

POJAVE U ELEKTRIČNOM POLJU



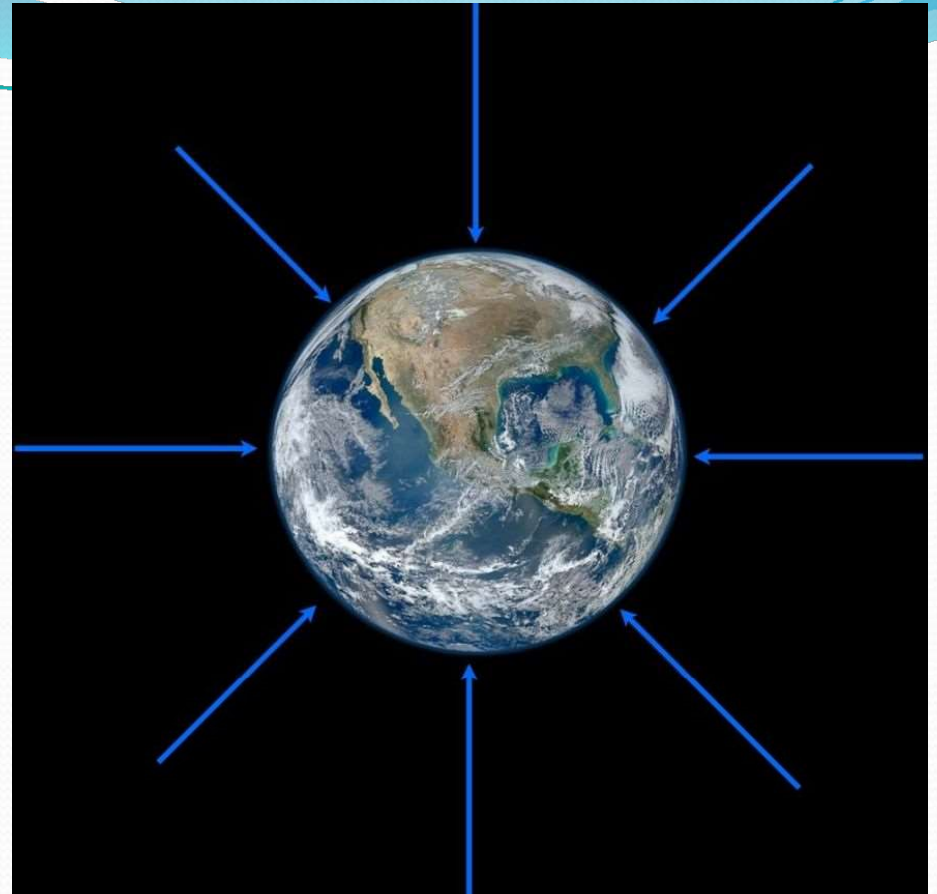
Što ćemo učiti

- Električno polje
- Veličine u električnom polju
- Kondenzatori
- Vrste kondenzatora
- Spajanje kondenzatora

ELEKTRIČNO POLJE

UVOD

- Što prikazuje slika?
 - GRAVITACIJSKO POLJE
- Koja su svojstva gravitacijskog polja?



- Gravitacijsko polje je prostor u kojem se očituje djelovanje gravitacijske sile.
- Uzrok pojavi gravitacijskog polja je tijelo koje ima masu.
- Gravitacijsko međudjelovanje uvijek je privlačno.
- Zemlja je sfernog oblika, radi se o sferno simetričnom ili radijalnom polju.
- Gravitacijske silnice poniru, usmjerene su uvijek prema središtu Zemlje.
- Gustoća gravitacijskih silnica pokazuje jakost gravitacijskog polja.



UVOD

- Na početku godine učili smo o IONIMA.
- Vidjeli smo da elektrizirana tijela međudjeluju, privlače se i odbijaju, a da pritom nije nužno da ima izravnog kontakta među njima.
- Dva elektrizirana tijela su međusobno djelovala na daljinu. Kako?
- Pretpostavljate li što je izvor električnog polja?
 - **Izvor električnog polja je električki nabijeno tijelo.**

ELEKTRIČNI NABOJI

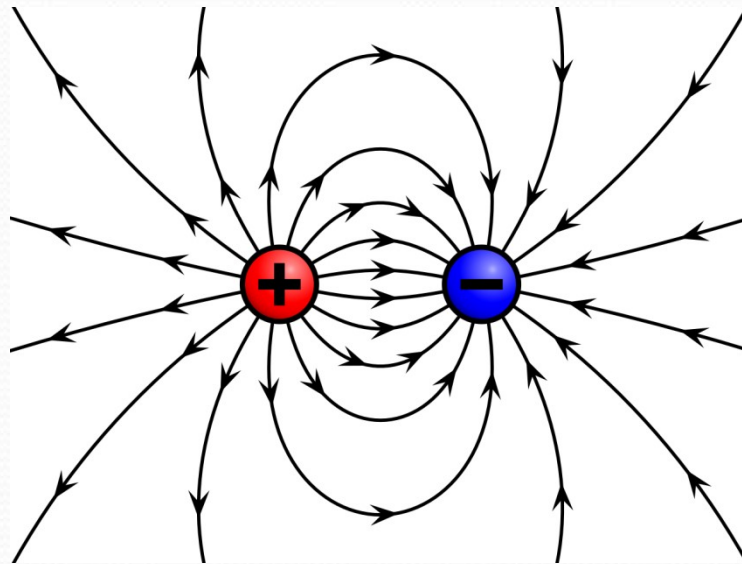
- **Električni naboj ili količina elektriciteta (Q)**
 - fizikalna veličina koja opisuje temeljno svojstvo čestica koje uzajamno djeluju električnim silama.
- Postoje dvije vrste električnoga naboja:
 - pozitivni,
 - negativni,
 - oni su po svojim učincima suprotni.
- Čestice ili fizikalna tijela nabijena istoimenim električnim nabojem međusobno djeluju odbojnom silom.
- Čestice ili tijela nabijena raznoimenim električnim nabojem se privlače.

ELEKTRIČNI NABOJI

- Električki nabijene čestice u mirovanju stvaraju **električna polja.**
- Električki nabijene čestice u gibanju stvaraju
 - električna,
 - elektromagnetska
 - magnetska polja.
- Atomi su, kao i većina stvari na zemlji električni neutralni.
- Tvari postaju električki nabijene kad se elektroni izdvoje iz atoma.
- Nositelji negativnog električnog naboja su elektroni.
- Nositelji pozitivnog električnog naboja su protoni.

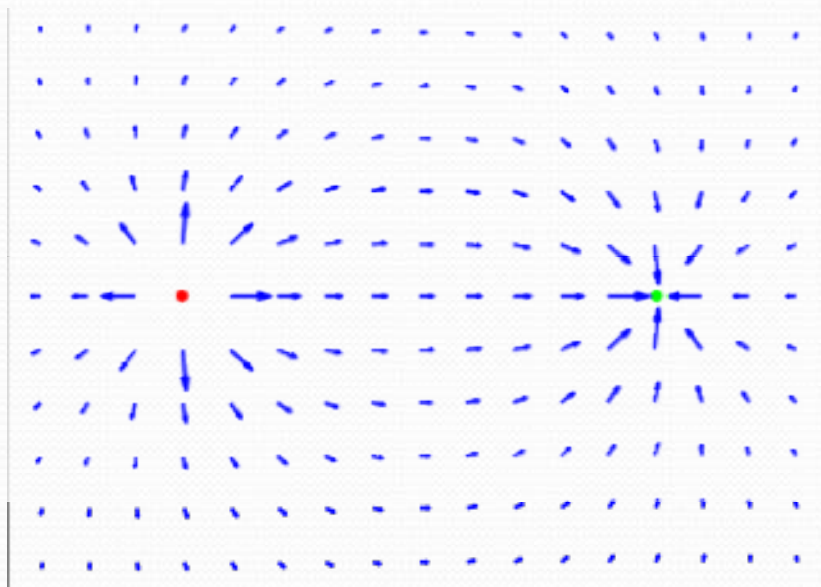
ELEKTRIČNO POLJE

- Oko električnog naboja postoje sile koje djeluju na druge električne naboje:



- Dio prostora oko električnog naboja, u kojem se može dokazati postojanje sila koje djeluju na druge naboje zove se **električno polje**.

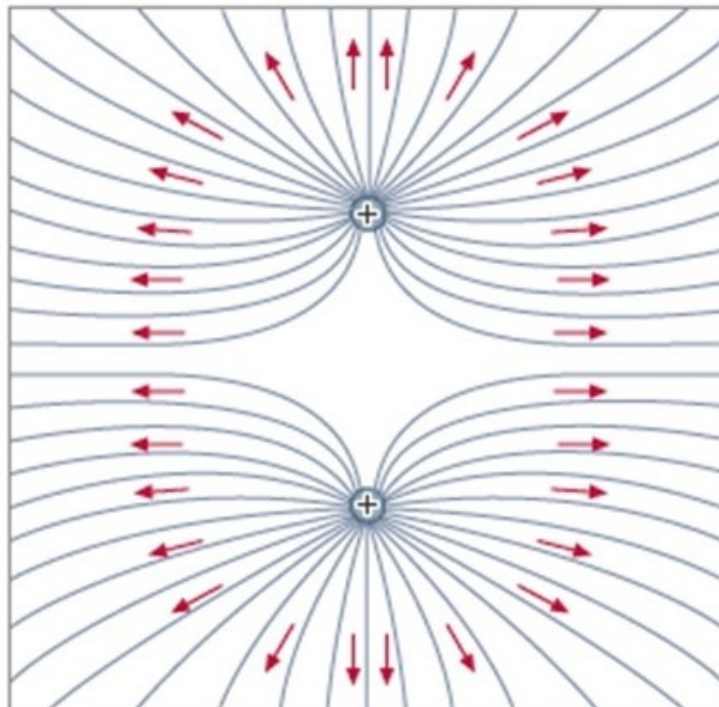
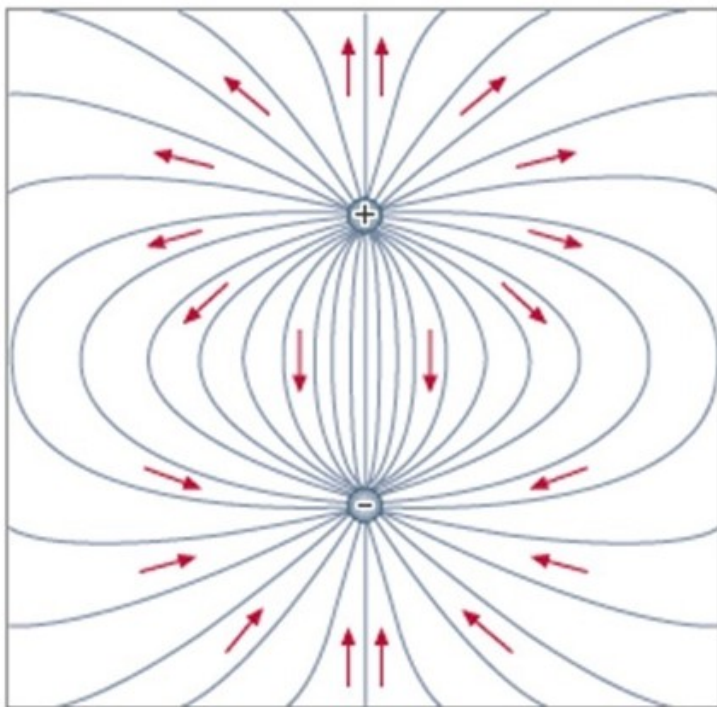
ELEKTRIČNO POLJE



- Smjer i veličinu djelovanja sila u električnom naboju prikazujemo strelicama koje zovemo **električne silnice**.
- Dogovorom je određeno da električne silnice uvijek imaju smjer od pozitivnog prema negativnom naboju.
- Električne silnice stoje uvijek okomito na površinu tijela.

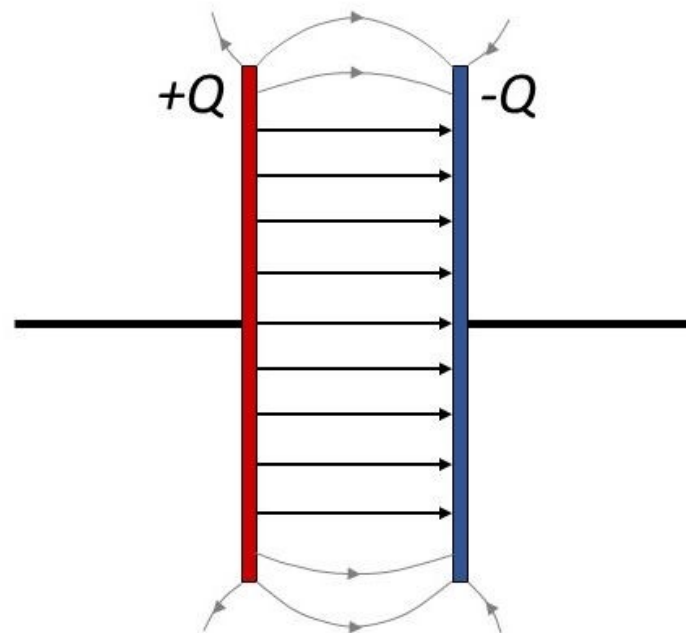
ELEKTRIČNO POLJE

- Električni nabijene kugle imaju radijalan smjer.
- Kod ovakvih tijela prostor između dvije nabijene kugle ili valjka nije u svakoj točki jednak.
- Stoga i djelovanje sila u različitim točkama nije jednako.
- Ovakvo polje zovemo **nehomogeno električno polje**.



ELEKTRIČNO POLJE

- Ako imamo dvije paralelne električni nabijene ploče, prostor između njih je jednak.
- Stoga će i gustoća silnica između njih na svakom mjestu između ploča biti jednaka.
- Takvo električno polje jest **homogeno električno polje**.



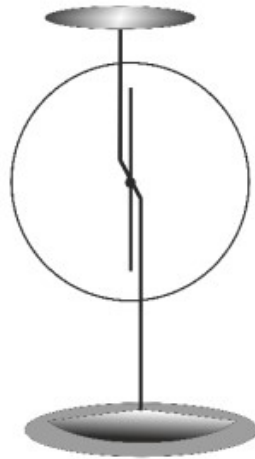
ELEKTROSKOP

- Elektroskop je uređaj ili mjerni instrument kojim se može pokazati je li neko tijelo električki nabijeno.



- Sastoji se od:
 - Kućišta (većinom metalnog)
 - Metalne šipke izvan kućišta koja
 - Na jednom kraju ima metalnu kuglu ili pločicu
 - Na drugom kraju obješena dva tanka metalna listića
 - Šipka je na kućište pričvršćena izolatorom

ELEKTROSKOP



- Ako se kuglica elektroskopa dodirne nekim naelektriziranim tijelom, šipka će se nabiti električnom, pa i listići na njezinu kraju.
- Budući da su listići nabijeni istom vrstom električnosti, međusobno će se odbijati i razmaknuti.
- Razmak listića to je veći što je veća količina naboja dovedena na kuglicu elektroskopa.

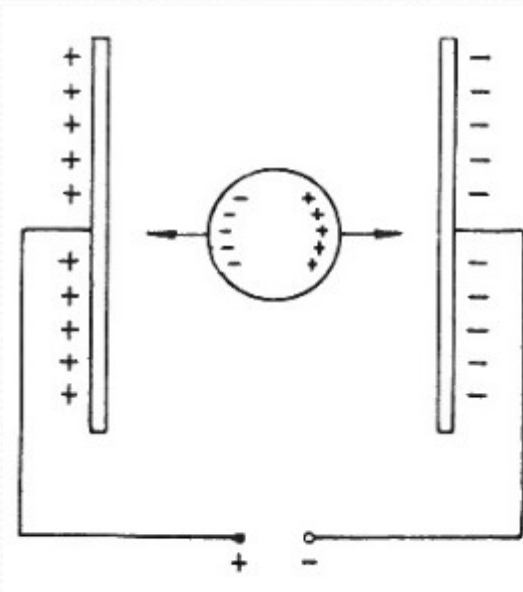
ELEKTROMETAR

- U praktičnoj su upotrebi danas elektroskopi s umjerenom (baždarenom) skalom otklona, na kojoj se direktno čita **napon**.
- Takvi elektroskopi zovu se **elektrometri** ili **elektrostatski voltmetri**.
- Zbog velike osjetljivosti elektrometri se upotrebljavaju kao dozimetri za mjerenja u nuklearnoj fizici (ionizacija), a i za mjerenja vrlo visokih napona.



ELEKTRIČNA INFLUENCIJA

- Električno polje djeluje i na laka električni nenabijena tijela.



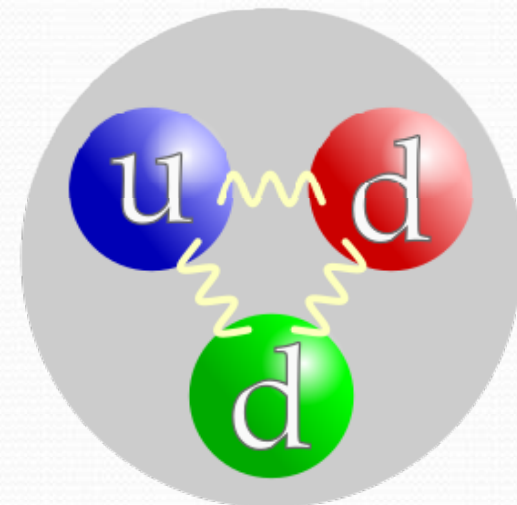
- Na primjeru vidimo da je kuglica postala s jedne strane električni negativna a sa druge električni pozitivna.
- Što će se dogoditi ako kuglica nije točno u centru između ploča?

ELEKTRIČNA INFLUENCIJA

- **Električna influencija (električna pobuda ili elektrostatička indukcija)** je pomicanje, razdvajanje i preraspodjela električnih naboja na vodljivom, izvorno neutralnome tijelu koje se nalazi u električnom polju.
- Posljedica je sile električnog polja.
- Za što možemo koristiti pojavu influencije?
 - Za zaštitu od električnog polja.

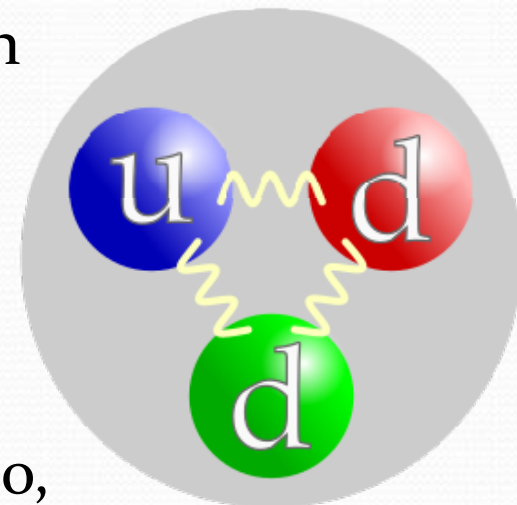
KVARKOVI

- Električni naboji tijela uvijek su višekratnici elementarnog električnog naboja
 $e = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
- Jedine do danas poznate čestice koje mogu imati električni naboj manji od naboja elektrona su **kvarkovi**.
- Prije vjerovalo da je atom osnovna građevna jedinica materije, a zatim je otkriveno da se sastoji od još elementarnijih čestica: elektrona, protona i neutrona.
- Proton se sastoji od dva gornja i jednog donjeg kvarka, a neutron od dva donja i jednog gornjeg kvarka.



KVARKOVI

- Do otkrića kvarkova, fizičari su smatrali da električni naboj može biti samo cjelobrojni višekratnik elementarnog naboja.
- Tako elektron ima električni naboj $-e$, proton $+e$
- Kvarkovi, ovisno o vrsti, imaju samo dio elementarnog naboja: $+2/3e$ ili $-1/3e$.
- No, budući da kvarkovi ne postoje samostalno, već dolaze uvijek u kombinaciji dva ili tri kvarka, u prirodi nikad nije zapaženo postojanje čestice s nabojem manjim od jednog elementarnog naboja.



JOŠ NEKE SUBATOMSKÉ ČESTICE

- Hadroni
- Gluoni
- Bozoni
- Leptoni
- Fotoni

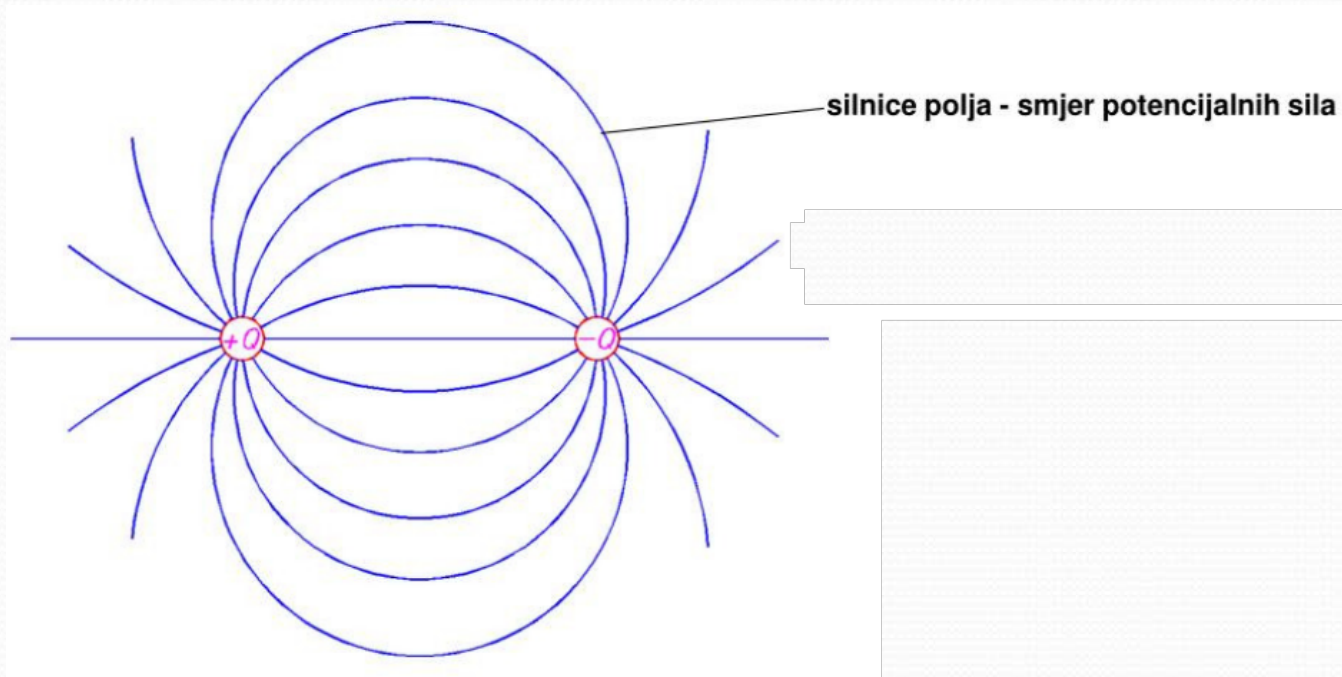
VELIČINE U ELEKTRIČNOM POLJU

VELIČINE U ELEKTRIČNOM POLJU

- Svojstva električnog polja mogu se uočiti mjerenjem različitih veličina u tom polju
- Te su veličine:
 - Jakost električnog polja
 - Potencijal polja
 - Gustoća električnog toka
 -

JAKOST ELEKTRIČNOG POLJA

- Što je električno polje?
 - Prostor oko nabijenog tijela u kojem djeluju električne sile.
 - Električno polje je posrednik međudjelovanja električnih naboja.



JAKOST ELEKTRIČNOG POLJA

- Što je elementarni naboj?
 - Elementarni naboj (oznaka e) temeljna je fizikalna konstanta koja predstavlja najmanju količinu slobodnog električnog naboja u prirodi, jednaku apsolutnoj vrijednosti naboja elektrona ili protona.
 - $e \approx 1,602 \times 10^{-19}$
 - Elektron ima naboj $-e$, a proton $+e$
 - Kvantizacija: električni naboj tijela uvijek je cijeli broj pomnožen s e

JAKOST ELEKTRIČNOG POLJA

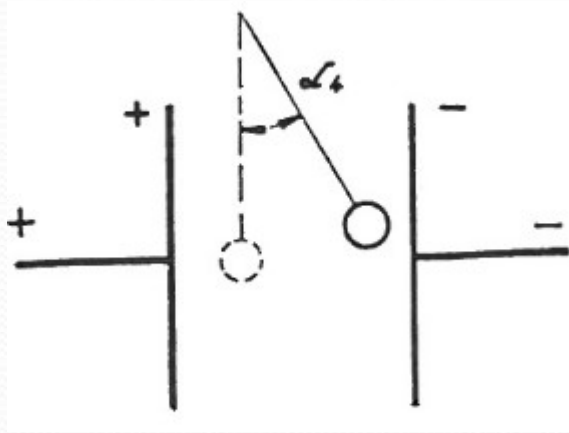
- **Jakost električnog polja (E)** je vektorska fizikalna veličina koja opisuje djelovanje električne sile F na česticu električnog naboja Q .

$$E = \frac{F}{Q}$$

- Mjerna je jedinica jakosti električnoga polja volt po metru (V/m) ili njutn po kulonu (N/C).
- Jakost je veća što je bliže nabijenom tijelu, a smanjuje se s udaljenošću.
- Udaljavanjem od točkastog naboja, jakost polja opada kvadratno s udaljenošću.

JAKOST ELEKTRIČNOG POLJA

- Sile u električnom polju



- Sila kojom električno polje djeluje na električno tijelo ne ovisi samo o jakosti polja nego i o veličini naboja na tom tijelu.

$$\mathbf{F} = \mathbf{E} * \mathbf{Q}$$

- F – sila koja djeluje na tijelo (N)
- E – jakost električnog polja (V/m)
- Q – naboj tijela (C)



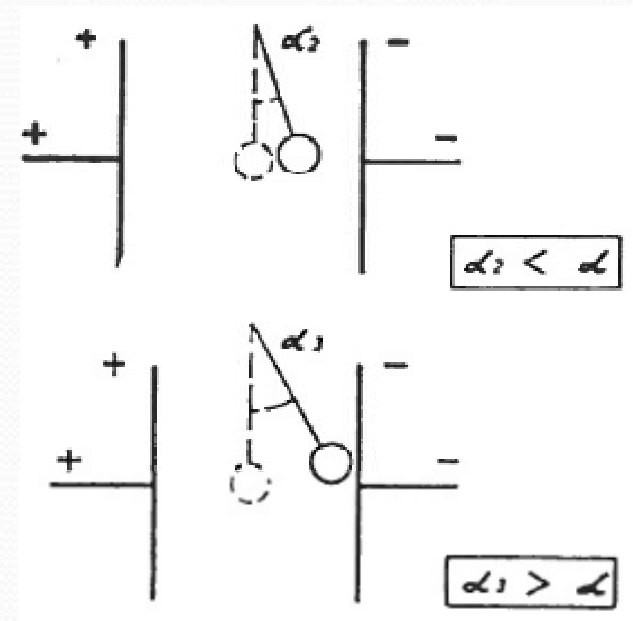
JAKOST ELEKTRIČNOG POLJA

ZADACI:

1. Na naboj od $2 \cdot 10^{-7}$ C djeluje sila od 0,015N. Kolika je jakost polja?
2. Kolika je sila koja djeluje na naboj od $2 \cdot 10^{-3}$ C u električnom polju od 60000 N/C?
3. Koliki je naboj ako u električnom polju od 50000 N/C na njega djeluje sila od 0,01 N?

JAKOST ELEKTRIČNOG POLJA

- Djeluje li električno polje u svakoj točki jednakom silom na isto električno tijelo?
- **Jakost homogenog električnog polja to je veća što je veći napon između ploča, a manja njihova međusobna udaljenost.**



$$E = \frac{U}{l}$$

- E – jakost električnog polja (V/m)
- U – napon između ploča (V)
- l – udaljenost ploča (m)

PROBOJNA ČVRSTOĆA

- Jakost električnog polja možemo povećati ako približimo ploče ili povisimo napon na pločama.
- To povećanje može ići do neke granice, ako je prijeđemo doći će do proboja izolatora između pločama.
- Ta jakost električnog polja pri kojoj dolazi do proboja zove se probojna čvrstoća.
- U praksi koristimo kV/mm ili kV/cm
- Primjeri da bi se probio sloj izolatora debljine 1 cm:

suhi zrak	oko 30 kV
transformatorsko ulje	oko 140 kV
porculan	oko 200 kV
papir s parafinom	oko 200 kV
pertinaks	oko 200 kV
tvrda guma	oko 200 kV
bakelit	oko 200 kV
tinjac	oko 500 kV

- O čemu sve ovisi probojna čvrstoća?
 - Debljina izolatora, način mjenjanja napona, vrste elektroda, itd...

PROBOJNA ČVRSTOĆA

- Primjer: Kolika mora biti debljina sloja izolatora između paralelnih ploča priključenih na napon od 1 kV ako je probojna čvrstoća tog izolatora 200 kV/cm, a koeficijent sigurnosti treba biti 3?

$$U = 1 \text{ kV} = 1000 \text{ V}$$

$$E_{\text{max}} = 200 \text{ kV/cm}$$

$$\text{Koeficijent sigurnosti} = 3$$

$$l = ?$$

a) Da bi imali trostruku sigurnost, jakost el. polja ne smije biti veća od:

$$E = E_{\text{max}} / 3 = 200/3 = 66 \text{ kV/cm} = 66000 \text{ V/cm}$$

b) Debljina sloja izolatora mora iznositi:

$$l = U/E = 1000/66000 = 0,015 \text{ cm}$$

GUSTOĆA NABOJA NA TIJELU

- Gustoću naboja na nekoj površini dobijemo tako da količinu naboja podijelimo s veličinom te površine:

- σ = gustoća naboja (C/m²)
- Q = količina naboja (C)
- S = veličina površine (m²)

$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

- Kod najpravilnijeg geometrijskog tijela (kugle), naboj je ravnomjerno raspoređen po cijeloj površini, pa je gustoća na svakom mjestu jednaka:

$$\sigma = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{4r^2\pi}$$

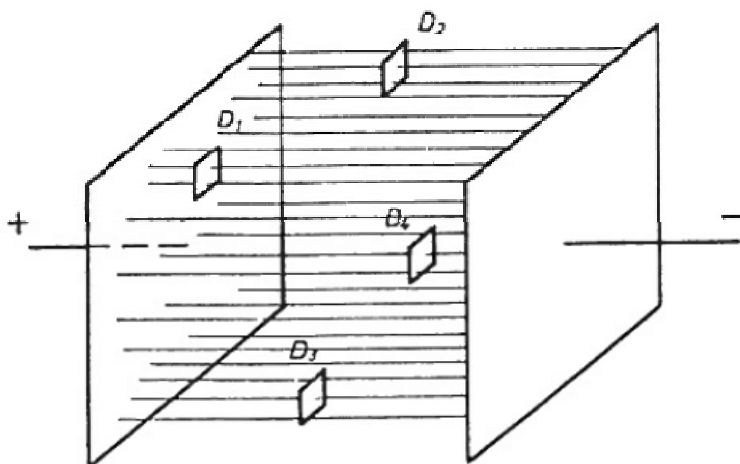
- Kod nepravilnih tijela je nejednolika gustoća naboja (najslabije oko ravnih dijelova tijela, najjače oko izbočina i šiljaka)

GUSTOĆA ELEKTRIČNOG TOKA

- Električno polje je sposobno da unutar sebe pomakne nekakvu količinu električnog naboja.
- Pomaknuta količina naboja ovisi o:
 - Jakosti električnog polja na tom mjestu
 - Sredstvu kroz koje se vrši pomak
- Veličina koju dobijemo ako količinu pomaknut naboja podjelimo površinom kroz koju je taj naboj pomaknut zove se **gustoća električnog polja** ili **gustoća električnog toka**.
 - D = gustoća električnog toka (C/m^2)
 - Q = količina pomaknutog naboja (C)
 - S = površina kroz koju je naboj pomaknut (m^2)

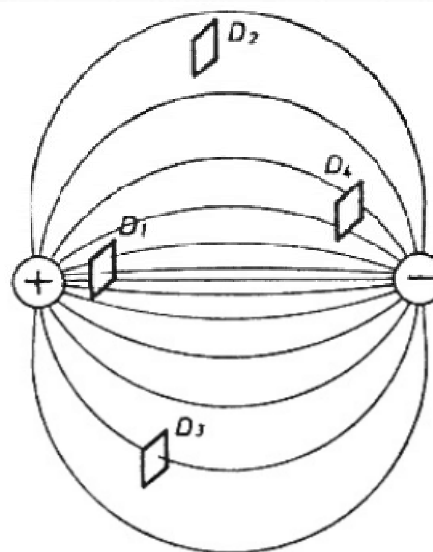
$$D = \frac{q}{S}$$

GUSTOĆA ELEKTRIČNOG TOKA



$$D_1 = D_2 = D_3 = D_4$$

Gustoća električnog toka u homogenom električnom polju na svakom je mjestu jednaka



$$D_1 \neq D_2 \neq D_3 \neq D_4$$

Gustoća električnog toka u nehomogenom električnom polju nije jednaka u svim točkama

DIELEKTRIČNOST VAKUUMA

- Vidjeli smo da gustoća električnog toka ovisi o jakosti električnog polja, ali ovisi i o sredstvu kroz koje se pomak vrši.
- **Broj koji pokazuje ovisnost gustoće električnog toka o vrsti materijala kroz koji se električni pomak vrši zove se dielektričnost tog materijala (ϵ)**
- Dielektričnost vakuuma je konstantna vrijednost, pa se zove i dielektrična konstanta vakuuma a iznosi:

$$\epsilon_0 = 8.86 * 10^{-12} \text{ C/Vm}$$

DIELEKTRIČNOST VAKUUMA

- Odnos između gustoće električnog toka, jakosti električnog polja i dielektričnosti materijala dana je izrazom:

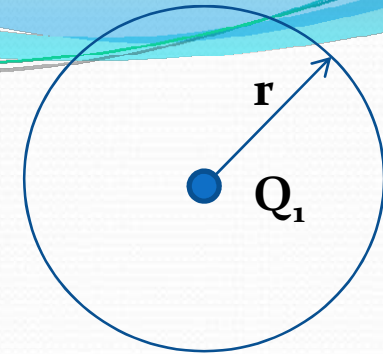
$$\mathbf{D} = \boldsymbol{\varepsilon} * \mathbf{E}$$

- D = gustoća električnog toka (C/m^2)
- ε = dielektričnost materijala (C/Vm)
- E = jakost električnog polja (v/m)
- Za vakuum, a približno i za zraka vrijedi izraz:

$$\mathbf{D} = \boldsymbol{\varepsilon}_0 * \mathbf{E} \quad \boldsymbol{\varepsilon}_0 = \text{dielektrična konstanta vakuuma (V/Vm)}$$

- **Primjer:** Dvije paralelne metalne ploče udaljene su međusobno 5 mm. Kolika je jakost električnog polja i gustoća električnog toka ako su ploče priključene na napon od 220V?

COULOMBOV ZAKON



- Zamislimo da u središtu kugle imamo naboj Q_1 te oko njega električno polje čija jakost na u udaljenosti r iznosi:

$$E_1 = \frac{D_1}{\varepsilon}$$

- Tada je gustoća električnog toka na površini te zamišljene kugle:

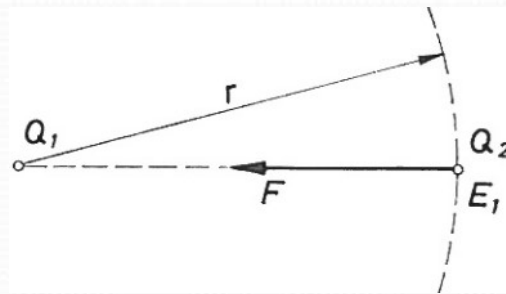
$$D_1 = \frac{Q_1}{4\pi r^2}$$

- Pa formula za jakost električnog polja dobiva oblik:

$$E_1 = \frac{Q_1}{4\pi\varepsilon r^2}$$

COULOMBOV ZAKON

- Zamislamo da se na površini zamišljene kugle (na udaljenosti r) nalazi drugi naboj Q_2 .



- Na njega će električno polje prvog naboja djelovati silom: $F = E_1 \cdot Q_2$
- Ako uvrstimo u taj izraz izvedeni izraz za E_1 , dobijemo:

$$F = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon r^2} \cdot Q_2$$

- U ovoj formuli je izražen **COULOMBOV ZAKON**:
 - Dva električna naboja djeluju jedan na drugi silom koja je razmjerna s veličinom tih naboja, a obrnuto razmjerna s kvadratom njihove međusobne udaljenosti

F = sila (N)

Q_1 i Q_2 = naboji (C)

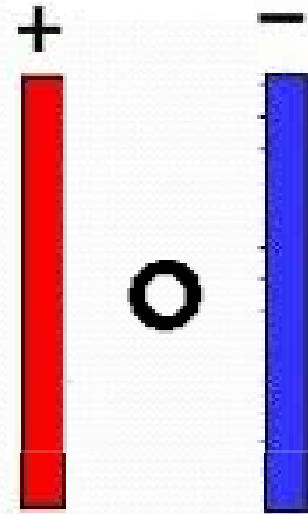
r = međusobna udaljenost naboja (m)

ϵ = dielektričnost materijala između naboja

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

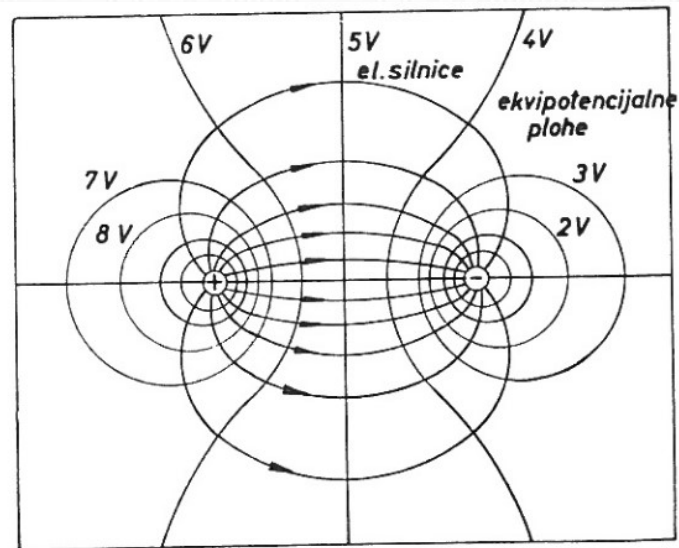
ELEKTRIČNI POTENCIJAL

- Ako se u el. polju nalazi pozitivni naboj, el. polje na njega djeluje silom F u smjeru negativne ploče.
- Naboj na tom putu obavi neki rad, što znači da električno polje daje naboju neku energiju.
- Ako želimo pomaknuti taj naboj prema pozitivnoj ploči moramo utrošiti energiju, te tada naboj ima veću potencijalnu energiju.
- **Potencijalna energija koju ima jedinica pozitivnog naboja u nekoj točki električnog polja zove se električni potencijal polja u toj točki.**



RAZLIKA ELEKTRIČNIH POTENCIJALA

- Sve točke koje u el. polju imaju isti potencijal zovu se **ekvipotencijalne točke**.



- Ako iz bilo koje točke ekvipotencijalne plohe prenosimo jedinični naboj u bilo koju drugu točku druge ekvipotencijalne plohe, obavljamo uvijek jednak rad.
- Taj rad je jednak razlici potencijala između tih točaka a to je **ELEKTRIČNI NAPON**.

ELEKTRIČNI KAPACITET

- Tijelo bez naboja ima potencijal jednak nuli.
- Ako takvom tijelu dovodimo el. naboj, njegov potencijal je sve viši.
- Potencijal je veći što je veća količina dovedenog naboja, a manja površina tijela.
- Taj omjer naziva se **kapacitet tijela**:

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

C . . . kapacitet tijela (F)

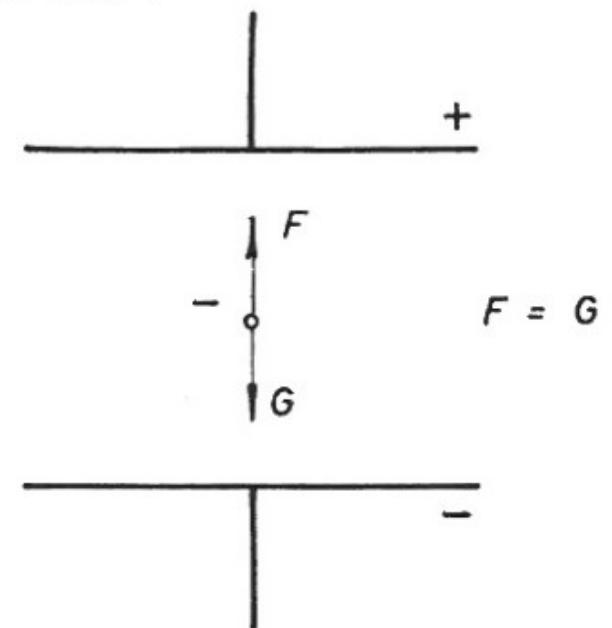
Q . . . količina naboja (C)

U . . . električni potencijal tijela (V)

- Jedinica za mjerenje kapaciteta je **farad** (1 F)
- Farad je ogromna jedinica pa se u praksi upotrebljavaju mnogo manje jedinice (mikrofarad, pikofarad, nanofarad,...)
- PRIMJER: Koliki naboj primi kondenzator od $4\mu\text{F}$ kad ga priključimo na napon od 220V?

ZADACI

1. Između dviju 0,5 cm udaljenih metalnih ploča vlada napon od 100 V. Kolika je jakost električnog polja između tih ploča? Kojom silom to polje djeluje na naboj od 0,0015 C koji se u njem nalazi?
2. Na kugli promjera 16 cm nalazi se naboj od 0,000 000 1 C. Kolika je gustoća električnog toka i kolika je jakost električnog polja na površini te kugle?
3. Kolika je količina naboja na tijelu čiji je kapacitet $50 \mu\text{F}$, a ima električni potencijal od 1000 V?
4. Na koji napon moramo priključiti dvije paralelne ploče udaljene 2 mm da između njih dobijemo gustoću električnog toka od $0,000\ 005\ \text{C/m}^2$?
5. Kolika mora biti udaljenost dviju paralelnih ploča priključenih na napon od 3000 V da između njih vlada električno polje jakosti $15\ 000\ \text{V/m}$?
6. Kolika je jakost električnog polja između dviju ploča potrebna da kapljica vode težine 0,000 005 p i negativnog električnog naboja od 0,000 001 C lebdi u tom polju. Kapljica će lebdjeti ako je njezina težina jednaka sili kojom električno polje na nju djeluje u protivnom smjeru (sl. 94).
7. Kolika mora biti debljina izolatora od porculana da izdrži napon od 30 000 V?
8. Koliku količinu elektriciteta treba dovesti tijelu kapaciteta $4 \mu\text{F}$ da mu se povisi potencijal za 300 V?
9. Koliki je napon potreban da kroz zrak preskoči električna iskra između dviju elektroda udaljenih 45 mm?



Sl. 94. Čestica lebdi u električnom polju