

Elektromagnetické jevy, elektrické jevy

4. Elektrický náboj, elektrické pole

4.1 Základní poznatky (druhy el. náboje, vodiče, izolanty)

Některé látky se třením dostávají do zvláštního stavu – přitahují lehká tělíska.

Můžeme to pozorovat již ve starověku na jantaru (řecky – elektron).

Stav, kdy těleso přitahuje lehká tělíska byl nazván elektrickým stavem. Příčinou tohoto stavu je elektřina.

V tělese, které je v elektrickém stavu říkáme, že je elektricky nabitě a nese elektrický náboj.

Rozlišujeme dva druhy látek:

1) vodiče elektřiny – přenáší elektrický stav

U vodičů je elektrický stav na celém povrchu – elektrický náboj se pohybuje.

2) nevodiče elektřiny (izolanty) – nepřenáší elektrický stav

U izolantů je elektrický stav jen v místě dotyku – elektrický náboj se nepohybuje.

Elektrický stav lze přenášet dotykem.

Při vzájemném tření se obě tělesa nabíjí opačně.

Existují dva druhy elektrických nábojů:

1) kladný – tření skla kůží (zvoleno dohodou)

2) záporný – tření novoduru či ebonitu srstí

Elektrické náboje se chovají dvojnásobem a to:

1) souhlasné – souhlasné náboje se odpuzují.

2) nesouhlasné – nesouhlasné náboje se přitahují.

4.2 Coulombův zákon

Je zákon, který se zabývá jakou elektrickou silou na sebe působí dva hmotné body nesoucí náboj a jak tato síla závisí na vzdálenosti nábojů.

Pro jeho odvození využijeme základní poznatky z gravitačního zákona.

Gravitační zákon byl v následujícím tvaru: $F_g = \chi \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$

m_1 - hmotnost jednoho tělesa

m_2 - hmotnost druhého tělesa

r – vzdálenost středů obou těles

χ - gravitační konstanta

Jestliže velká tělesa nahradíme malými tělesy o stejném tvaru (hmotné body) můžeme odvodit Coulombův zákon.

Porovnáváním elektrických sil při různých vzdálenostech bodových nábojů dostaneme: F je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti bodových nábojů.

Coulombův zákon: $F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$

Q_1 – elektrický náboj jednoho hmotného bodu

Q_2 – elektrický náboj druhého hmotného bodu

r – vzdálenost středů obou hmotných bodů

Jednotka náboje Q: 1 C – coulomb

Slovně 1 C

Je to množství náboje, které projde průřezem vodiče při proudu 1A za 1s.

Konstanta k

Konstanta úměrnosti závisí na prostředí, ve kterém se náboje nacházejí. Pro vakuum má hodnotu: $k = 8,9876 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

Slovně Coulombův zákon

Elektrická síla, kterou na sebe navzájem působí dva hmotné body s elektrickými náboji Q_1 a Q_2 , je přímo úměrná součinu nábojů a nepřímo úměrná druhé mocnině vzájemné vzdálenosti obou hmotných bodů.

4.3 Elektrické pole a jeho vztah k náboji

Každé nabitě těleso má kolem sebe elektrické tíhové pole. Nabitá tělesa na sebe navzájem působí prostřednictvím těchto polí. Toto pole charakterizuje **intenzita elektrického pole E**. E je elektrická síla, která působí na bodový náboj Q v libovolném bodě pole. Definujeme jí:

$E = \frac{F}{Q}$; jedná se o vektorovou veličinu; tudíž je vždy dán směr intenzity elektrického pole

Nebo tvar vyplývající z Coulombova zákona: $E = k \cdot \frac{Q}{r^2}$ (platí pouze pro radiální pole).

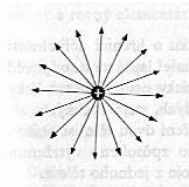
Elektrická siločára

Elektrické pole si lze snáze představit pomocí siločar.

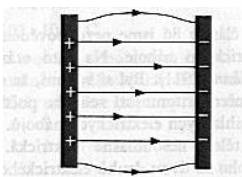
Siločára určuje směr intenzity elektrického pole svou tečnou a je orientovaná od + k -.

Hustota siločar (počet siločar na jednotku plochy) by měla být číselně rovna E.

Podle siločar máme několik druhů polí:

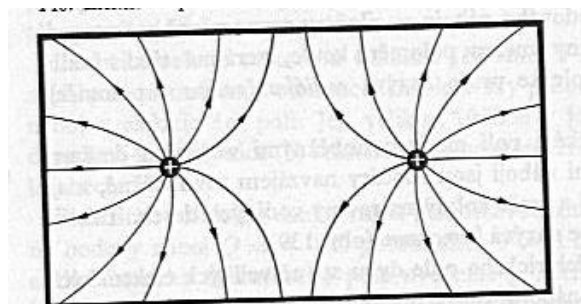


a) radiální – pole od jednoho náboje. Siločáry se rozestupují rovnoměrně na všechny strany. U kladného náboje vystupují ven, u záporného vstupují dovnitř.

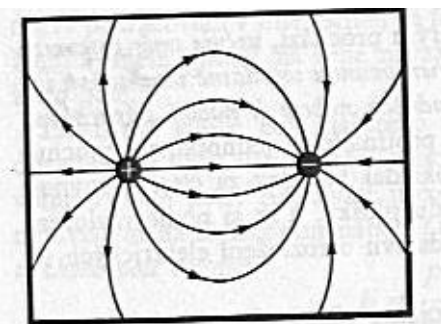


b) homogenní – vzniká mezi dvěma rovnoběžnými deskami

c) dvou nábojů
suhlasné náboje



nesuhlasné náboje



4.4 Elementární elektrický náboj

Elektrický náboj nelze dělit do nekonečna. Existuje nejmenší hodnota – **elementární elektrický náboj**. Označíme ho e a jeho hodnota je: $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Důkaz: Millikanův pokus

Millikan pozoroval mikroskopem pád malých olejových kapiček v tíhovém poli mezi dvěma vodorovnými vodivými deskami. Mezi nimi je homogenní elektrické pole. Na kapičky působí i síly elektrické. Dokázal elektrickou silou rušit sílu tíhovou. V tu chvíli jsou veškeré síly působící na kapičky v rovnováze. Kapičky ozáříme rentgenovým zářením. Ukazuje se, že kapičky získaly dodatkový náboj a to se projevilo na změně rychlosti kapiček. Rychlost se měnila skokem a odpovídá změně o nejmenší elektrický náboj.

Ukazuje se, že pokud to opakujeme s různými látkami je e stejné a platí to i pro všechna prostředí.

4.5 Zvláštní soustavy nábojů: vodiče a izolanty

Elektrické náboje jsou obsaženy v částicích, z nichž se skládají látky.

Atom

Atom je částice složená z jádra, které nese kladný náboj a z elektronového obalu, v němž obíhají elektrony. Elektrony mají náboj záporný.

V atomu je stejný počet protonů a elektronů, proto je atom navenek neutrální.

Proton a elektron

Atomové jádro vodíku je přibližně 1836 krát těžší než elektron a označíme ho jako **proton**.

Ion

Pro odtržení jednoho nebo více elektronů převládá kladný náboj jádra – **vzniká kladný ion**.

Připojením jednoho nebo více elektronů převládá záporný náboj – **vzniká záporný ion**.

Ionizační práce

Na odtržení elektronu z atomu je třeba vykonat práci.

Dipól

Ukazuje se, že chemické vazby souvisí s elektronovými obaly.

Příklad: atom Cl má 7 elektronů ve vnější vrstvě a atom Na má 1 elektron v této vrstvě.

Přiblížíme oba atomy k sobě a vznikne vazba mezi elektronem Na a atomem Cl a vytvoří se záporný ion. Naproti tomu atom sodíku elektron ztratil a stává se kladným iontem. Vytvořil se útvar mezi dvěma póly – **dipól**.

Dipól má vnější elektrické pole. Dipóly jsou usměrněny a vytvoří známou mřížku NaCl.

Všechny náboje jsou ale vázány, a proto je NaCl nevodivá.

Izolant

Je látka, v níž jsou elementární náboje pevně vázány. Absolutní izolant neexistuje. V každé mřížce jsou vždy nečistoty, které způsobují malou vodivost.

Vodič

Vodiče jsou látky obsahující volně pohyblivé částice (volné elektrony) a ty nám zajišťují vodivost.

4.6 Vliv nevodičů na elektrické pole. Polarizace

Vložíme-li izolant do elektrického pole posunou se v atomu kladně nabitě jádro a záporně nabitý obal podle orientace intenzity elektrického pole a atom vytvoří dipól. Dipóly svým polem zeslabují původní elektrické pole.

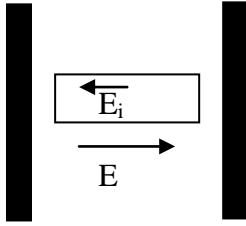
V místě, kde siločáry do izolantu vstupují jsou záporné póly, v místě, kde vystupují, jsou kladné póly.

Protože náboje pólů jsou vázané, nelze je odvést.

My říkáme, že izolant polarizoval. Tzn. Izolant v elektrickém poli se změnil na dipól.

Pole uvnitř izolantu je slabší než vnější pole.

Podíl intenzit těchto polí je relativní permitivita: $\epsilon_r = \frac{E}{E - E_i}$.



Relativní permitivita udává, kolikrát je výsledná intenzita elektrického pole uvnitř izolantu menší než vně.

Je-li na kouli o poloměru r a elektrický náboj Q je jeho

plošná hustota náboje: $\sigma = \frac{Q}{4\pi r^2}$. $[\sigma] = C \cdot m^{-2}$

Slovně: plošná hustota je elektrický náboj na plochu.

Víme, že intenzita el. pole při povrchu koule je: $E = k \cdot \frac{Q}{r^2} = k \cdot \frac{4\pi Q}{4\pi r^2} = k \cdot 4 \cdot \pi \cdot \sigma$.

Dosadíme-li do této rovnice za: $k = \frac{1}{4\pi \epsilon}$

ϵ – permitivita prostředí

dostaneme tvar: $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$.

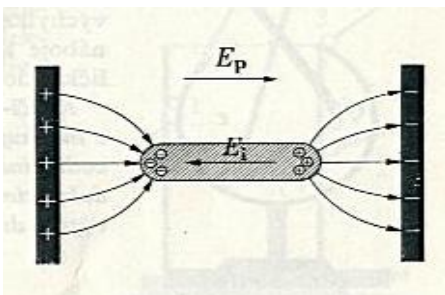
Coulombův zákon má tvar: $F = \frac{1}{4\pi \epsilon} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$

Permitivita prostředí ϵ se pro vakuum nahrazuje ϵ_0 a platí: $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$

Hodnota permitivity vakua je $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2}$

4.7 Vodič v elektrickém poli. Indukce

Vodič v elektrickém poli rovněž pozmění strukturu pole. Příčinou toho jsou volné částice s elektrickým nábojem ve vodiči.

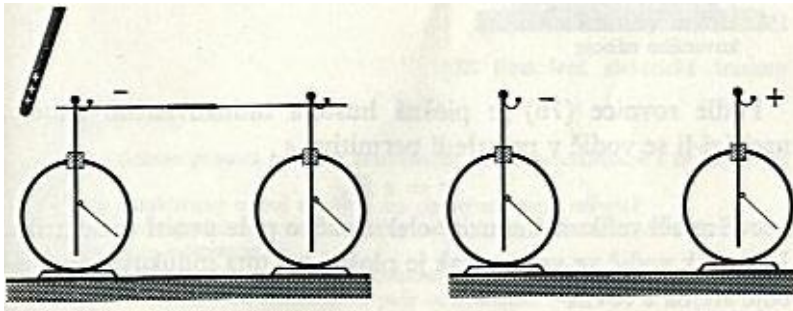


Vložíme-li kovový vodič do elektrického pole o intenzitě E_p , vznikne elektrické pole i ve vodiči. Od izolantu

(vázané elektrony) se liší tím, že v něm jsou volné elektrony nesoucí záporný elementární náboj (platí pro kovový vodič), usměrní se jejich pohyb proti směru intenzity el. pole. Elektrony se nahromadí na straně, kde siločáry vstupují do vodiče. Posunuté elektrony jsou zdrojem elektrického pole, jehož intenzita E_i je opačná než původního pole. Jsou-li obě pole stejná nastane

rovnováha. Díky tomu nebude ve vodiči elektrické pole. Bude část vodiče kam vstupují siločáry vnějšího pole a ta bude záporně nabitá. Část, ze které siločáry vystupují kladně nabitá. A tomuto elektrování říkáme **indukce**.

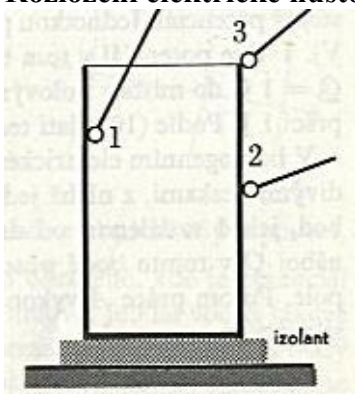
Příklad indukce na vodiči (ukazuje vznik obou nábojů)



Zavádíme vektor elektrické indukce: $D = \epsilon \cdot E$, $[D] =$

$C \cdot m^{-2}$.

Rozložení elektrické hustoty:



Elektrický náboj je rozložený nerovnoměrně. Dotkne-li se kulička při dotyku zvnitřku (1), vůbec se nenabije. Při dotyku zvnějšku se nabije a nejvíce se nabije při dotyku vnější hrany. Na vypuklých částech či na hranách či hrotech, je el. plošná hustota největší, kdežto na dutých je malá a uvnitř vodiče je rovna nule. Při rovnovážném rozložení el. nábojů na povrchu vodiče je vnitřek vodiče bez elektrické pole. Před jeho vlivem jej chrání vodivý obal. V praxi takto funguje hromosvod.

4.8 Elektrický potenciál a elektrické napětí

El. pole charakterizuje intenzita el. pole E . Na volný bodový el. náboj Q v homogenní el. poli o intenzitě E působí síla $F = Q \cdot E$ a uvádí tento náboj do zrychleného pohybu. Při posunutí el. náboje Q o Δs ve směru síly F vykoná pole práci $\Delta W = F \cdot \Delta s = Q \cdot E \cdot \Delta s$.

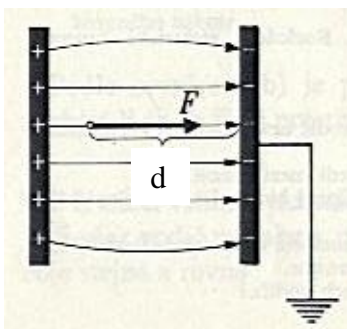
El. pole můžeme napsat i pomocí veličiny zvané potenciál, která s prací souvisí. Rozdíl potenciálů $\Delta \varphi$ odpovídá práci, kterou je třeba vykonat při přemístění kladného náboje Q v el.

poli po dráze Δs : $\Delta \varphi = \frac{\Delta W}{Q} = E \Delta s$, $[\varphi] = 1 J C^{-1} = 1 V$ (volt)

V praxi se za polohu nulového potenciálu volí zpravidla zemský povrch nebo vodič spojený vodivě s povrchem Země (uzemněný).

Definice 1 voltu:

1 volt je potenciál v tom bodě pole, odkud na přenesení náboje 1C do místa s nulovým potenciálem el. síly vykonají práci 1J.



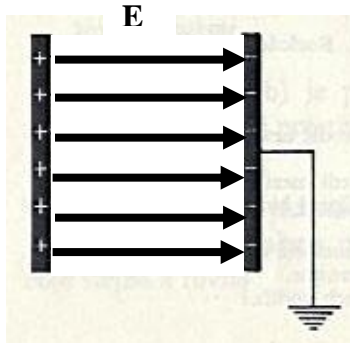
Elektrické napětí

V homogenním el. poli mezi dvěma rovnoběžnými vodivými deskami, z nichž jedna je uzemněná, uvažujeme bod, jeho vzdálenost od desky s nulovým potenciálem je d . Na náboj Q v tomto bodě působí síla $F = Q \cdot E$. Práce vykonaná na přenesení

náboje W po délce d siločáry je $W = F \cdot d = Q \cdot E \cdot d$, potom potenciál je: $\varphi = \frac{W}{Q} = E \cdot d$

Pro intenzitu el. pole odtud zavedeme pro E jednotku: $[E] = V \cdot m^{-1}$

4.8 Pojem kapacity. Kondenzátor



Hledejme, jak se mění potenciál izolovaného vodiče, na který přivádíme el. náboj. Hladinu nulového potenciálu vytváří přitom druhý vodič, který je uzemněný. Úvahu provedeme na případě rovnoběžných vodivých desek, jejichž vzdálenost je d a je mezi nimi homogenní pole. Neuzemněná deska je rovnoměrně elektrovaná, s plošnou hustotou $\sigma = \varepsilon \cdot E$. Při plošném obsahu desky je náboj $Q = S \cdot \sigma = S \cdot \varepsilon \cdot E$. Zavedeme potenciál: $\varphi = E \cdot d$, dosadíme za $E = \frac{Q}{\varepsilon \cdot S}$ dostaneme $\varphi = \frac{Q}{\varepsilon \cdot S} \cdot d$ a odtud

plyne vztah náboje a potenciálu $Q = \frac{\varepsilon \cdot S}{d} \cdot \varphi = C \cdot \varphi$

Objevuje se tu nová veličina **C – kapacita** a má tvar $C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d} = \frac{Q}{\varphi}$.

Kapacita závisí na tvaru vodičů (deska, kruh) a na permitivitě prostředí.

Jednotka kapacity: $[C] = \frac{[Q]}{[\varphi]} = \frac{C}{V} = C \cdot V^{-1} = 1 F$ (*farad*)

Definice faradu:

Vodič má kapacitu 1 F, jestliže se nábojem 1 C nabije na elektrický potenciál 1 V. Kapacita vodiče závisí na jeho tvaru a velikosti.

1 F je velká jednotka, proto budeme používat tyto jednotky: mikrofarad ($10^{-6} F$), nanofarad ($10^{-9} F$), a pikofarad ($10^{-12} F$).

Kondenzátor

Kondenzátor slouží ke kumulování (hromadění) el. energie.

Použití:

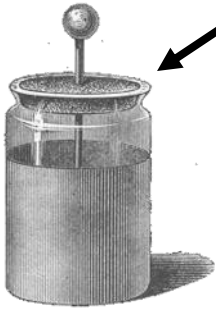
Fotoblesk – během relativně pomalého nabíjení se v kondenzátoru hromadí el. náboj a tím se v něm vytváří el. pole. Kondenzátor tuto energii uchová a po spuštění fotoblesku se nahromaděná energie rychle uvolní.

Regulační prvky v obvodech – ladíme jimi rádiové a televizní vysílače i přijímače.

Integrované obvody

Defibrilátory – hrudní dutinou pacienta musí projít el. proud asi 20 A a přenést přibližně 200 J el. energie v průběhu 2 ms. Tomu odpovídá výkon 100 KW.

Druhy: válcový, kulový, svitkový, otočný, keramický, elektrolytický, Leydenská láhev



Leydenská láhev - je první záměrně konstruovaný kondenzátor, který především v 18. století sloužil jako zásobník elektrického náboje při experimentech s elektřinou.

Princip: Leydenská láhev je skleněná nádoba, jejíž vnější i vnitřní povrch je polepen vodivým materiálem. Sklo nádoby slouží jako dielektrikum, které oba polepy odděluje. Z vnitřního polepu vede hrdlem láhve ven vodič, zakončený kovovou koulí.

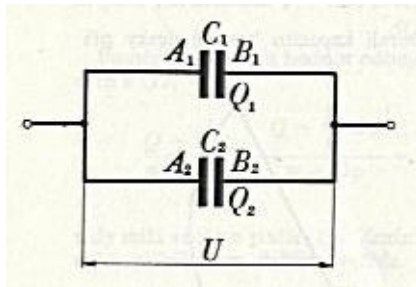
Velikost kapacity kondenzátoru

určíme jí z kapacity: $C = \frac{Q}{\varphi} \Rightarrow$ Kapacita kondenzátoru se rovná poměru náboje na neuzemněném vodiči (druhý je uzemněný) a jeho potenciálu. Není-li druhý vodič uzemněný, je nutno místo rozdílu potenciálu dvou vodičů kondenzátoru $\Delta\varphi = U$, tedy napětí $C = \frac{Q}{U}$.

4.8 Kombinace kondenzátorů

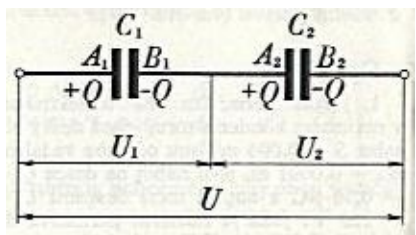
Kondenzátory je možno spojovat v celky a dosahovat tím různých kapacit. Kondenzátory spojujeme vedle sebe (paralelně) nebo za sebou (sériově).

Paralelní spojení



Při paralelním spojení kondenzátorů mají vodiče A_1, A_2, B_1, B_2 , stejné napětí, platí proto: $Q_1 = C_1 \cdot U, Q_2 = C_2 \cdot U$ spojením vytvoříme: $Q = Q_1 + Q_2 = (C_1 + C_2) \cdot U = C \cdot U$.
Výsledná kapacita je: $C = C_1 + C_2$

Sériové spojení



Při sériovém spojení kondenzátorů to bude vypadat jinak. První kondenzátor se nabije nábojem $+Q$ čímž se indukuje na vodiči B_1 , spojeném s A_2 , nesouhlasný náboj $-Q$ a na A_2 souhlasný stejně velký náboj $+Q$, díky tomu mají oba kondenzátory stejný náboj: $Q = C_1 \cdot U_1, Q = C_2 \cdot U_2$, kde U_1 je napětí na prvním kondenzátoru a U_2 je napětí na druhém kondenzátoru, proto napětí na A_1 a B_2 je:

$$U = U_1 + U_2 = Q \cdot \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) = \frac{Q}{C}$$

Výsledná kapacita je: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

Energie nabitého kondenzátoru

Nabíjením kondenzátoru konáme práci, protože se na něj přenáší náboje souhlasné a musíme překonávat odpudivé síly elektrického pole. Nechť je kondenzátor nabit nábojem Q_1 na napětí U_1 , takže $Q_1 = C \cdot U_1$.

Přidáme-li náboj ΔQ , napětí se zvýší o $\Delta U = \frac{\Delta Q}{C}$ a tím vykonáme práci:

$W_1 = \Delta Q \cdot U_1 = \Delta Q \frac{Q_1}{C} = Q_1 \cdot \Delta U$, přidáme-li další náboj ΔQ se vykoná práce

$W_2 = \Delta Q \cdot U_2 = Q_2 \cdot \Delta U$, kde $Q_2 = Q_1 + \Delta Q, U_2 = U_1 + \Delta U$.

Celkovou W určíme tak, že náboj bude funkcí napětí $Q = C \cdot U$ (znázorněno v grafu, přímka).

Na obrázku je vyznačena vždy dvojice k sobě příslušných napětí a nábojů.

Práce vykonané přivedením velmi malého náboje ΔQ jsou $W_1 = Q_1 \cdot \Delta U, \dots$. Celková práce je potom $W = W_1 + W_2 + \dots$. Vyjdeme-li ze stavu, kdy $U = 0V, Q = 0C$, je celková práce znázorněna (v grafu) plochou trojúhelníku se základnou U a výškou Q .

Energie nabitého kondenzátoru se rovná práci: $W = \frac{1}{2} Q \cdot U = \frac{1}{2} C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$

