

Aktivni pouk: teme iz elektrostatike II

doc. dr. Andreja Šarlah
UL Fakulteta za matematiko in fiziko

Elektrostatika v kurikulu

Učni načrt

GINNAZJA

FIZIKA

ega plina izračunati izmenjano delo ali toploto ter spremembo notranje energije. Vedo, otranja energija idealnega plina odvisna samo od temperature: $\Delta W_n = m c_v \Delta T$.

10.15 Znaajo definirati krožno spremembo in jo skicirajo na diagramu p-V:

Dijaki znajo ob dani krožni spremembi razložiti, ali sta v dani fazi krožne spremembe delo ali toplota prejeta ali oddana.

11. Električni naboj in električno polje (4 SZ)

Dijaki/dijakinje:

11.1 Ponovijo, kako naelektrimo telesa, razložijo pojem električne sile kot sile med električnimi nabojema, ločijo med prevodniki in izolatorji, pojasnijo delovanje elektrooskopa:

Dijaki vedo, da so telesa navadno električno nevtralna in da pri naelektritvi ločimo pozitivno in negativno naelektrene delce. Vedo, da je naboj značilna lastnost osnovnih delcev. Pozitivni in negativni naboj se privlačita, istoimenska naboja se odbijata. Telesa lahko naelektrimo z drgnjenjem (izolatorji), pri influenci pa se na površini prevodnikov pozitivni in negativni naboj prerazporedita; faradayeva kletka.

11.2 Zapišejo coulombov zakon in ga uporabijo pri računanju sil med dvema točkastima nabojema. Ugotavljajo podobnost med gravitacijsko silo ter silo med naboji:

Dijaki znajo uporabiti enačbo $F_e = e_1 e_2 / (4 \pi \epsilon_0 r^2)$.

11.3 (I) Opišejo delovanje nekaterih naprav, v katerih ima pomembno vlogo mirujoči električni naboj:

Dijaki poznajo temeljni princip delovanja strelododa, elektrostatičnega filtra in fotokopirnega stroja.

11.4 Opišejo električno polje, z električnimi silnicami ponazorijo polje točkastega naboja in ploščnega kondenzatorja ter poznajo definicijo za jakost električnega polja:

Dijaki definirajo vektor električne poljske jakosti kot vektor električne sile na enoto pozitivnega naboja $E = F_e / e$. Gostota silnic je povezana z jakostjo polja. Dijaki vedo, da se električne sile ter električne poljske jakosti vektorsko seštevajo.

11.5 (I) Poznajo definicijo za električno napetost med dvema točkama v homogenem električnem polju:

Pri premiku merilnega naboja e_m v električnem polju iz točke 1 v točko 2 v smeri silnic opravi električna sila delo A_{21} . Električna napetost točke 2 glede na točko 1 je definirana kot delo električne sile na merilni naboj: $U_{21} = A_{21} / e_m$. Pri premikih pravokotno na silnice je opravljeno električno delo nič in napetost med temi točkami je tudi nič. Dijaki poznajo elektronvolt kot enoto za energijo.

11.6 Poznajo definicijo za kapaciteto kondenzatorja in jo uporabijo v računskih primerih: Dijaki vedo, da električni naboj shranjujemo v kondenzatorju. Čim več naboja spravimo vanj pri dani napetosti (opravljenem delu), tem večja je njegova kapaciteta: $C = e / U$.

11.7 (I) Izračunajo nadomestno kapaciteto pri vzporedni, pri zaporedni in pri kombinirani vezavi kondenzatorjev:

Dijaki vedo, da je pri vzporedni vezavi dveh kondenzatorjev na vir napetosti na obeh kondenzatorjih enaka napetost in da je pri zaporedni vezavi kondenzatorjev na vir napetosti na obeh enak naboj.

11.8 Izračunajo jakost električnega polja v okolici nekaterih sistemov nabojev: Dijaki znajo izračunati jakost električnega polja v okolici enega ali dveh točkastih nabojev, v bližini velike naelektrene ravne plošče in v notranjosti kondenzatorja: $E_t = e / (4 \pi \epsilon_0 r^2)$, $E_p = e / (2 \epsilon_0 S)$, $E_k = e / (\epsilon_0 S)$.

11.9 (I) Uporabijo izrek o električnem pretoku: Dijaki znajo uporabiti izrek o električnem pretoku $\Phi_e = e$ za izračun jakosti električnega polja v okolici točkastega naboja, v okolici ravne plošče in v primerih sistemov nabojev s krogelno ali ravninsko simetrijo.

11.10 Zapišejo napetost med točkama v homogenem električnem polju z električno poljsko jakostjo: $U_{12} = E \cdot s_{12}$.

11.11 Rišejo ekvipotencialne ploskve za homogeno električno polje in za polje točkastega naboja ter poznajo pomen teh ploskev.

11.12 (I) Z mikroskopskega stališča pojasnijo pojav polarizacije v dielektriku.

11.13 Uporabijo enačbo za energijo kondenzatorja $W_e = \frac{1}{2} C U^2$.

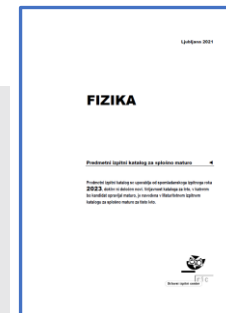
11.14 (I) Definirajo gostoto energije električnega polja in za homogeno polje zapišejo zvezo med gostoto energije in jakostjo električnega polja $w_e = W_e / V$, $w_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$.

12. Električni tok (4 SZ in 4 EV)

Dijaki/dijakinje:

12.1 Zapišejo definicijo jakosti električnega toka ter navedejo osnovni naboj: Zapisati in pojasniti znajo definicijo jakosti električnega toka $I = e / t$.

[Medpredmetna povezava s kemijo in biologijo – kemični (elektroliza) in fiziološki (krčenje mišic) učinek električnega toka.]



4.10 Električni naboj in električno polje

Vsebine	Preverjeni pojmi in koncepti
10.1 Električni naboj	10.1.1 Naelektritev teles 10.1.2 Prevodniki in izolatorji 10.1.3 Delovanje elektrooskopa 10.1.4 Smer sil med naelektrinimi točkastimi telesi 10.1.5 Povezava med električnim tokom in nabojem 10.1.6 Osnovni naboj in ohranitev naboja
10.2 Električno polje	10.2.1 Sila na naboj v električnem polju 10.2.2 Jakost električnega polja 10.2.3 Grafična ponazoritev električnega polja točkastega naboja in ploščnega kondenzatorja 10.2.4* Napetost med točkama homogenega električnega polja 10.2.5* Kvalitativna in grafična obravnava ekvipotencialnih ploskev za homogeno električno polje in polje točkastega naboja
10.3 Coulombov zakon	10.3.1 Velikost sile med točkastimi naboji (Coulombov zakon) 10.3.2 Električno polje točkastega naboja – kvantitativno 10.3.3* Električno polje dveh ali več nabojev 10.3.4* Električno polje enakomerno nabite razsežne plošče
10.4 Kondenzator	10.4.1 Kapaciteta kondenzatorja 10.4.2* Povezave med nabojem, jakostjo električnega polja in napetostjo na ploščnem kondenzatorju
10.5 Influenca	10.5.1 Mikroskopska razlaga influence v kovinah
10.6 Energija električnega polja	10.6.1* Energija kondenzatorja

4.11 Električni tok

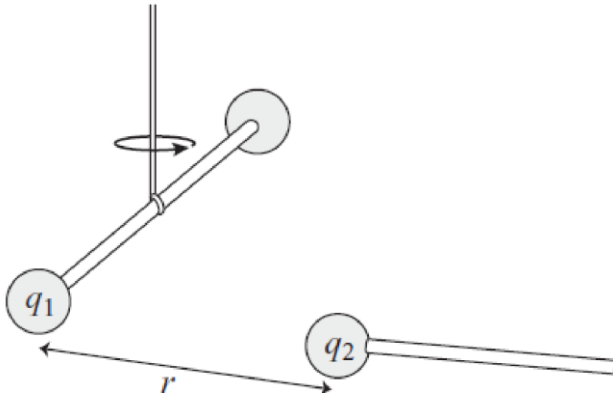
Vsebine	Preverjeni pojmi in koncepti
11.1 Električna vezja	11.1.1 Naboj in jakost električnega toka 11.1.2 Napetost vira in napetost na porabniku 11.1.3 Kirchhoffova izreka za električne tokove in električne napetosti v preprostih vezjih 11.1.4* Kirchhoffova izreka za električne tokove in električne napetosti v sestavljenih, zahtevnejših vezjih
11.2 Ohmov zakon	11.2.1 Povezava med napetostjo in tokom pri idealnih upornikih 11.2.2 Upor upornika 11.2.3 Specifični upor snovi 11.2.4 Nadomestni upor pri zaporedni in vzporedni vezavi 11.2.5 Merjenje električnega toka 11.2.6 Merjenje električne napetosti

Fizika

15

Opazovalni poskus – od česa je odvisna sila?

(prirejeno po ALG 17.4.1)



Podatki, kot bi jih bil lahko izmeril Coulomb, so zbrani v tabeli.

- Katere spremenljivke v Coulombovem poskusu so neodvisne in katere odvisne?
- Analizirajte spremembe odvisne spremenljivke, tako da spreminjate po eno neodvisno spremenljivko naenkrat. S tem načinom analize (kontroliran poskus) poiščite v podatkih vzorce/pravila in jih na podlagi svojih opažanj izrazite v obliki matematične zveze.

Poskus	Naboj e_1	Naboj e_2	Razdalja r	Sila $F_{e_1 \text{ na } e_2}$
1	1 (enota)	1 (enota)	1 (enota)	1 (enota)
2	1/2	1	1	1/2
3	1/4	1	1	1/4
4	1	1/2	1	1/2
5	1	1/4	1	1/4
6	1/2	1/2	1	1/4
7	1/4	1/4	1	1/16
8	1	1	2	1/4
9	1	1	3	1/9
10	1	1	4	1/16

Opazovalni poskus – ali lahko govorimo tudi o električni potencialni energiji?

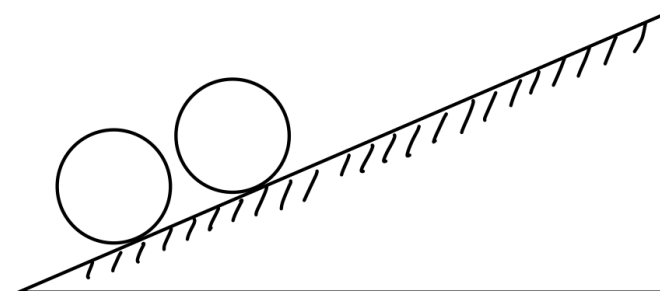
(prirejeno po ALG 17.5.2 in ALG 17.5.3)

Coulombov zakon je matematično zelo podoben Newtonovemu gravitacijskemu zakonu, zato je smiselno pričakovati, da ima sistem nabitih teles tudi nekakšno električno potencialno energijo. Raziščimo.

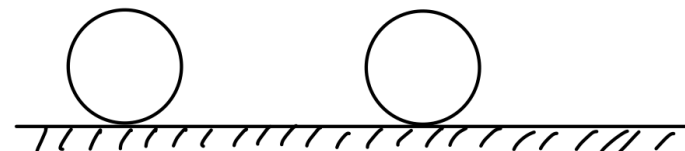
Za vsakega od prikazanih poskusov naredite:

- 1) Pozorno opazujte poskus.
- 2) Narišite skico začetnega in končnega stanja ter označite izbrani opazovani sistem.
- 3) Predstavite process z energijskim stolpčnim diagramom. Vanj smiselno vključite W_{ep} .
Pri 3. poskusu: Privzemite, da je $W_{ep} = 0$, ko sta telesi zelo daleč narazen.

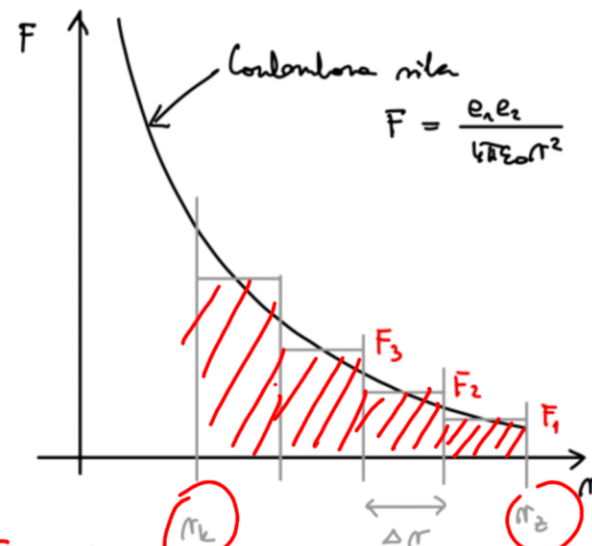
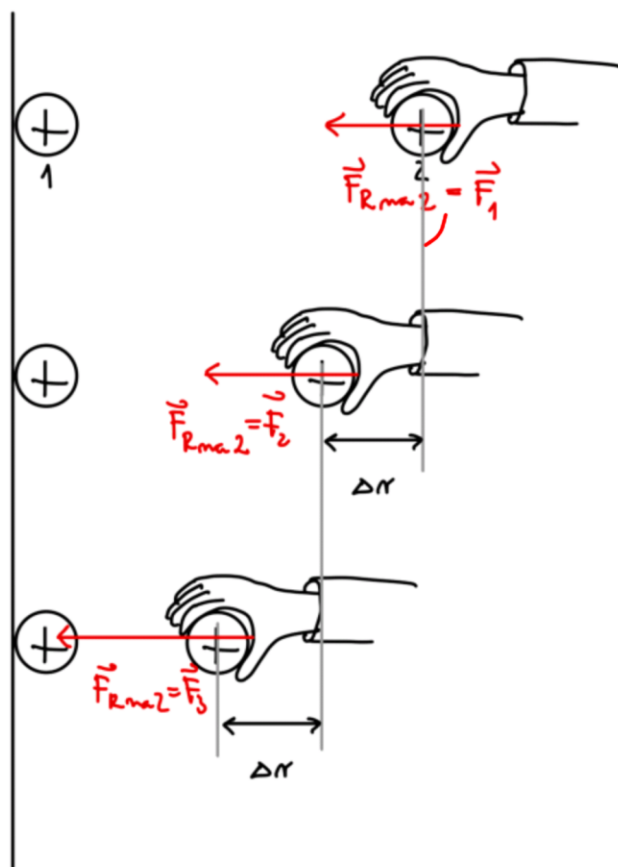
1. & 2. OPAZOVALNI POSKUS



3. OPAZOVALNI POSKUS



Električna potencialna energija – kvantitativno



$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots$$

$F_1 \Delta r$ $F_2 \Delta r$ $F_3 \Delta r$
 " " "
 $A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots$

$$W_{ep} = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r}$$

$$A = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0} \left(\frac{1}{r_{začetno}} - \frac{1}{r_{končno}} \right) = W_{ep, končno} - W_{ep, začetno}$$

Kako eno telo ve, da se v bližini nahaja drugo telo? – polje E

Kinestetična aktivnost

S katero količino lahko opišemo motnjo, ki jo v prostoru ustvari nabit delec? Vemo, da interakcijo med nabitimi telesi lahko opišemo z električno silo, s katero eno telo deluje na drugega. Vendar sila ne more opisati električne motnje, ki jo ustvari eno telo, saj je odvisna od naboja drugega telesa. Vendar pa ...

Definicija polja E

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{emaer}}{e_T} ; e_T > 0$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$$

točkasto nabito telo

$$E = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$



Testni poskus – kaj če je v prostoru več nabitih teles?

Napovejte polje E za

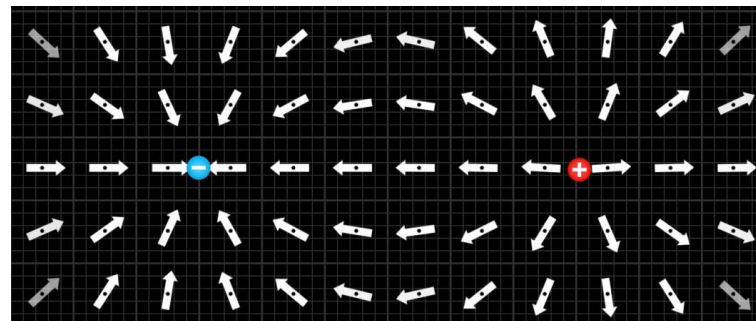
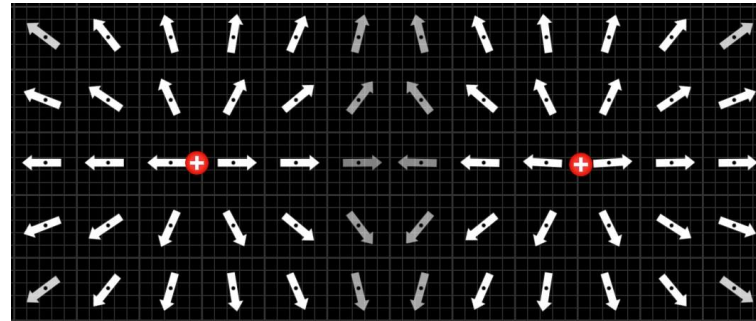
1) Par enakih nabitih teles



2) Dve nasprotno nabiti telesi

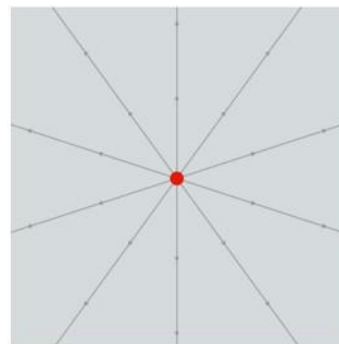


Izid poskusa (npr. s PhET)

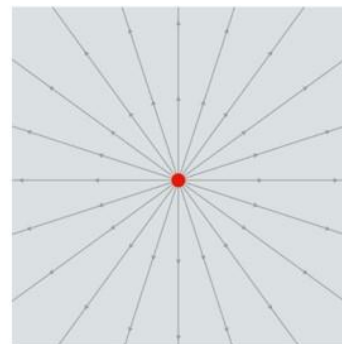


Opazovalna aktivnost – silnice polja E

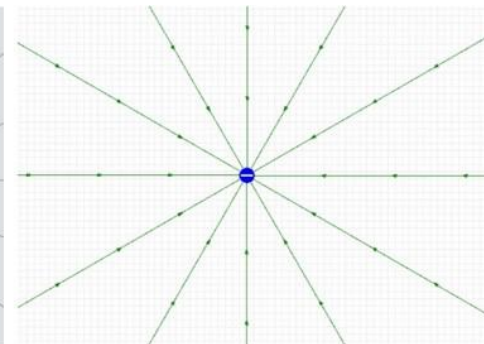
Pozorno si oglejte slike silnic polja E in opišite čim več vzorcev (značilnosti, ki veljajo za vse prikazane primere), ki jih opazite.



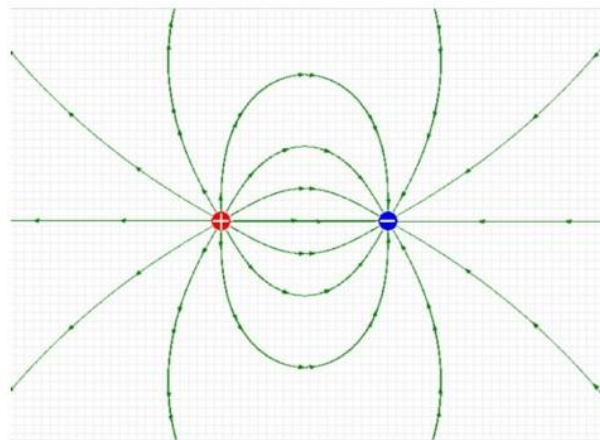
A $e = +10 \text{ nC}$



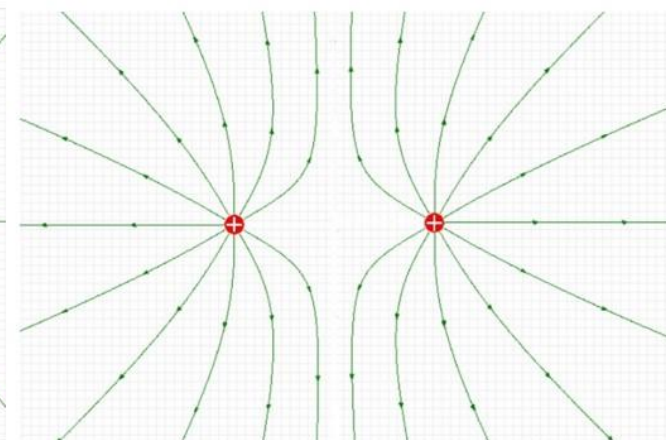
B $e = +20 \text{ nC}$



C $e = -12 \text{ nC}$



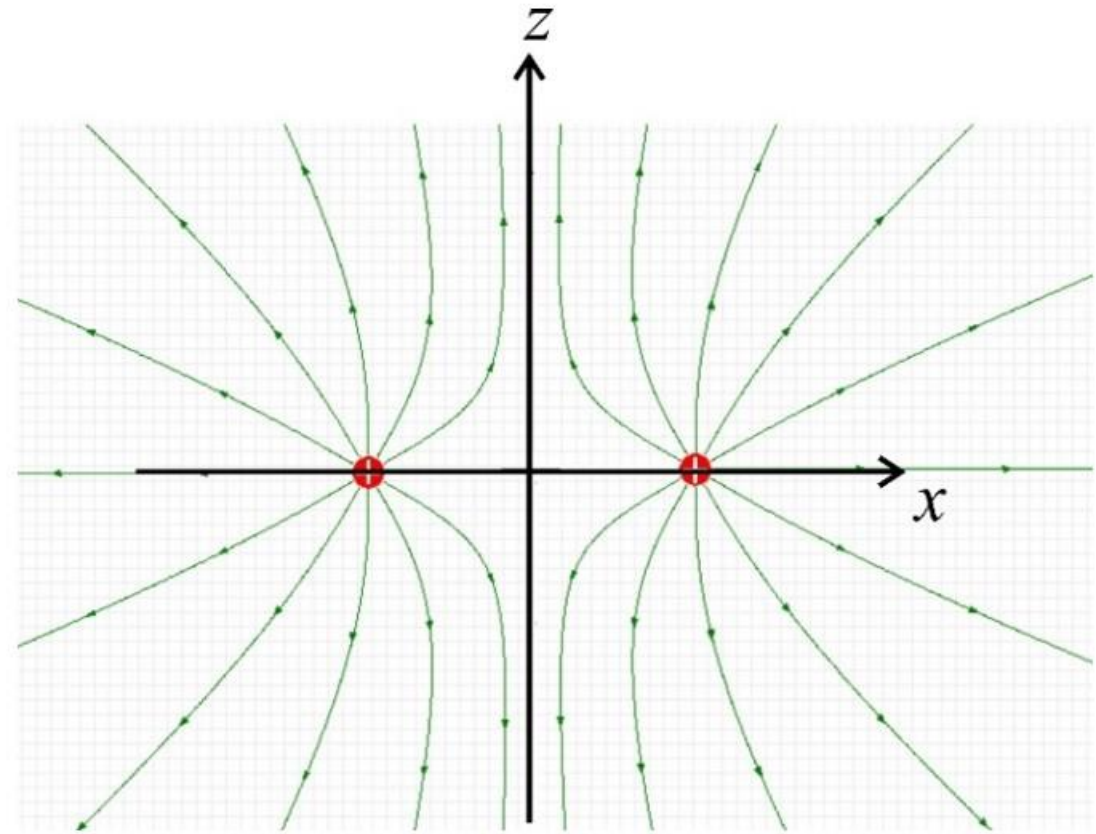
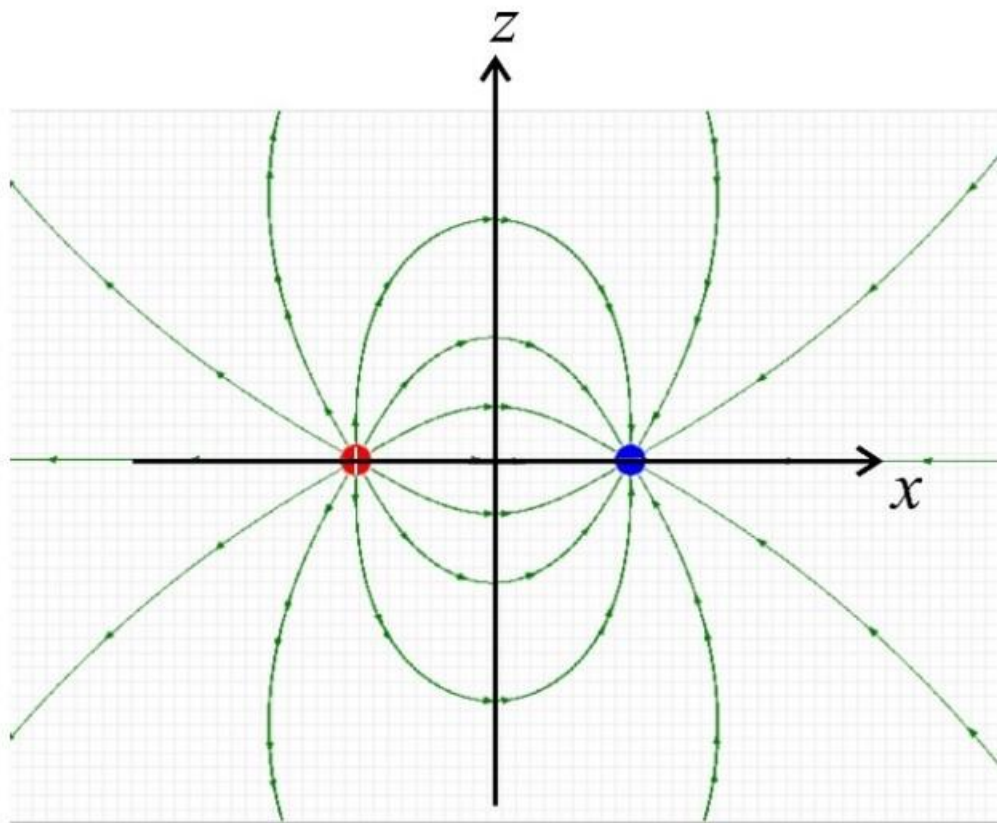
D Dva naboja: $e_1 = +12 \text{ nC}$ in $e_2 = -12 \text{ nC}$



E Dva naboja: $e_1 = +12 \text{ nC}$ in $e_2 = +12 \text{ nC}$

Aplikativna aktivnost – preseki $E(z)$

Narišite grafa komponent x in z polja E v odvisnosti od coordinate z .



Kako eno telo ve, da se v bližini nahaja drugo telo? – polje V

Kinestetična aktivnost

S katero količino lahko opišemo motnjo, ki jo v prostoru ustvari nabit delec? Vemo, da interakcijo med nabitimi telesi lahko opišemo z električno energijo sistema nabitih teles. Vendar energija ne more opisati električne motnje, ki jo ustvari eno telo, saj je odvisna od naboja drugega telesa. Vendar pa ...

Definicija polja V

$$V(r) = \frac{W_{ep}(el. motnja) + e_T m a(r)}{e_T} ; e_T > 0$$

$$V = V_1 + V_2 + \dots$$

točasto nabito telo

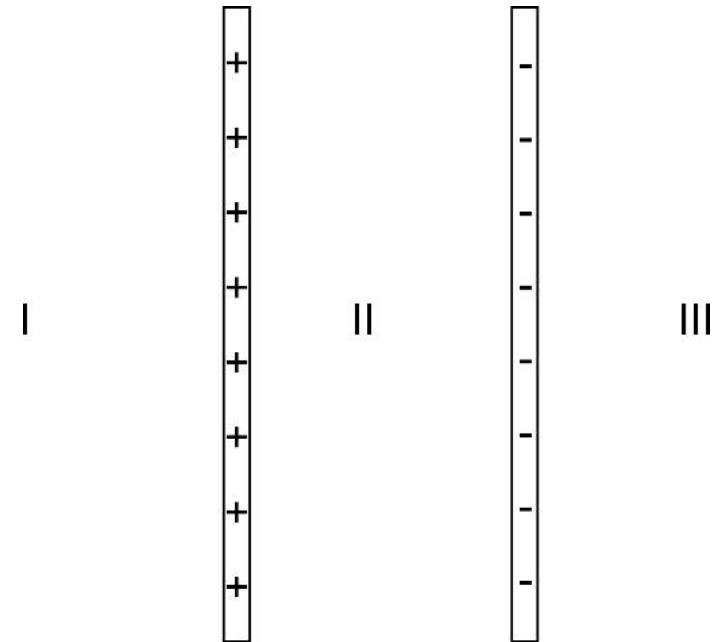
$$V = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r}$$



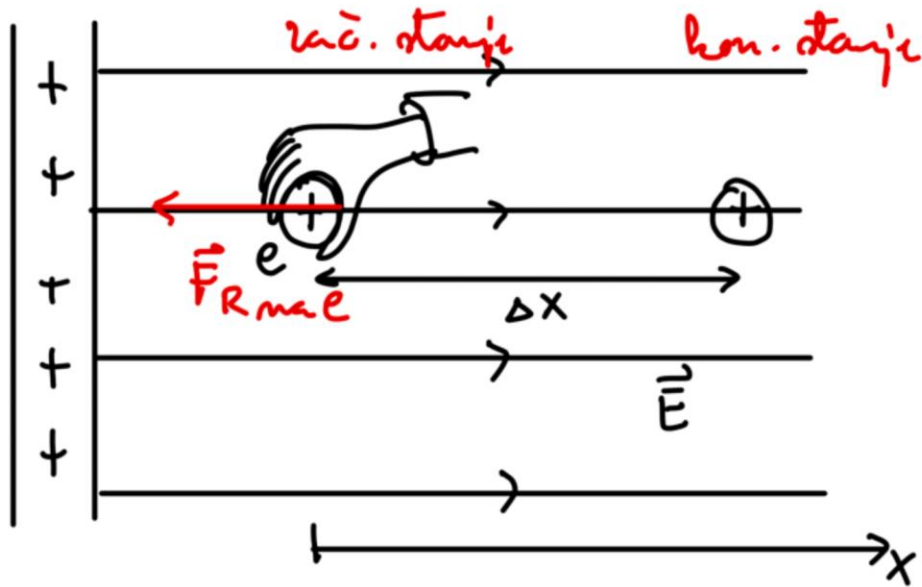
Aktivnost – dve neskončni nabiti plošči ter polje E in polje V

Imamo dve »neskončni« plošči, ki sta enakomerno nabiti z nasprotnima naboje. Velikost naboja na obeh ploščah je enaka. Velikost polja E (električne poljske jakosti), ki ga ustvarja posamezna plošča v prostoru je E_0 . Plošči postavimo tako, kot kaže slika.

- Z znanjem, ki ste ga usvojili do zdaj, napovedajte smer in velikost polja E v treh delih prostora, ki so označeni z I, II in III. Nato narišite silnice polja E, ki ga prikazana postavitve ustvarja v prostoru.
- V osrednjem delu (II) narišite ekvipotencialne ploskve.



Zveza med poljem E in poljem V



$$F_{Rmae} = -F_{Pmae}$$

$$A = -F_{zmae} \Delta x = -e E_x \Delta x$$

$$\Delta W_e = eV_k - eV_z = e \Delta V$$

$$W_{ez} + A = W_{ek}$$

$$-e E_x \Delta x = e \Delta V$$

$$E_x = -\frac{\Delta V}{\Delta x}$$

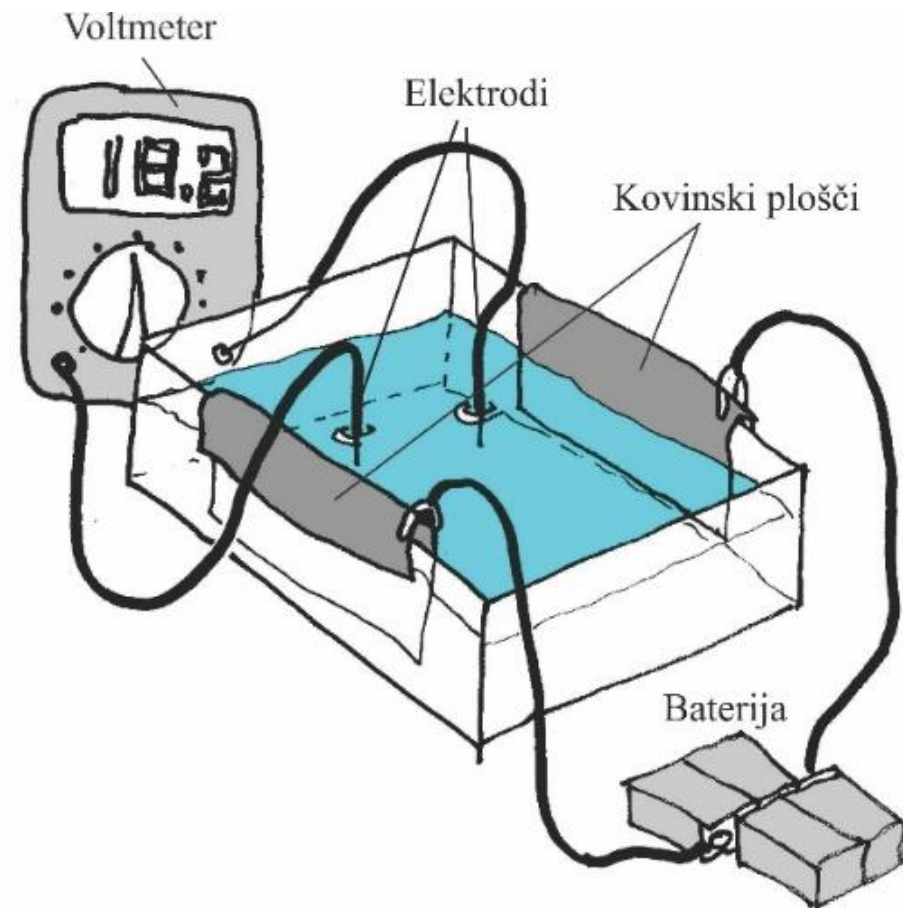
$$U_{AB} = \Delta V = V_B - V_A$$

$$\Delta V = -E_x \Delta x$$

Aplikativna aktivnost – elektrolitska banjica

V tej aktivnosti boste na podlagi usvojenega znanja napovedali izide poskusov in nato primerjali svoje napovedi z izidi.

- Napovejte in narišite, kam kažejo silnice polja E in kako potekajo ekvipotencialne ploskve v vodi znotraj posode. **Počakajte z izvajanjem poskusov!**
- Izvedite poskuse in primerjajte meritve z napovedmi. Če je treba, popravite svoje razmisleke.
- Razdalja med merilnima elektrodama naj bo fiksna. Na podlagi svojega znanja o električnem potencialu napovejte, kaj bo pokazal voltmeter v naslednjih primerih. **Počakajte z izvajanjem poskusov!**
 - Zveznica med elektrodama je usmerjena vzdolž črte, ki je pravokotna na kovinski plošči; elektrodi premikate vzdolž te črte; izberite še drugo črto in ponovite poskus.
 - Zveznica med elektrodama je usmerjena vzdolž črte, ki je vzporedna s kovinskima ploščama; premikate ju vzdolž te črte; izberite še drugo črto in ponovite poskus.
 - Elektrodi držite na sredini posode in ju vrtite okoli navpične osi.



Viri

- E. Etkina, G. Planinšič, A. Van Heuvelen, *College Physics - Explore and Apply 2nd Edn*, Pearson, 2019.
- E. Etkina, D. Brookes, G. Planinšič, A. Van Heuvelen, *College Physics - Active Learning Guide*, Pearson, 2019.
- E. Etkina, D. Brookes, G. Planinšič, A. Van Heuvelen, *College Physics – Online Active Learning Guide*, Pearson, 2019.
- S. Faletič, T. Maroševič, G. Planinšič, A. Šarlah, *Gradiva za izvajanje pouka fizike na daljavo – Električna in magnetizem*, elektronski vir, 2021.
- G. Planinšič, posnetki poskusov na <https://www.youtube.com/@gorazdplaninsicmfml3516>