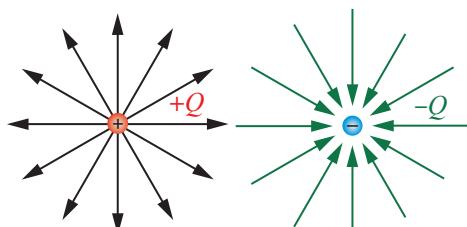
pa iznos vektora jakosti **električnog polja** stvorenog oko točkastog naboja Q_1 možemo napisati ovako:

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Q_1}{r^2}.$$

Na slici 1.4-1, gdje su nacrtana dva pozitivna točkasta naboja, prikazan je smjer sile kojom točasti naboj Q_1 djeluje na točasti naboj Q_2 . Vektor jakosti električnog polja ovisi o predznaku naboja. Uzeto je da je pozitivni naboj izvor električnog polja, a negativni naboj ponor (slika 1.4-2). Električno polje prikazujemo silnicama. Silnice su zamišljene linije koje pokazuju kako bi se pozitivni točkasti električni naboje gibao kada bismo ga stavili u električno polje.

S obzirom na to da je jedinica za silu njutn, jedinica za električno polje jednaka je omjeru jedinica za silu i za nabo, odnosno njutn/kulon.

Električno polje je vektorska veličina, svojstvo prostora koje izvire iz električnog naboja. Jedinica SI električnog polja je volt po metru (V/m).



1.4-2

Električno polje pozitivnog i negativnog naboja prikazano električnim silnicama. Dogovorno, silnice izviru iz pozitivnog naboja, a poniru ka negativnom naboju.

Napomena

Mjerna jedinica za jakost električnog polja je NC^{-1} ili Vm^{-1} .

Napomena

Točkasti naboje je idealizacija, jer znamo da su tijela rasprostranjena u prostoru. Kad bismo imali nabijeno tijelo određenog geometrijskog oblika, za nalaženje njegovog električnog polja bismo prvo morali zamisliti da smo tijelo podijelili na male djeliće i pronaći sve vektore električnog polja proizvedene djelićima, a zatim sve vektore zbrojiti po pravilu zbrajanja vektora. To je često jako zamršen problem pa su uvedene neke druge fizikalne veličine, iz kojih je moguće mnogo lakše riješiti važan problem nalaženja resultantnog vektora jakosti električnog polja za neko nabijeno tijelo. O njima ćemo govoriti u sljedećem odjeljku.

