

Meno a priezvisko:

Škola:

Škola pre mimoriadne nadané deti a Gymnázium

Predmet:

Fyzika

Školský rok/blok:

/

Trieda:

Dátum:

Teória

Elektrický náboj a elektrické pole

2.1 Elektrický náboj, jeho pole a vlastnosti

2.1.0 Pojem „pole“ vo fyzike

Pole je priestor, kde pôsobia určité sily:

Gravitačné sily → Gravitačné pole

Magnetické sily → Magnetické pole

Elektrické sily → Elektrické pole

Elektrické pole je priestor, v ktorom pôsobia elektrické sily. **K vzniku elektrického poľa je nutná prítomnosť elektrického náboja.**

2.1.1 Elektrický náboj a jeho vlastnosti

Z praxe vieme, že vlasy sa pri česaní priťahujú na hrebeň, taktiež sa - pri vyzliekaní - priťahujú časti odevu zo syntetického materiálu k telu. Podobne pri trení sklenenej alebo novodurovej tyče vlnenou látkou zistíme, že tyč priťahuje kúsok papiera, prachové častice a podobne.

Uvedené javy boli pozorované už v staroveku s jantárom (grécky: elektrón) a ich príčinou je elektrický náboj.

Základné vlastnosti elektrického náboja:

1. Existujú dva druhy elektrického náboja – kladný a záporný.

Kladne sa nabíja napríklad sklenená tyč trená kožou alebo vinidurová tyč trená flanelom.

2. Súhlasné náboje sa odpudzujú, opačné sa priťahujú. Nabité a nenabité teleso sa priťahuje. Na vzájomnom odpudzovaní súhlasných nábojov sú založené **elektroskopy** (prístroje, ktoré sú schopné detekovať prítomnosť náboja), pokiaľ má elektroskop stupnicu, nazýva sa elektrometer.

Jednoduchý elektroskop si možno vyrobiť z plastovej fľaše, korkovej zátky, kúska alobalu, silnejšieho drôtu (ihlice na pletenie). Zátku prepichnete silnejším drôtom, na ktorého koniec prilepíte oproti sebe dve tenké prúžky alobalu (cca. 0,5cm x 8cm). Zátkou, ktorou prechádza drôt, uzavrieme PET fľašu a vyčnievajúci koniec drôtu napichnete guľu vyrobenú z alobalu (bude slúžiť k „zachytávaniu“ elektrického náboja). Teraz stačí plastovým pravítkom prejsť niekoľko krát po „vhodnom“ (bavlnenom) oblečení a priblížiť sa ku guľi z alobalu. Prúžky alobalu vo vnútri fľaše sa od seba odtiahnu.

3. Teleso je možné nabiť trením alebo dotykom (prenesením náboja).

4. V elektricky neutrálnych telesách je počet kladných a záporných elementárnych nábojov rovnaký a ich silové pôsobenie sa navzájom rušia.

5. V izolovanej sústave platí zákon zachovania elektrického náboja.

Celkový elektrický náboj sa vzájomným zelektrizovaním v izolovanej sústave nemení.

Pod pojmom elektrický náboj predovšetkým rozumieme

6. **Vlastnosť častice alebo telesa**, ktorá udáva jeho elektrické vlastnosti. To, že náboj je vlastnosť častice znamená, že sa náboj nemôže vyskytovať samostatne, vždy je viazaný na časticu prípadne viacero častíc, ktoré tvoria teleso.
7. **Fyzikálnu veličinu**, ktorá opisuje veľkosť náboja. Označujeme ju Q alebo q . Fyzikálna jednotka elektrického náboja je $[Q] = C = (\text{coulomb}) = A \cdot s$. Náboj jedného coulombu pretečie prierezom vodiča pri prúde $1 \cdot A$ za $1 \cdot s$
8. **Hodnota náboja Q je vždy násobkom veľkosti elementárneho náboja**, ktorý má hodnotu $e = 1,602 \cdot 10^{-19} C$. **Kladný** elementárny náboj má **protón** a **záporný** náboj má **elektrón**.

Podľa pohybu náboja určitým materiálom rozlišujeme materiály:

1. **Vodiče** – elektrický náboj sa v nich ľahko premiestňuje. Je to dané tým, že napríklad elektróny, ktoré sú schopné prenášať náboj v kovoch, sú k atómovým jadrám slabo viazané a môžu sa teda od nich ľahko odpútať. Vytvárajú takzvaný elektrónový plyn, ktorý je príčinou dobrej vodivosti kovov.
2. **Izolanty** – elektróny sú pevne viazané k atómovým jadrám a ich pohyb daným materiálom preto nie je jednoduchý.

Poznámka: Vo všeobecnosti je prenos elektrického náboja daný prítomnosťou ľubovoľných **voľných** nabitých častíc.

Nabité teleso postupne stráca svoje elektrické vlastnosti, pretože žiadna látka nie je dokonalým izolantom. Preto dochádza k postupnému vybíjaniu náboja. Náboj môžeme merať pomocou merača náboja, trvalého nabitia telesa môžeme dosiahnuť pomocou zdroja vysokého napätia.

Elektrické pole je podmienené vznikom nerovnováhy nábojov (na dvoch vzájomne izolovaných doskách, na dvoch osamotených vodičoch, ...). **Elektrostatické pole môže existovať len v dielektriku**. Vo vodivom prostredí by došlo k pohybu nabitých častíc. Pokiaľ by vodič nebol pripojený k trvalému zdroju napätia, pohyb nábojov by ustal akonáhle by dosiahli takú polohu vo vodiči, v ktorej by nepôsobili žiadne elektrostatické sily. Došlo by k vyrovnaniu nábojov – k rovnováhe.

Tento stav je pre vodiče typický – je totiž energeticky výhodný.

Elektrostatické pole má s prúdovým poľom spoločnú veličinu – napätie U . Medzi každými dvomi bodmi v priestore, v ktorom je vytvorené elektrostatické pole, je možné merať napätie.

Keď má častica alebo teleso elektrický náboj, má schopnosť vyvolať silové pôsobenie medzi ďalším telesom s elektrickým nábojom. Toto silové pôsobenie (=silová interakcia) sa uskutočňuje prostredníctvom elektro-magnetického poľa ($\rightarrow$ elektromagnetická interakcia). O časticách (telesách), ktoré nesú elektrický náboj hovoríme, že sú **elektricky nabité**. Vlastnosti silového poľa medzi nabitými časticami závisia od ich pohybového stavu. Ak je náboj v pokoji, obklopuje ho **elektrické** (elektrostatické) **pole**. Ak sa náboj pohybuje, vytvorí sa okolo neho podľa spôsobu pohybu buď **magnetické** alebo **elektromagnetické pole**. Elektrické a magnetické pole sú neoddeliteľnými zložkami elektromagnetického poľa. Samostatne o nich môžeme hovoriť len vtedy, keď sa za určitých podmienok prejavuje len jedna zložka a druhá je potlačená.

Elektrické pole vznikne okolo náboja, ktorý je v danej vzťažnej sústave v pokoji.

Zákon zachovania elektrického náboja

V izolovanej sústave sa celkový náboj zachováva; náboj nie je možné vytvoriť alebo zničiť.

Elektrický náboj je kvantovaný. Najmenším, ďalej nedeliteľným nábojom je **elementárny náboj** e , čo je náboj jedného protónu alebo elektrónu. Všetky elektrické náboje (kladné i záporné) sú celočíselnými násobkami elementárneho elektrického náboja

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Náboj môže byť kladný (+) alebo záporný (-). Kladný elementárny náboj e má protón, záporný elementárny náboj $-e$ má elektrón. Protóny a elektróny sú v atóme v rovnováhe, preto sa atóm navonok javí ako elektricky neutrálny.

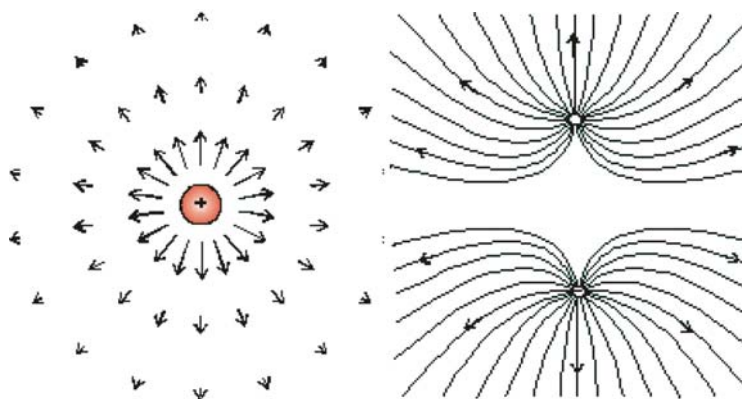
Elektrický náboj „vznikne“ vtedy, ak sa poruší rovnováha protónov a elektrónov v atóme:

(Poznámka: Ak chceme dodržať zákon zachovania náboja musíme zdôrazniť, že náboj v skutočnosti nevznikne, ale nahromadia sa častice s rovnakým nábojom. Tým sa oddelia elektróny od protónov, ktoré sa pôvodne z nášho pohľadu navzájom kompenzovali tak, že celkový náboj bol nulový. Toto by sme s dostatočne citlivými prístrojmi dokázali rozlíšiť.)

- u **plynov** vzniká **ionizáciou**, na molekuly plynu pôsobí rádioaktívne žiarenie (rádioaktívne častice sa pohybujú s vysokou rýchlosťou, narazia do molekuly plynu a molekula sa roztrhne).
- kvapaliny sú elektricky neutrálne, ale pridaním soli dochádza k jej disociácii na kladne a záporne nabité ióny. Napríklad $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$.
- u **pevných látok** vzniká nerovnováha medzi protónami a elektrónami **teplom**, napríklad trením ebonitovej tyče o kožušinu, prípadne sklenenej alebo novodurovej tyče o vlnenú látku.

Elektrický náboj sa prejaví preskočením iskry, silovým pôsobením (priťahuje ľahké častice ako kúsky papiera, vlasy, ...), na ľudské telo môže pôsobiť svalovým kŕčom.

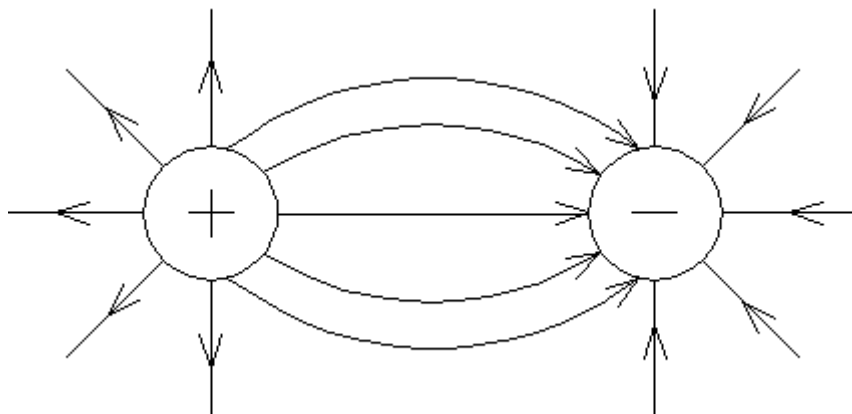
2.1.3 Elektrické siločiar



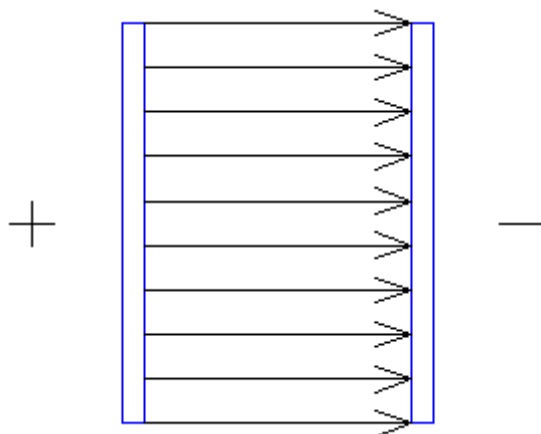
Elektrické pole opisujeme pomocou elektrických siločiar a to kvalitatívne a kvantitatívne. Elektrické siločiar sú myslené čiary, ktoré graficky znázorňujú situáciu v okolí elektrického náboja. Navzájom sa nepretínajú, sú kolmé k povrchu telesa a sú vždy orientované od kladného náboja po záporný (smer je daný dohodom).

Podľa tvaru (kvality) siločiar rozlišujeme tri základné druhy polí:

- radiálne pole (pole kruhového náboja),
 - o pole kladného náboja
 - o pole záporného náboja



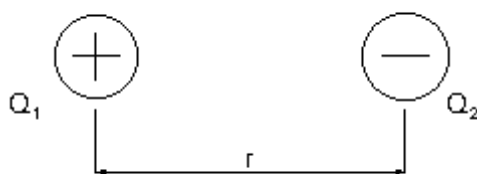
- pole dvoch nábojov
 - o opačných
 - o súhlasných
- homogénne pole (medzi dvomi rovnobežnými doskami)



Podľa kvantity (hustoty) siločiar možno určiť aké je pole silné. Čím väčšia je hustota siločiar, tým silnejšie je znázorňované pole.

2.1.4 Coulombov zákon

Dva bodové elektrické náboje pôsobia na seba silou. Veľkosť tejto elektrickej sily je priamo úmerná súčinu ich veľkostí a nepriamo úmerná druhej mocnine ich vzdialenosti:



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

k - konštanta úmernosti je závislá od tvaru poľa (pre dva bodové náboje je $k = \frac{1}{4\pi\epsilon} = 8,98776 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2} \approx 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$) a na prostredí, v ktorom elektrické pole pôsobí - prostredie charakterizuje permitivita ϵ - pre každé prostredie je iná:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

ϵ_0 - permitivita vákua podľa tabuľky SI: $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

ϵ_r - relatívna permitivita - pomer permitivity daného prostredia k permitivite vákua, nemá jednotku (je bezrozmerná), udáva sa v tabuľkách.

Coulombov zákon vo vákuu pre dva bodové náboje v pokoji má tvar:

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

Smer elektrickej sily určuje polarita bodových nábojov. **Súhlasné náboje sa odpudzujú, opačné náboje sa priťahujú.**

Silu, ktorou na seba pôsobia nabité telesá konečných rozmerov, počítame iným spôsobom. Coulombov zákon platí v mikrosvete aj v makrosvete. Zistilo sa, že prestáva platiť, keď vzdialenosť nábojov poklesne pod 10^{-15} m . Predpokladá sa, že platí pre $r \rightarrow \infty$.

Príklad: (Elektrostatika/Coulombov zákon)

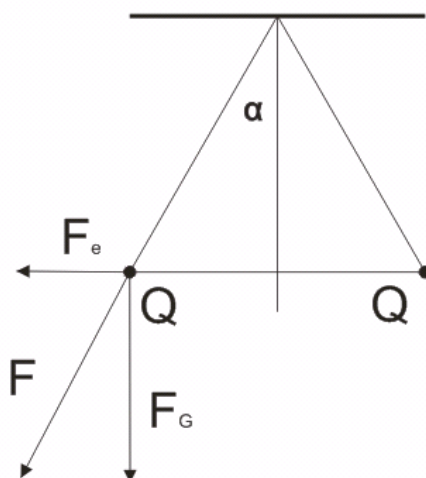
Akou silou pôsobia na seba vo vákuu dva bodové náboje 1 C vo vzdialenosti 1 m ?

Riešenie:

$$F = k \cdot \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2} \cdot \frac{(1\text{C})^2}{(1\text{m})^2} = 9 \cdot 10^9 \text{ N}$$

Príklad: (Elektrostatika/Coulombov zákon)

Dve guľôčky s rovnakou hmotnosťou $m = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$ a s rovnakým nábojom Q visia na nitiach dĺžky $l = 5,0 \text{ cm}$ upevnených v tom istom bode. Nite zvierajú so zvislým smerom uhol $\alpha = 30^\circ$. Určte veľkosť náboja guľičiek.



Riešenie:

$$m = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$

$$l = 5,0\text{cm} = 5 \cdot 10^{-2}\text{m}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$Q = ?$$

Na každú guľôčku pôsobí tiažová sila s veľkosťou $G = F_G = mg$ a guľôčky pôsobia na seba odpudivými elektrickými silami veľkosti $F_e = k \cdot \frac{Q^2}{r^2}$, kde $r = 2 \cdot l \cdot \sin \alpha$ (gravitačné sily, ktorými na seba pôsobia guľôčky – zanedbávame).

$$\text{Niť má smer výslednice týchto síl, preto } \tan \alpha = \frac{F_e}{F_G} = \frac{kQ^2}{mgr^2}$$

$$\text{Potom } Q = 2l \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{mg}{k} \cdot \tan \alpha} = 2,2 \cdot 10^{-9}\text{C}. \text{ Každá guľôčka má náboj } 2,2\text{nC}.$$

Príklad: (Elektrostatika/Coulombov zákon)

Vypočítajte akou silou vo vzdialenosti $l = 16\text{cm}$ sa priťahujú dva náboje $Q_1 = 3,2 \cdot 10^{-6}\text{C}$ a $Q_2 = 5,4 \cdot 10^{-6}\text{C}$ umiestnené vo vákuu. $[6,075\text{N}]$

2.1.5 Porovnanie vlastností gravitačného a elektrického poľa

- **gravitačné** a **elektrické** pole sú **statické silové polia**. Gravitačné pole je v okolí každého telesa s hmotnosťou m , elektrické pole v okolí každého telesa s voľným elektrickým nábojom Q . Pritom predpokladáme, že teleso aj elektrický náboj sú vzhľadom na inerciálnu vzťažnú sústavu v pokoji
- gravitačné aj elektrické pole sa vyznačujú silovým pôsobením na iné telesá. Na teleso v gravitačnom poli pôsobí gravitačná sila, na teleso s elektrickým nábojom v elektrickom poli pôsobí elektrická sila.
- existencia gravitačného poľa sa viaže na hmotnosť telesa m , existencia elektrického poľa na elektrický náboj Q . Obidve polia sú jednou z dvoch základných foriem hmoty, ktoré existujú nezávisle od nášho vedomia.
- gravitačné a elektrické pole charakterizujú dve veličiny: *intenzita poľa* a *potenciál*. Intenzita gravitačného poľa $\vec{K}$ a intenzita elektrického poľa $\vec{E}$ sú určené na základe silového pôsobenia poľa. Gravitačný potenciál φ_g a elektrický potenciál φ_e sú určené na základe práce konanej pri premiestňovaní telesa alebo elektrického náboja v silovom poli.
- intenzita poľa je *vektorová* veličina, potenciál *skalárna* veličina. Pomocou prvej konštruujeme *vektorové pole*, pomocou druhej *skalárne pole*. Vektorové a skalárne polia sú matematické modely reálnych silových polí, ktoré znázorňujú ich isté vlastnosti. preto matematické modely nestotožňujeme so skutočnými poliami.
- na základe intenzity poľa definujeme *síločiar* poľa, na základe potenciálu *ekvipotenciálne plochy*. Síločiar a ekvipotenciálne plochy sú veľmi názorné matematické modely obidvoch silových polí.
- gravitačné a elektrické pole majú však aj vlastnosti, ktorými sa navzájom odlišujú:
 - o *rozdielny pôvod polí*: Gravitačné pole sa viaže na hmotnosť telesa, elektrické pole na elektrický náboj.
 - o *rozdiel v silovom pôsobení*: Gravitačné sily sú len príťažlivé, elektrické sú príťažlivé aj odpudivé, čo súvisí s dvoma druhmi elektrického náboja.
 - o *rozdiel vo veľkosti silového pôsobenia*: Gravitačné sily, ktoré pôsobia medzi hmotnými bodmi s jednotkovou hmotnosťou, sú pomerne malé, elektrické sily, ktoré pôsobia medzi bodovými nábojmi s jednotkovým nábojom, sú omnoho väčšie.
 - o *rozdiel v konštantách χ a k* : Gravitačná konštanta nezávisí od prostredia – je to univerzálna konštanta, konštanta k závisí od vlastnosti prostredia
 - o *rozdiel v platnosti silového pôsobenia*: Newtonov gravitačný zákon platí pre hmotné body alebo pre dve rovnorodé gule, Coulombov zákon iba pre dva bodové náboje.