

Elektricitet

3

- 3.1. Elektrostatika
- 3.2. Stalne struje
- 3.3. Elektromagnetizam
- 3.4. Izmjenične struje i naponi
- 3.5. Elektricitet – zadatci

3.1. Elektrostatika

Količina naboja iskazuje se jedinicom *kulon* (znak: C). Kulon je izvedena jedinica i jednak je umnošku ampera i sekunde: $C = As$. Električni naboji elementarnih čestica protona i elektrona tzv. *elementarni naboji* najmanje su količine naboja i označavaju se slovom e . Iznos elementarnog naboja (protona $+e$ i elektrona $-e$) je:

$$\pm e = \pm 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

Budući da su tvari sastavljene od atoma, naboj svakog tijela jednak je cjelobrojnomo višekratniku elementarnog naboja e .

Napomena: Za razliku od elektrona danas znamo da proton nije elementarna čestica, već je sastavljen od manjih čestica koje nazivamo kvarkovima. Eksperimentalno je pokazano da kvarkovi imaju naboj koji je manji od elementarnog naboja e . Tako je proton sastavljen od *kvarkova*: dva "u" kvarka i jednog "d" kvarka, dakle, "uud". Naboj "u" kvarka je $+2e/3$, a "d" kvarka $-e/3$. Ukupan naboj protona je: $2 \cdot \frac{2}{3}e + \left(-\frac{1}{3}e\right) = e$. Međutim, izravan eksperimentalni dokaz postojanja kvarkova kao slobodnih čestica još nije proveden, tako da možemo za sada smatrati e najmanjom količinom naboja.

Označimo li naboj tijela slovom Q , tada će za svako tijelo vrijediti:

$$Q = (N_p - N_e)e$$

pri čemu su N_p i N_e broj protona i elektrona koje tijelo sadrži. Broj N pripada skupu prirodnih brojeva, pa je općenito $N = 1, 2, 3 \dots$

Ako je $N_p = N_e$, tada je tijelo električki neutralno, pa je naboj tijela $Q = 0$.

Ako je $N_p > N_e$, tada je tijelo pozitivno nabijeno, pa je naboj tijela $Q > 0$.

Ako je $N_p < N_e$, tada je tijelo negativno nabijeno, pa je naboj tijela $Q < 0$.

Za nabijeno tijelo kažemo da ima manjak ili višak elektrona jer se nabijanje najčešće obavlja prijenosom elektrona. Obično se pri prikazu nabijenog tijela crta samo višak ili samo manjak elektrona. Budući da je naboj e najmanji mogući, tijelo može imati manjak ili višak od $1e, 2e, 3e, 4e$, odnosno makroskopski naboj tijela Q može biti samo cjelobrojni višekratnik elementarnog naboja e :

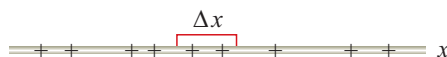
$$Q = N \cdot e.$$

Kažemo da je naboj *kvantiziran* jer se pojavljuje u cjelobrojnim nakupinama. Kažemo da je naboj očuvan i to svojstvo iskazujemo univerzalnim *zakonom o očuvanju naboja*: *Ukupni električni naboj zatvorenog sustava ostaje stalan bez obzira na to kakva se električna međudjelovanja događaju unutar sustava.*

Napomena: U nekim procesima, primjerice pri jakim sudarima, naboji mogu nastati ili nestati, ali samo u parovima. Tako je danas poznato da elektromagnetsko zračenje koje nema naboja, u blizini jezgre atoma, može stvoriti par čestica pozitron (tzv. antičestica elektrona) i elektron. Te dvije čestice su jednake, osim što pozitron ima naboj $+e$, dok elektron ima naboj $-e$, pa je ukupan tako "stvoreni" naboj jednak nuli. Taj proces naziva se procesom *stvaranja parova*. Isto tako, pri sudaru tvornih čestica, primjerice elektrona i pozitrona, nastaje elektromagnetsko zračenje koje nema naboja. Takav proces nestajanja tvornih čestica i njihove pretvorbe u zračenje nazivamo *anihilacijom*.

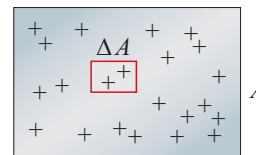
Ovisno o objektu po kojem je naboj raspoređen, govorimo o različitim gustoćama naboja:

Linijaska gustoća naboja λ : Ako je naboj raspoređen po štapu čije se ostale dimenzije mogu zanemariti prema njegovoj duljini, govorimo o linijskoj raspodjeli naboja λ .

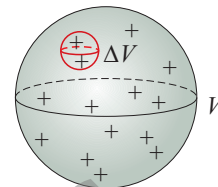


Ona se definira kao omjer male količine naboja ΔQ i male duljine Δx na kojoj možemo smatrati da je gustoća naboja konstantna: $\lambda = \frac{\Delta Q}{\Delta x}$. Iskazuje se jedinicom C/m. Ako su naboji jednoliko raspoređeni duž cijele duljine x ($\lambda = \text{konstantno}$), jednadžba prelazi u $\lambda = Q/x$.

Plošna gustoća naboja σ : Promotrimo naboj raspoređen po ploči površine A zanemarive debljine. Odaberemo li dovoljno mali element površine ΔA na kojem smatramo da je naboj jednoliko raspoređen, definiramo plošnu raspodjelu naboja σ relacijom: $\sigma = \frac{\Delta Q}{\Delta A}$. Iskazuje se jedinicom C/m^2 . Ako su naboji jednoliko raspoređeni po cijeloj površini A ($\sigma = \text{konstantno}$), jednačba prelazi u $\sigma = Q/A$.



Prostorna gustoća naboja ρ : Prostorna gustoća naboja definira se kao omjer naboja ΔQ i volumena ΔV na kojem smatramo da je raspodjela naboja konstantna: $\rho = \frac{\Delta Q}{\Delta V}$. Iskazuje se jedinicom C/m^3 . Ako su naboji jednoliko raspoređeni po cijelom volumenu V ($\rho = \text{konstantno}$), jednačba se može zapisati kao $\rho = Q/V$.



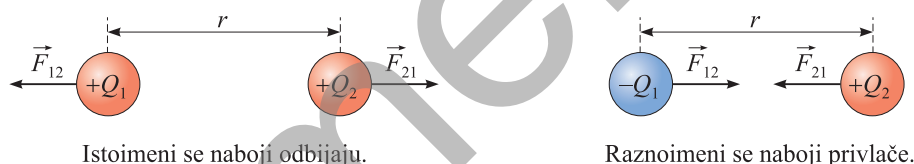
Coulombov zakon

Pod točkastim nabojima podrazumijevamo naboje čije dimenzije možemo zanemariti prema njihovim međusobnim udaljenostima. Pokusi pokazuju da je elektrostatska sila F kojom se točkasti naboji privlače (ili odbijaju) direktno proporcionalna količinama naboja Q_1 i Q_2 , a obrnuto proporcionalna kvadratu njihove međusobne udaljenosti r . Smjer sile je u smjeru spojnice tih dvaju naboja. Sila je jednaka:

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

Konstanta proporcionalnosti k ovisi o sustavu jedinica i mediju koji okružuje naboje. Za vakuum je:

$$k \equiv k_0 \approx 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2.$$



Naboji se mogu nalaziti i u sredstvu (izolatoru). Tada sila međudjelovanja ovisi o sredstvu i manja je od sile među nabojima u vakuumu. Coulombov zakon u SI sustavu jedinica tada se zapisuje kao:

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

Ovdje su:

Q_1, Q_2 = količine točkastih naboja

r = udaljenost između naboja

ϵ_0 = permitivnost vakuum (dielektrična konstanta vakuum), $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$

ϵ_r = relativna permitivnost (relativna dielektrična konstanta) – ovisi o sredstvu u kojem se nalaze naboji. To je broj bez dimenzije koji pokazuje koliko je puta manja sila F ako se naboji nalaze u sredstvu od sile u vakuumu.

Umnožak permitivnosti vakuum i relativne permitivnosti nazivamo apsolutnom permitivnošću i označavamo slovom ϵ . Dakle, apsolutna permitivnost je: $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$. Za rješavanje zadataka praktično je konstantu proporcionalnosti $1/4\pi\epsilon_0\epsilon_r$ prikazati u obliku: $k = \frac{k_0}{\epsilon_r}$ pri čemu je $k_0 \approx 9 \cdot 10^9 \text{ C}^{-2}\text{Nm}^2$, pa se Coulombov zakon može izraziti kao: $F = \frac{k_0}{\epsilon_r} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$. Coulombov zakon vrijedi u golemom rasponu udaljenosti od atomnih do svemirskih veličina.



Električno polje

Općenito je svaki naboj okružen električnim poljem. Ako se naboj giba, s njime se pomiče i njegovo polje. Osjetilima ne možemo neposredno opažati električno polje, već o njemu doznajemo samo po učincima na naboje na koje polje djeluje silom. Električno polje nepomičnih naboja nazivamo *elektrostatičkim poljem*. Elektrostatička polja se u granicama točnosti mjerenja ne mijenjaju tijekom vremena. Električno polje je prostor oko električki nabijenih tijela u kojem se očituje djelovanje sile. To je vektorsko polje. Svakoju točki prostora možemo pridružiti vektor jakosti električnog polja $\vec{E}$ definiran kao omjer sile $\vec{F}$ i probnog naboja q :

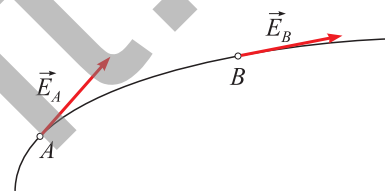
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

Po dogovoru probni naboj q ima pozitivan predznak. Jakost električnog polja iskazuje se jedinicom njutn po kulonu, tj. N/C ili kao što će kasnije biti objašnjeno, volt po metru (V/m). Te su jedinice ekvivalentne, tj. vrijedi: N/C = V/m.

Električna sila koja djeluje na probni naboj q mijenja se od točke do točke u prostoru. Svakoju točki prostora pridružen je jedan vektor jakosti električnog polja $\vec{E}$. Kako zorno prikazati takav skup vektora? Električno polje može se opisati modelom silnica.

Silnice su geometrijske konstrukcije kojima opisujemo polje. Zovemo ih i linije polja.

- Silnice su zamišljene crte čije tangente u svakoj točki prostora pokazuju smjer vektora električnog polja.
- Električne silnice otvorene su crte koje imaju izvor u pozitivnom naboju, a ponor u negativnom naboju.
- One se ne mogu sjeći jer bi to značilo da u jednoj točki prostora imamo više smjerova električnog polja.



Homogeno električno polje

Ako u svakoj točki prostora na probni naboj djeluje sila jednake jakosti i smjera, dobivamo homogeno električno polje. Takva se polja, primjerice, pojavljuju između dviju usporednih metalnih ploča nabijenih jednakim količinama naboja suprotna predznaka. Homogeno polje prikazujemo linijama koje su usporedne i jednako razmaknute.

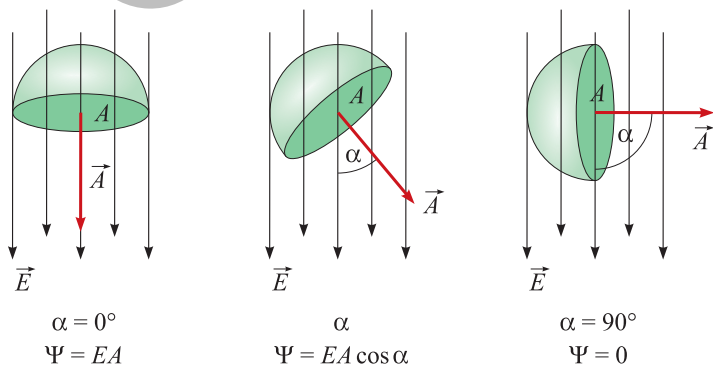
Električno polje točkastog naboja

Odredimo jakost električnog polja točkastog naboja Q . Probni naboj označimo slovom q . Između tih dvaju naboja sila iznosi: $F = k \frac{Qq}{r^2}$. Uvrštavanjem sile u definicijsku jednadžbu za jakost električnog polja $E = F/q$ polja, dobivamo za jakost električnog polja točkastog naboja Q jednadžbu:

$$E = k \frac{Q}{r^2} \quad \text{ili} \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r^2}.$$



Tok električnog polja



Promotrimo homogeno elektrostatičko polje jakosti E u kojem se nalazi ravna ploha površine A , koja s obzirom na smjer silnica obaju polja može stajati pod različitim kutovima α .

Definirajmo vektor površine $\vec{A}$. To je vektor koji je okomit na plohu i ima dvojaku orijentaciju (pozitivan je kad izlazi iz volumena obuhvaćenog nekom plohom, dok je pri ulasku u taj volumen negativan), a veličina mu je

određena veličinom površine na koju je okomit. Kut α je kut između vektora površine $\vec{A}$ i vektora polja $\vec{E}$. S obzirom na položaj plohe u polju razlikujemo dva krajnja slučaja:

1. Kada je tok najveći ($\alpha = 0^\circ$), silnice probadaju okomito danu površinu.
2. Kada je tok jednak nuli ($\alpha = 90^\circ$), silnice polja uopće ne probadaju površinu.

Vidimo da je “probadanje” jače kad je kut α manji. Tok polja (znak: Ψ) to je veći što više nacrtanih silnica probada zadanu površinu A . Kad je površina tako postavljena da ju niti jedna silnica ne probada, tada je tok jednak nuli. Tok polja Ψ kroz površinu A je umnožak između modula vektora $\vec{E}$ i vektora površine $\vec{A}$ te kosinusa kuta α što ga čine ta dva vektora. Takav umnožak dvaju vektora naziva se skalarni umnožak jer kao rezultat njihova množenja dobivamo skalarnu veličinu. Dakle, kroz zadanu površinu A tok električnog polja je:

$$\Psi = \vec{E} \cdot \vec{A} = E \cdot A \cos \alpha.$$

Tok električnog polja iskazujemo jedinicom: $\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}$ ili $\text{V} \cdot \text{m}$.

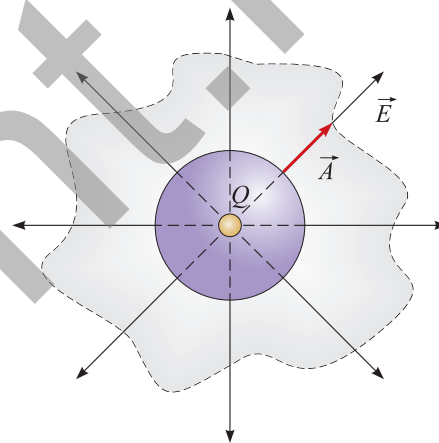


Gaussov zakon

Gaussov zakon dat će nam vezu između električnog polja i naboja koji to polje proizvodi, pa ćemo pomoću njega moći izraziti jakost nekih tipičnih električnih polja. Koristeći se Coulombovim zakonom, nalazimo električno polje ako je poznata raspodjela naboja, dok po Gaussovu zakonu iz poznate raspodjele električnog polja zaključujemo o razdiobi naboja. Promotrimo električno polje točkastog naboja. Sa slike vidimo da je tok električnog polja isti kroz kuglu i kroz bilo koju zatvorenu plohu (prikazano crtano) kojom je naboj Q obuhvaćen. Broj nacrtanih silnica koje probadaju obje plohe je jednak.

Gaussov zakon glasi: *Tok električnog polja kroz bilo koju zatvorenu plohu proporcionalan je sumi naboja obuhvaćenih tom plohom i jednak je:*

$$\Psi_{\text{zat. pov.}} = \frac{\sum Q_{\text{obuhv.}}}{\epsilon_0}.$$



Napon u homogenom električnom polju

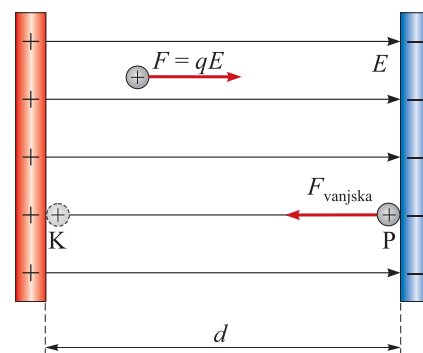
Na naboj $+q$ djeluje homogeno električno polje jakosti E stalnom silom $F = qE$. Naboj premještamo iz točke P u točku K homogenog električnog polja. Pritom vanjska sila $F_{\text{vanjska}} = -qE$ obavlja rad. Promjena električne potencijalne energije jednaka je radu vanjskih sila:

$$\Delta E_{\text{pot}} = -W \equiv -(-F) \cdot d \equiv qEd.$$

Budući da je $U = \Delta E_p/q$, dobivamo: $U = \frac{qEd}{q}$, pa je napon jednak:

$$U = Ed.$$

Stoga se jakost električnog polja iskazuje i jedinicom V/m .



Potencijal

Zamislimo da probni naboj $+q$ želimo dovesti iz beskonačnosti u neku točku električnog polja koje stvara metalna kugla polumjera R nabijena nabojem $+Q$. Unutar kugle nema polja. Pritom moramo savladavati odbojnu silu između tih dvaju naboja koja postaje to veća što su naboji bliži (polje je sve jače), dakle moramo obavljati rad. Što je veći naboj $+q$ koji “guramo”, odbojna sila je veća, pa je i rad veći. Ukupan rad dobijemo tako da zbrojimo sve radove $\Delta W = F \cdot \Delta r$.

Potencijal φ jednak je radu W koji je potrebno obaviti da probni naboj q iz beskonačnosti, gdje je sila jednaka nuli, dovedemo u neku točku električnog polja:

$$\varphi = \frac{W_{\infty \rightarrow r}}{q}.$$

Potencijal također iskazujemo jedinicom volt. Jakost električnog polja jednaka je po iznosu sili na probni naboj $E = F/q$, pa će osjenčana površina u E - r dijagramu predstavljati potencijal. Dogovorno je uzeto da je potencijal u beskonačnosti jednak nuli. Napon U između dviju točaka električnog polja jednak je radu koji je potrebno obaviti da probni naboj q dovedemo iz jedne točke (koordinate r_1) električnog polja u drugu (koordinate r_2):

$$U = \frac{W_{r_1 \rightarrow r_2}}{q}.$$

Napon U možemo iskazati kao razliku potencijala: $U = \varphi_1 - \varphi_2$.

Potencijal prema beskonačnosti na udaljenosti r od točkastog naboja Q jednak je:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} \quad \text{ili} \quad \varphi = k \frac{Q}{r}$$

gdje je $k = 1/4\pi\epsilon_0$.

Iz definicijske jednadžbe za napon možemo izračunati rad W koji je potrebno uložiti da naboj q premjestimo iz jedne točke električnog polja točkastog naboja Q ($r = r_2$) u drugu točku električnog polja ($r = r_1$).

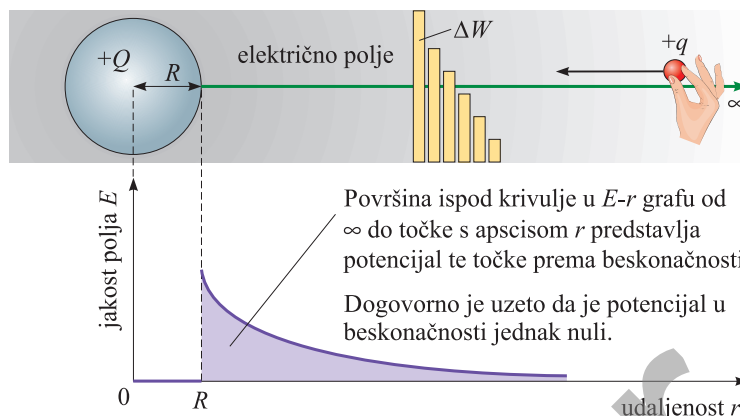


$$W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} Q \cdot q \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad \text{ili} \quad W = kQq \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

Potencijal metalne kugle polumjera R : Metalna kugla polumjera R nabijena je količinom naboja Q . Potencijal kugle je: $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{R}$. Ako je $r > R$, kugla se ponaša kao točkasti naboj kada se nalazimo na udaljenostima većim od polumjera kugle, dok je unutar kugle potencijal konstantan.

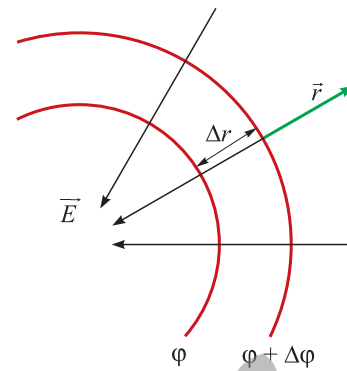
Veza između jakosti električnog polja i potencijala

Ako u električnom polju spojimo sve točke istog potencijala, dobivamo *ekvipotencijalne plohe*. Njih je beskonačno mnogo, ali je uobičajeno označiti samo neke od njih, na primjer one čiji se potencijali međusobno razlikuju za neku usvojenu vrijednost (primjerice za 1 V). U bilo kojoj točki ekvipotencijalne plohe naboj ima istu potencijalnu energiju, pa se pomicanjem naboja po ekvipotencijali *ne obavlja rad*. Iz toga se može zaključiti da silnice električnog polja moraju biti okomite na ekvipotencijalne plohe. Općenito, ekvipotencijalne plohe za istu razliku potencijala nisu ekvidistantne, nego su gušće ako je polje jače, a rjeđe ako je slabije jer se pri većoj gustoći ploha brže mijenja potencijal. Budući da je potencijal skalarna veličina, često je jednostavnije računati potencijal, nego određivati jakost električnog polja koje je vektorska veličina.



Promotrimo proizvoljno električno polje $\vec{E}$ i označimo dvije vrlo bliske ekvipotencijalne plohe koje se razlikuju za potencijal $\Delta\varphi$. Neka je $\Delta\varphi > 0$, tj. krećimo se u smjeru rastućeg potencijala. Povucimo okomicu $\vec{r}$ prema rastućem potencijalu. Označimo s Δr razmak između ekvipotencijalnih ploha. Za tako bliske plohe možemo smatrati da se jakost električnog polja u prostoru između ploha ne mijenja, odnosno da je $\vec{E} = \text{konst.}$ Za rad ΔW pri pomicanju naboja $+q$ od plohe potencijala φ do plohe potencijala $\varphi + \Delta\varphi$ možemo pisati:

$$\Delta W = F \Delta r = Eq \Delta r. \quad (1)$$



Izraz za rad možemo također izraziti pomoću napona, tj. razlike potencijala:

$$\Delta W = Uq = [\varphi - (\varphi + \Delta\varphi)]q$$

odnosno:

$$\Delta W = -q\Delta\varphi. \quad (2)$$

Ako izjednačimo izraze (1) i (2), dobivamo:

$$E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta r}.$$

Veličina $\Delta\varphi/\Delta r$ pokazuje promjenu potencijala u smjeru okomice i zove se *gradijent* potencijala. Negativni predznak dolazi zbog toga što su $\vec{E}$ i $\vec{r}$ suprotno orijentirani. Kada je promjena potencijala $\Delta\varphi$ veća za što manji Δr , tada je električno polje jače, pa možemo nacrtati “gušće” ekvipotencijalne plohe.



Gibanje nabijene čestice u homogenom električnom polju

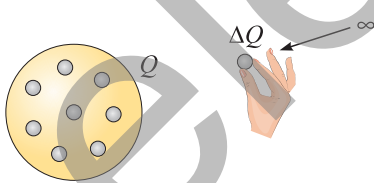
U električnom polju na nabijenu česticu naboja Q djeluje sila $\vec{F} = Q\vec{E}$ gdje je $\vec{E}$ jakost električnog polja u točki polja gdje se čestica nalazi. Prema Newtonovu zakonu gibanja sila je jednaka umnošku mase i akceleracije, tj. $\vec{F} = m\vec{a}$. Uvrstimo li taj izraz u izraz za električnu silu, dobijemo $m\vec{a} = Q\vec{E}$, pa je akceleracija nabijene čestice:

$$\vec{a} = \frac{Q\vec{E}}{m}.$$



Kapacitet

Promotrimo proces prenošenja naboja s jednog tijela na drugo. Neka su tijela jako udaljena pa je utjecaj jednog tijela na drugo zanemariv.



Određenu količinu naboja ΔQ postupno prenosimo na tijelo obavljajući rad. U nekom trenutku na tijelu imamo naboj Q koji je jednak zbroju svih prenesenih naboja ΔQ . Naboj i potencijal svakog izoliranog vodiča međusobno su proporcionalni. Što se više naboja nalazi na vodiču to je njegov potencijal veći. Dakle, naboj vodiča razmjernan je potencijalu, tj. $Q \propto \varphi$.

Uvedemo li konstantu proporcionalnosti C koju nazivamo kapacitetom vodiča, možemo zapisati $Q = C\varphi$. Taj zaključak vrijedi za svaki izolirani vodič bez obzira na njegov oblik i veličinu. Kapacitet vodiča C količnik je njegova naboja Q i potencijala φ :

$$C = \frac{Q}{\varphi}.$$

Dva vodiča nabijena količinama naboja suprotnih predznaka i razdvojena izolatorom (dielektrikom) ili vakuumom nazivamo *kondenzatorima*, a površine vodiča na kojima se nalaze naboji $+Q$ i $-Q$ nazivamo armaturama kondenzatora. U kondenzatorima se mogu uskladištiti električni naboji. Električni kapacitet kondenzatora pokazuje koliku količinu naboja Q možemo uskladištiti na njegove armature ako između njih postoji napon U . Što je više naboja na armaturama, to je napon veći, dakle, $Q = CU$. Kapacitet kondenzatora iskazujemo jednakžbom:

$$C = \frac{Q}{U}.$$

Mjerna jedinica za kapacitet je farad (znak: F). Ako se pri dovođenju naboja od 1 C potencijal vodiča poveća za 1 V, tada vodič ima kapacitet od 1 F. Dakle, farad je omjer kulona i volta: $F = C/V$.

Kapacitet C metalne kugle polumjera R iznosi: $C = 4\pi\epsilon_0 R$ ili $C = R/k$.

Kapacitet pločastog kondenzatora površine ploča A razmaknutih za d , u kojem je dielektrik relativne permitivnosti ϵ_r , iznosi:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}.$$



Spajanje kondenzatora

a) Serijsko spajanje

Naboj na kondenzatorima je jednak:

$$Q_1 = Q_2 = Q_{\text{ekv}}.$$

Općenito, kapacitet C n serijski spojenih kondenzatora možemo izračunati prema formuli:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$

Recipročna vrijednost kapaciteta ekvivalentnog kondenzatora jednaka je zbroju recipročnih vrijednosti kapaciteta svakog pojedinog kondenzatora.

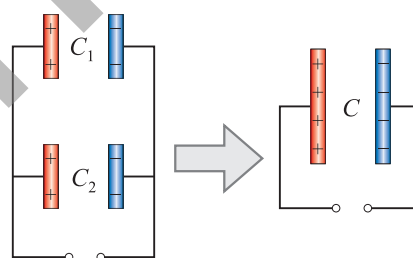
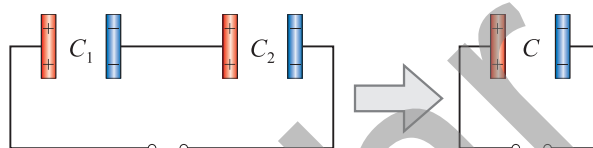
b) Paralelno spajanje

Kod paralelnog spoja je napon U na svim kondenzatorima jednak, odnosno: $U_1 = U_2 = U$.

Općenito, za n paralelno spojenih kondenzatora možemo zapisati:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n.$$

Kapacitet ekvivalentnog kondenzatora jednak je zbroju kapaciteta svakog pojedinog kondenzatora.



Energija sadržana u kondenzatoru

Energija W elektrostatičkog polja sadržana u kondenzatoru kapaciteta C , napona U i naboja Q je:

$$W = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}U^2C.$$

Gustoća energije w je energija W pohranjena u jedinici volumena V električnog polja E te se definira kvocijentom $w = \frac{W}{V}$, pa je gustoća energije $w = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2$. Izraz za gustoću energije neovisan je o geometrijskim veličinama, već samo ovisi o kvadratu jakosti električnog polja, pa taj izraz vrijedi općenito za bilo koje električno polje.

3.2. Stalne struje

Električna je struja usmjereno gibanje slobodnih nosioca naboja. Jakost električne struje I jednaka je količini naboja ΔQ koja prođe kroz presjek vodiča A u vremenskom intervalu Δt .

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}.$$

Jakost električne struje mjeri se amperom (znak: A). Amper je osnovna jedinica SI sustava, pa se jedinica količine naboja kulon iskazuje kao $C = As$. Ako je jakost struje stalna, pišemo: $I = Q/t$. Ako postoji razlika