

i robiť prípravy a Meno a priezvisko:

Škola: Škola pre mimoriadne nadané deti a Gymnázium

Školský rok/blok:

Predmet: Fyzika

Trieda:

Dátum:

Teória

Elektrické pole a elektrický prúd

Elektrické pole

2.3.1 Elektrické pole, elektrická intenzita

Vzájomné silové pôsobenie elektrických nábojov sa uskutočňuje prostredníctvom elektrických polí, ktoré náboje obklopujú. Elektrické pole (rovnako ako pole gravitačné) opisuje fyzikálna veličina **intenzita elektrostatického poľa (elektrická intenzita)**:

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

kde $\vec{F}_e$ je sila, ktorá by v danom mieste pôsobila na testovací náboj q ; $[E] = N \cdot C^{-1} = V \cdot m^{-1}$. Ak je testovací náboj záporný, má elektrická intenzita opačný smer ako elektrická sila, ak je náboj kladný, sú smery oboch veličín totožné.

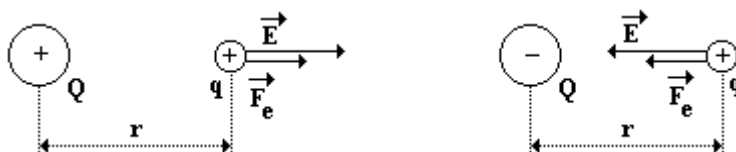
Poznámka: Terminologicky by sa správne mal používať názov elektrická intenzita. Elektrostatické pole je totiž zvláštnym prípadom všeobecnejšieho poľa – poľa elektromagnetického. Preto je lepšie hovoriť o elektrickej intenzite a nie o intenzite elektrického poľa. Nejedná sa však o veľkú nepresnosť.

Veľkosť elektrickej intenzity vo vzdialenosti r od osamoteného bodového náboja Q je možné určiť pomocou Coulombovho zákona:

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{|Q \cdot q|}{r^2}$$

Dosadením do definičného vzťahu elektrickej intenzity dostaneme:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{|Q|}{r^2}$$

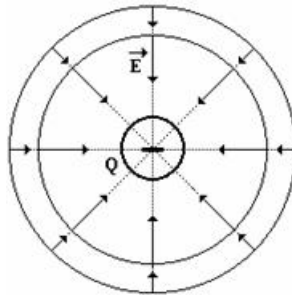


Smer vektora elektrickej intenzity závisí na znamienku náboja Q .

Teraz možno vytvoriť vektorový model elektrického poľa bodového náboja: **radiálne (centrálne) pole**. To je pole, v ktorom vektory elektrickej intenzity mieria do (pokiaľ $Q < 0$) alebo od ($Q > 0$) bodového náboja. Na obrázku je znázornené radiálne pole záporného náboja.

Iný spôsob opisu elektrického poľa je pomocou **siločiar**. Siločiar sú také krivky, že v ich ľubovoľnom bode získame vektor elektrickej intenzity ako dotyčnicu v danom bode.

Siločiar možno zviditeľniť pokusom: do misky vložíme elektródy, nalejeme slabú vrstvu oleja, elektródy pripojíme k zdroju vysokého napätia a hladinu zľahka posypeme krupicou.



Medzi dvomi rovnobežnými opačne nabitými doskami vzniká **homogénne elektrostatické pole**, tj. také pole, ktorého elektrická intenzita má v každom bode rovnaký smer a veľkosť. Siločiar sú si vzájomne rovnobežné.

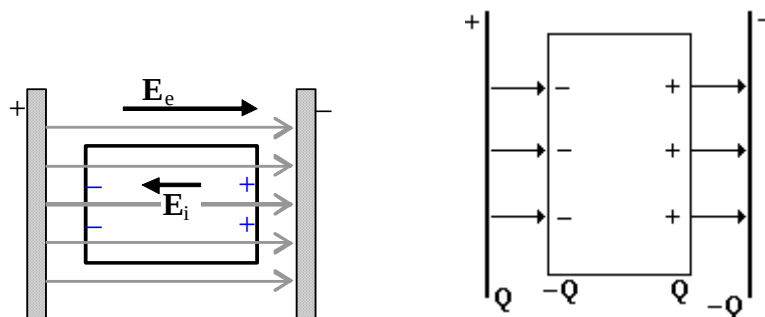
Pole dvoch bodových nábojov vzniká zložením dvoch radiálnych polí, ktoré pôsobia nezávisle od seba. Výslednú elektrickú intenzitu získame ako vektorový súčet elektrických intenzít, ktoré by každý náboj vytvoril v danom mieste priestoru nezávisle na druhom. Smer siločiar volíme zhodne ako smer vektoru intenzity elektrického poľa: od kladného k zápornému náboju.

Pojem pole bol dôkladne vysvetlený na rôznych analógiach – napríklad pri gravitačnom poli v mechanike.

2.3.2 Vodič v elektrickom poli

Elektrické vodiče sú látky, ktoré obsahujú veľký počet častíc s nábojom, ktoré sa v nich môžu voľne pohybovať. Tieto častice nazývame voľné častice s nábojom. V kovových vodičoch (napr. meď, hliník, striebro) sú to voľné elektróny, v kvapalinových vodičoch (v elektrolytoch, napr. roztokoch solí alebo kyselín vo vode) sú to kladné a záporné ióny a vo vodivých plynoch elektróny a oba druhy iónov.

Voľné častice s nábojom sa vo vodičoch ustavične a neusporiadane pohybujú, preto je vo vodiči, ktorý nie je nabitý a nie je vo vonkajšom elektrickom poli, ich rozloženie také, že v ľubovoľnej časti vodiča je úhrnný náboj nulový. **Navonok sú vodiče elektricky neutrálne.**



Zmena rozloženia voľných nabitých častíc vo vodiči nastane, ak vložíme nenabitý vodič do elektrického poľa – nastane elektrostatická indukcia.

Pôsobí naň elektrická sila $\vec{F}_e = Q \cdot \vec{E}_e$ (podľa označenia $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}_e$). Voľné častice s nábojom sa začnú pohybovať – kladne nabité v smere intenzity poľa, záporne nabité proti smeru intenzity elektrického poľa. Tento pohyb spôsobí, že pôvodne rovnomerné rozloženie voľných nabitých častíc vo vodiči (aj v objeme vodiča) sa zmení. Kladne nabité častice sa budú hromadiť v tej časti povrchu vodiča, z ktorej vystupujú siločiar, záporne nabité v tej časti, v ktorej siločiar vstupujú do vodiča. Vo vnútri vodiča voľné častice s nábojom nebudú. Tento jav sa nazýva elektrostatická indukcia:

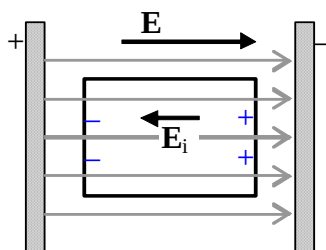
Elektrostatická indukcia je jav, pri ktorom sa protiľahlé časti povrchu vodiča vloženého do elektrického poľa zelektризujú nábojom s rovnakou veľkosťou, ale opačným znamienkom. Takto vzniknuté náboje častíc nazývame indukované náboje. Indukovaný náboj vytvára vo vodiči elektrické pole s intenzitou $\vec{E}_i$ opačného smeru ako má intenzita $\vec{E}_e$ vonkajšieho poľa. Pokiaľ celková intenzita $\vec{E} = \vec{E}_e + \vec{E}_i \neq 0$, voľné častice s nábojom sa vo vodiči premiestňujú. Rovnovážny stav nastane vtedy, ak vo vnútri vodiča bude celková intenzita $\vec{E} = 0$, teda dutina vo vodiči bude chránená pred vplyvom vonkajšieho elektrického poľa.

Vodič vložený do elektrického poľa zmení v dôsledku elektrostatickej indukcie tvar siločiar tohto poľa, a tak jav elektrostatickej indukcie sa využíva na ochranu rozličných zariadení pred vplyvom elektrického poľa, **tzv. elektrické tienenie**. Používajú sa kovové kryty.

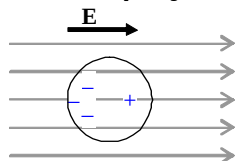
Ak vodič nabitý nesúhlasnými nábojmi **vyberieme z elektrického poľa, elektrická indukcia zanikne**; vodič sa vráti do pôvodného stavu

V rovnovážnom stave je vektor $\vec{E}$ vždy kolmý na povrch vodiča. Ak by tangenciálna zložka $\vec{E}_t \neq 0$, častice s nábojom na povrchu vodiča by sa jej účinkom pohybovali, čo v rovnovážnom stave nie je možné. Vodič ovplyvní tvar siločiar elektrostatického poľa tak, že vždy budú kolmé na jeho povrch. To znamená, že povrch vodiča je hladinou potenciálu. Tento poznatok sa využíva pri uzemňovaní – ak povrch vodiča vodivo spojíme s povrchom Zeme, bude mať rovnaký potenciál ako povrch Zeme.

2.3.3 Nevodič (izolant, dielektrikum) v elektrickom poli



Nevodiče (izolanty, dielektriká) obsahujú rovnako ako vodiče veľký počet častíc s nábojom, z ktorých sú zložené ich atómy alebo molekuly, no takmer všetky nabité častice sú v dielektrikách viazané vzájomnými silami tak, že sa nemôžu v látke voľne pohybovať.

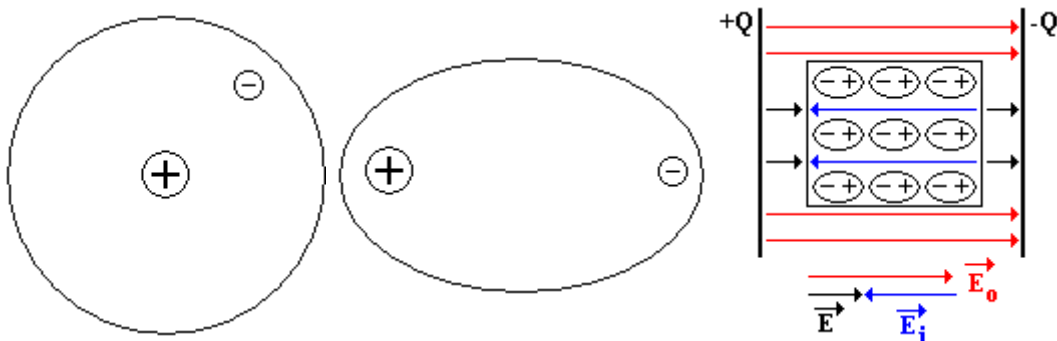


V nevodiči sú elektricky nabité častice viazané – ich pohyb je viazaný na vzdialenosti rádovo rovné rozmerom atómov. Ak nevodič vložíme do elektrického poľa, na kladné častice tvoriace jeho atómy a molekuly budú pôsobiť elektrické sily v smere intenzity elektrického poľa a na záporné proti smeru intenzity. Preto sa atómy a molekuly nevodiča zmenia na útvary, ktoré majú v jednej časti prevahu kladného náboja a v druhej časti prevahu záporného náboja. Nazývame ich **elektrické dipóly**.

Polarizácia dielektrika

Pôsobením síl vonkajšieho elektrického poľa na izolant sa ťažisko protónov v atómoch posunie o veľmi malú vzdialenosť v smere intenzity $\vec{E}_e$ a ťažisko elektrónov v opačnom smere. Atómy alebo molekuly v izolante sa stávajú elektrickými dipólmi.

Utvorenie dipólov a ich pravidelné usporiadanie sa prejaví tak, že sa na povrchu dielektriká objaví tenká vrstva s viazanými elektrickými nábojmi; táto vrstva je zdrojom nového elektrostatického poľa.



Polarizáciou dielektrika sa utvorí vnútorné elektrické pole s intenzitou $\vec{E}_i$ opačného smeru, ako je smer intenzity $\vec{E}_e$ vonkajšieho elektrického poľa. Intenzita $\vec{E}$ výsledného poľa má smer intenzity $\vec{E}_e$ a jej veľkosť je $|\vec{E}| = |\vec{E}_e| - |\vec{E}_i|$. Intenzita výsledného poľa je vždy menšia ako intenzita poľa, ktoré polarizáciu vyvolalo, a preto platí:

$$\epsilon_r = \frac{|\vec{E}_e|}{|\vec{E}|}$$

kde ϵ_r je relatívna permitivita dielektrika (je to látková konštanta, ktorá má pre rozličné dielektriká rozdielnú hodnotu).

Intenzita elektrického poľa v nevodiči (izolante, dielektriku) je za inak rovnakých podmienok ϵ_r -krát menšia ako intenzita elektrického poľa vo vákuu.

Informačná tabuľka - relatívne permitivity ϵ_r niektorých látok
(pri teplote 18°C a tlaku 10⁵ Pa)

Pevná látka	ϵ_r	Kvapalina	ϵ_r	Plyn	ϵ_r
Bridlica	6,6 - 7,4	Benzén	2,3	Amoniak	1,007 20
Drevo	2-8	Etanol	24	Dusík	1,000 61
Kamenná soľ	5,6	Glycerol	43	Hélium	1,000 07
Kremeň	4,4	Chloroform	5,2	Kyslík	1,000 55
Mastenec	4,1 - 6,4	Kyselina mravčia	58	Metán	1,000 94
Papier	2 - 2,5	Metanol	34	Oxid siričitý	1,009 50
Parafín	2	Petrolej	2	Oxid uhoľnatý	1,000 69
Porcelán	6	Ricínový olej	4,6	Oxid uhličitý	1,000 96
Sklo	5 - 16	Terpentín	2,3	Vodík	1,000 26
Sľuda	6-8	Voda	81	Vzduch	1,000 60

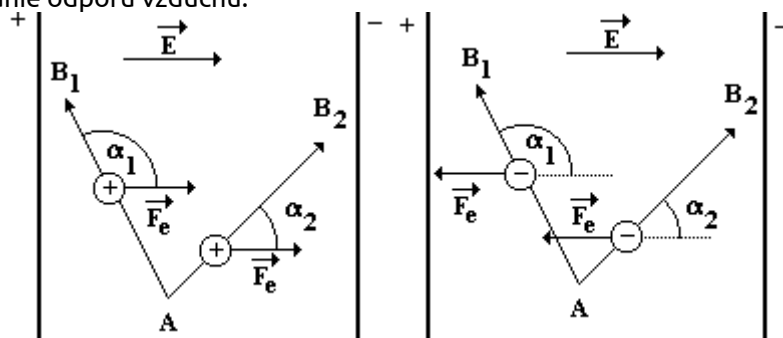
Keď sú v homogénnom izotropnom dielektriku umiestnené vo vzdialenosti r dva voľné bodové náboje s veľkosťou Q_1 a Q_2 , potom na každú z nich pôsobí elektrická sila s veľkosťou:

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

kde $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ je permitivita dielektrika, ϵ_0 je permitivita vákuu, pričom $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, teda $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$.

2.3.4 Práca v elektrostatickom poli, elektrické napätie

Dve rovnobežné kovové opačne nabitú dosky vytvárajú medzi sebou homogénne elektrostatické pole. Ak vložíme do tohoto poľa malú vodivú guľičku upevnenú na nevodivom vlákne, tak pri vychýlení, pri ktorom sa guľička dotkne jednej z dosiek, začne guľička kmitať medzi doskami. Pri každom náraze zmení znamienko svojho náboja, a preto sa zmení smer elektrostatickej sily, ktorá koná prácu nutnú na urýchlenie guľičky a na prekonanie odporu vzduchu.



Prácu, ktorú vykoná elektrostatická sila $\vec{F}_e$ pri premiestnení bodového náboja q , najjednoduchšie vypočítame pri priamočiarom posunutí tohoto náboja v homogénnom elektrostatickom poli. Môžeme preto napísať vzťah:

$$W = F_e d \cos \alpha = q E d \cos \alpha$$

kde d je dráha, po ktorej sila na guľičku pôsobila, a α je uhol meraný v zápornom zmysle od smeru posunutia k vektorovej priamke, na ktorej leží sila $\vec{F}_e$ (podľa obrázku).

Rovnako ako pri výpočte mechanickej práce je α uhol, ktorý zvierá vektor elektrostatickej sily $\vec{F}_e$ so smerom pohybu guľičky (rovnako ako v prípade výpočtu mechanickej práce).

1. $W > 0$ - elektrostatická sila prácu koná.
2. $W < 0$ - elektrostatická sila prácu spotrebovávajú (prácu teda koná vonkajšia sila).

Prácu, ktorú vykoná elektrostatická sila pri premiestnení bodového náboja z bodu A do bodu B v elektrostatickom poli, nezávisí od tvaru trajektórie a je priamo úmerná prenášanému náboju q :

$$W_{AB} \approx q \cdot \text{Konštantou úmernosti je elektrické napätie } U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}; [U] = J \cdot C^{-1} = V \text{ (volt)}.$$

Elektrické napätie nezávisí od tvaru trajektórie ani od veľkosti prenášaného náboja, je určené len polohou obidvoch bodov. V homogénnom poli dostávame: $U = E \cdot d \cdot \cos \alpha$, odkiaľ dostávame tiež jednotku elektrickej intenzity: $[E] = V \cdot m^{-1}$.

Dôležité je si uvedomiť, že napätie sa meria, vzniká, ... , vždy medzi dvomi bodmi ! Nie je možné ukázať na vodič a povedať: „Tam je napätie 20 voltov !“. Je dôležité ukázať, medzi ktorými dvomi bodmi je uvedené napätie. Inak je výrok nezmyselný a nie je možné určiť, či je to pravda alebo nie.

2.3.5 Kapacita vodiča. Kondenzátor. Energia kondenzátora

Kapacita je schopnosť vodiča hromadiť na sebe elektrický náboj. Fyzikálna veličina **kapacita** C charakterizuje mieru tejto schopnosti. Je mierou úmernosti náboja nahromadeného na vodiči a jeho potenciálu:

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

Ak nabíjame osamotený vodič vo vákuu, medzi nábojom Q a potenciálom φ je priama úmernosť $Q = C \cdot \varphi$, táto konštanta úmernosti medzi nábojom a potenciálom sa nazýva kapacita C .

Jednotkou kapacity je **jeden farad** F . $[C] = \frac{[Q]}{[\varphi]} = \frac{[1C]}{[1V]} = [1F]$. Jeden farad je kapacita vodiča, ktorý sa nábojom $1C$ nabije na potenciál $1V$.

Kapacita vodiča tvaru gule s polomerom r je

$$C = \frac{Q}{\varphi} = \frac{Q}{\frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r}} = 4\pi\epsilon r \text{ kde } \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r}; Q = 4\pi\epsilon r \varphi$$

Aby mala guľa kapacitu $1F$, musela by mať polomer $9 \cdot 10^9 m$. Farad je veľká jednotka kapacity, používame v praxi diely: $[mF]$, $[nF]$, $[pF]$. Kapacita vodiča závisí od veľkosti a tvaru vodiča, od prostredia okolo vodiča a od rozmiestnenia iných vodičov v okolí. Kapacita osamelého vodiča je veľmi malá, preto sa v praxi využívajú kondenzátory. Kondenzátor je vodič upravený tak, aby mal veľkú kapacitu. Najjednoduchší je doskový kondenzátor, čo je sústava dvoch plochých vodičov (rovnobežné dosky s plochou S a vzájomnou vzdialenosťou d) oddelených od seba tenkou vrstvou vzduchu alebo dielektrika.

Ak pripojíme k doskám kondenzátora napätie U , tak pre náboj, ktorý sa na nich nahromadí, bude platiť vzťah:

$$Q = C \cdot U$$

Kapacita kondenzátora závisí od vzájomnej vzdialenosti dosiek d , na plošnom obsahu účinnej plochy S (plocha dosiek, ktoré sa prekrývajú) a permitivite dielektrika ε .

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot S}{d}$$

Kondenzátor sa vďaka schopnosti hromadiť na sebe náboj môže stať krátkodobým zdrojom prúdu.

Energia elektrického poľa nabitého kondenzátora

Pri nabíjaní platňového kondenzátora sa koná práca. Postupným prenášaním náboja na jednu z platní kondenzátora zväčšuje sa celkový náboj Q tejto platne, čím sa zväčšuje aj napätie U medzi platňami. Pre vykonanú prácu platí:

$$W = \int F \cdot ds = \int EQ \cdot ds = \int Q \cdot dU = \int CU \cdot dU = C \int_0^U U \cdot dU = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} QU$$

Spojením kondenzátorov získame kondenzátor inej kapacity. Možno ich zapojiť paralelne alebo sériovo.