V. Elektrické pole - základná terminológia

KPHV FVT TUKE

Elektrický náboj

KPHV FVT TUKE

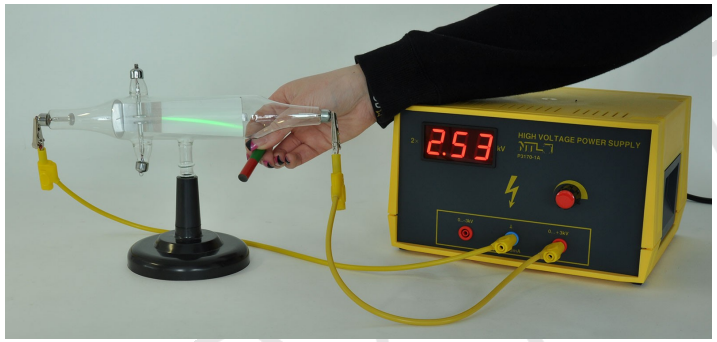
1897 - Joseph John Thomson - objav elektrónu (štúdium elektrickej vodivosti plynov, vlastností katódového žiarenia)
1906 - Nobelova cenu za fyziku (časticová fyzika)

KPHV FVT TUKE

Britský fyzik J. J. Thomson experimentoval s katodovou trubicou a dokázal jej lúč ohnúť v magnetickom poli a zmerať smer, ktorým ho ohol. To mu umožnilo zistiť hmotnosť a náboj. Tvrdil, že tento lúč je tvorený malými časticami s menšou hmotnosťou ako majú atómy a teda po prvýkrát sa zistilo, že existuje niečo menšie ako atóm.

Dnes už vieme, že elektróny nie sú iba zdrojom elektrického prúdu (aj keď tam hrajú veľmi dôležitú úlohu), ale bez nich by sa nikdy nevytvorili molekuly a atómy by ostali oddelené (keďze poskytujú rovnováhu, aby atóm "neutralizovali". **Elektróny sú teda dôvodom prečo vôbec existuje nejaké hmota.**

KPIH EVT TUKE



Katodová trubica - elektronické zariadenie (sklenená banka resp. trubica plnená vákuom alebo zriedeným plynom, v ktorej sú minimálne dve elektródy - katóda a anóda), ktorým po pripojení k elektrickému napätiu precháza (v prostredí trubice) elektrický prúd.

KPHV FV TUKE

Elektromagnetická interakcia je druh interakcie medzi hmotnými objektami v elektrickom stave (medzi elektricky nabitými dipólmi, medzi vodičmi, ktorými preteká elektrický prúd a pod.)

Elektromagnetická sila je sila (priťažlivá alebo odpudivá), ktorá je mierou elektromagnetickej interakcie. Je to sila s dlhým dosahom (vzhľadom na rozmery interagujúcich telies pôsobí na veľkú vzdialenosť).

Elektrický náboj Q je skalárna fyzikálna veličina, ktorá charakterizuje vlastnosť hmotných objektov vstupovať do elektromagnetickej interakcie. Je to vlastnosť protónov a elektrónov.

Bodový náboj je hmotný bod s nábojom.

Jednotkou elektrického náboja je coulomb C. Jeden coulomb je elektrický náboj, ktorý prejde prierezom vodiča za čas (t) jednu sekundu pri stálom prúde (I) jeden ampér.

$$[Q] = [I] \cdot [t] = A \cdot s = C$$

KFHV FVT TUKE

1.) Existujú dva druhy elektrického náboja (teda aj elektrického stavu): kladný (elektrický náboj sklenej tyče trenej amalgámovou kožou) a záporný (elektrický náboj ebonitovej tyče trenej srsťou).

2.) Hmotné objekty so súhlasným nábojom sa odpudzujú, s opačným nábojom sa priťahujú.

3.) Elektrický náboj je deliteľný až po elementárny elektrický náboj $e = 1,602 \cdot 10^{-19} C$. Každý elektrický náboj je celočíselným násobkom elementárneho elektrického náboja.

4.) Elektrický náboj je významnou vlastnosťou elementárnych častíc (atómy, ióny...).

5.) Elektrický náboj uzavretej sústavy je konštantný; zákon zachovania elektrického náboja.

KPHV FVT TUKE

Veľkosť sily, ako charakteristiky elektromagnetickej interakcie, pre bodové náboje v pokoji vzhľadom na inerciálnu vzťažnú sústavu v pokoji prvýkrat odmeral (pomocou torzných váh) Charles Augustin de Coulomb v roku 1784.

Coulombov zákon:

Dva bodové elektrické náboje Q_1 a Q_2 v pokoji pôsobia na seba silou, ktorá je priamo úmerná súčinu ich veľkosti a nepriamo úmerna druhej mocnine ich vzdialenosti r:

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

$k = 9 \cdot 10^9 A^{-2} \cdot kg \cdot m^3 \cdot s^{-4}, \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} A^2 \cdot kg^{-1} \cdot m^{-3} \cdot s^4,$

ϵ_0 - permitivita vákua

Vektorový zápis Coulombovho zákona:

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|Q_1|\,|Q_2|}{r^3}\vec{r}_{12},\ |\vec{r}_{12}| = r$$

Ak náboje Q_1 a Q_2 majú súhlasné znamienka, tak sila $\vec{F}_{12}$ má ten istý smer ako vektor $\vec{r}_{12}$, náboje sa odpudzujú.

Ak náboje Q_1 a Q_2 majú opačné znamienka, tak sila $\vec{F}_{12}$ má opačný smer ako vektor $\vec{r}_{12}$, náboje sa priťahujú.

Podľa zákona akcie a reakcie (tretí Newtonov pohybový zákon) platí:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{12}$$

KPHV FVT TUKE

Elektrické pole

KPHV FVT TUKE

Elektromagnetické pole existuje okolo každého nabitého hmotného objektu, je to forma hmoty, ktorá sprostredkuje elektromagnetickú interakciu (interagujúce objekty si vymieňajú častice poľa, t.j. fotóny).

Elektrické pole je časť elektromagnetického poľa, prejavujúca sa silovým pôsobením na všetky elektricky nabité hmotné objekty, ktoré sa v ňom nachádzajú.

Elektrostatické pole je elektrické pole elektricky nabitých hmotných objektov, ktoré sú v pokoji v inerciálnej vzťažnej sústave.

Elektrické sily sú sily, ktorými elektrické pole pôsobí na elektricky nabité hmotné objekty.

Pozn. Okolo elektricky nabitého telesa je elektrické pole, ktoré sa prejavuje silovými účinkami na iné elektricky nabité telesá. Ak je elektrický náboj, ktorý pole utvára v pokoji, nazýva sa jeho pole elektrostatické pole.

KPHV FVT TUKE

Intenzita elektrického poľa $\vec{E}$ v istom mieste poľa je podiel elektrickej sily (ktorou v tomto mieste pôsobí elektrické pole na časticu s nábojom Q_0) a náboja Q_0, teda platí:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F_e}}{Q_0}$$

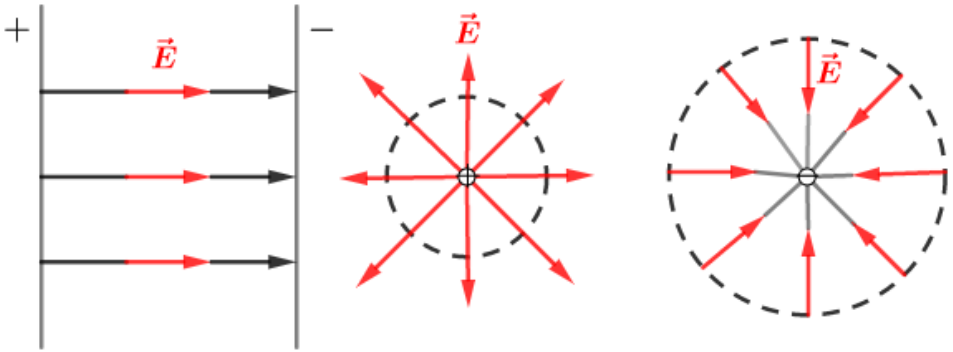
$$\vec{E} = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{QQ_0}{r^3}\vec{r}}{Q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^3}\vec{r}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^2} = k\frac{Q}{r^2},\ F_e = EQ_0$$

$$[E] = \frac{[F_e]}{[Q_0]} = \frac{1N}{1C} = A^{-1} \cdot kg \cdot m \cdot s^{-3}$$

Pozn. Intenzita elektrického poľa je vektorová veličina, ktorá charakterizuje elektrické pole.

KPHV FVT TUKE



1.) Homogénne elektrické pole má v každom bode rovnaký smer intenzity.

2.) Radiálne elektrické pole je v okolí bodového náboja Q a vektor jeho intenzity leží na polpriamke vchádzajúcej z náboja. Smer intenzity závisí od znamienka náboja.

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^3}\vec{r} \Rightarrow E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^2}$$

KPHV FVI JKE

Ak elektrická sila F_e premiestni časticu s nábojom Q_0 vo vzdialenosti d (z miesta A do miesta B) v elektrostatickom poli, potom vykoná prácu W, ktorá nezávisí od trajektórie, po ktorej sa častica s nábojom pohybuje.

Elektrický potenciál φ v istom mieste elektrostatického poľa je podiel práce W, ktorú vykonajú elektrické sily pri premiestnení častice s nábojom Q_0 (z miesta nulového elektrického potenciálu do uvažovaného bodu) a náboja Q_0.

$$\varphi = \frac{W}{Q_0} = \frac{F_e d}{Q_0}$$

$$[\varphi] = \frac{[W]}{[Q_0]} = \frac{1\,J}{1\,C} = \frac{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}}{A \cdot s} = A^{-1} \cdot kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} = 1\,V$$

Pozn. Symbolom d v tejto časti prezentácie označujeme vzdialenosť dvoch bodov, nábojov, dosiek kondenzátora,... Teda môžeme písať, že $r = d$.

KPHV FVT TUKE

Rozdiel elektrických potenciálov φ_A, φ_B v bodoch A a B elektrostatického poľa sa nazýva elektrické napätie U medzi bodmi A a B a platí:

$$U = \varphi_A - \varphi_B$$

$$W = F_e d = Q_0 E d = Q_0 U,$$

kde $U = Ed$ je napätie medzi doskami vo vzdialenosti d.

$$[U] = 1\,V$$

KPHV FVT TUKE

Ak nabíjame osamotený vodič (látka obsahujúca veľké množstvo voľných elektricky nabitých častíc, ktoré sa môžu pohybovať na vzdialenosti oveľa väčšie ako sú rozmery atómov) vo vákuu, medzi nábojmi Q a potenciálom vodiča φ je priama úmernosť, čiže platí:

$$Q = C\varphi,$$

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

Kapacita vodiča C je podiel náboja Q a potenciálu vodiča φ.

$$[C] = \frac{[Q]}{[\varphi]} = \frac{1C}{1V} = \frac{A \cdot s}{A^{-1} \cdot kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}} = 1F$$

Jeden Farad je kapacita vodiča, ktorý sa nábojom $1C$ nabije na potenciál $1V$.

KPHV FVT TUKE

Kapacita sústavy dvoch izolovaných vodičov je definovaná ako:

$$C = \frac{Q}{\varphi_A - \varphi_B} = \frac{Q}{U},$$

kde Q je náboj, ktorý treba preniesť z jedného vodiča na druhý, aby napätie medzi vodičmi bolo U.

Sústava dvoch izolovaných vodičov usporiadaná tak, aby mala istú hodnotu kapacity sa nazýva kondenzátor. Najjednoduchší typ je rovinný kondenzátor (dve vodivé dosky, jedná je nabitá nábojom $+Q$ a druhá nábojom $-Q$, medzi nimi je dielektrikum, t.j. nevodič, napr. vákuum) s kapacitou:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d},$$

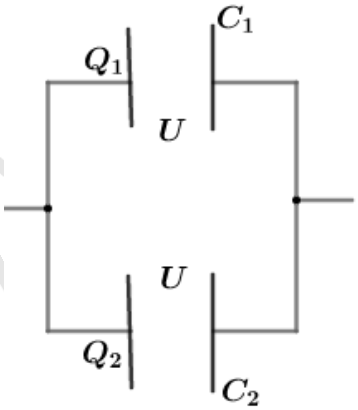
kde S je plošný obsah jednej dosky, d je vzdialenosť dosiek, ϵ_r je relatívna permitivita dielektrika.

KPHV FVT TUKE

Medzi doskami nabitého rovinného kondenzátora vznikne homogénne elektrické pole a platí:

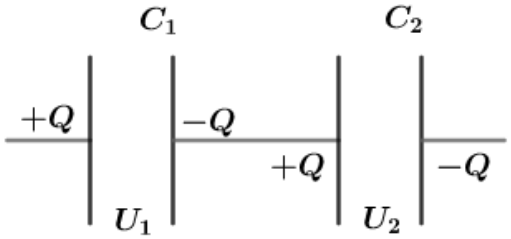
$$W = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}(CU)U = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}C\left(\frac{Q}{C}\right)^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}.$$

Spojením kondenzátorov (paralelne, sériovo) získame kondenzátor s inou kapacitou.



$$Q = Q_1 + Q_2$$
$$CU = C_1U + C_2U$$
$$C = C_1 + C_2$$

paralelné zapojenie



$$U = U_1 + U_2$$
$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

seriove zapojenie

KPH ŠVT TUKE