



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Elektrické pole

Ing. Stanislav Jakoubek

Přehled studijních materiálů

Číslo DUMu	Název DUMu
<u>III/2-3-3-01</u>	<u>Elektrický náboj a jeho vlastnosti</u>
<u>III/2-3-3-02</u>	<u>Silové působení elektrických nábojů</u>
<u>III/2-3-3-03</u>	<u>Elektrické pole a jeho intenzita</u>
<u>III/2-3-3-04</u>	<u>Elektrický potenciál a elektrické napětí</u>
<u>III/2-3-3-05</u>	<u>Vodič v elektrickém poli</u>
<u>III/2-3-3-06</u>	<u>Izolant v elektrickém poli</u>
<u>III/2-3-3-07</u>	<u>Kapacita vodiče, kondenzátor</u>
<u>III/2-3-3-08</u>	<u>Kondenzátory v technické praxi</u>



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Elektrický náboj a jeho vlastnosti

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-01
Anotace	Seznámíme se s vlastnostmi elektrického náboje. Budeme znát elektrický náboj jako fyzikální jev a jako fyzikální veličinu. Seznámíme se s elementárním nábojem.

Elektrický náboj a jeho vlastnosti

Víme:

- ▶ Pravítko třené hadrem přitahuje lehké předměty, například papírky
- ▶ Hřeben přitahuje suché vlasy
- ▶ U česání lze někdy slyšet slabý praskot nebo vidět drobné jiskření ...

Příčinou těchto jevů je **elektřina**

Veličina elektrický náboj

- ▶ Udává nám míru elektrických vlastností tělesa
 - ▶ Označení : Q
 - ▶ Jednotka: Coulomb
 - ▶ Označení jednotky: C
-
- ▶ Příklady zápisů: $Q=2C$; $Q=10\mu C$ (je to velká jednotka)

Charles-Augustin de Coulomb

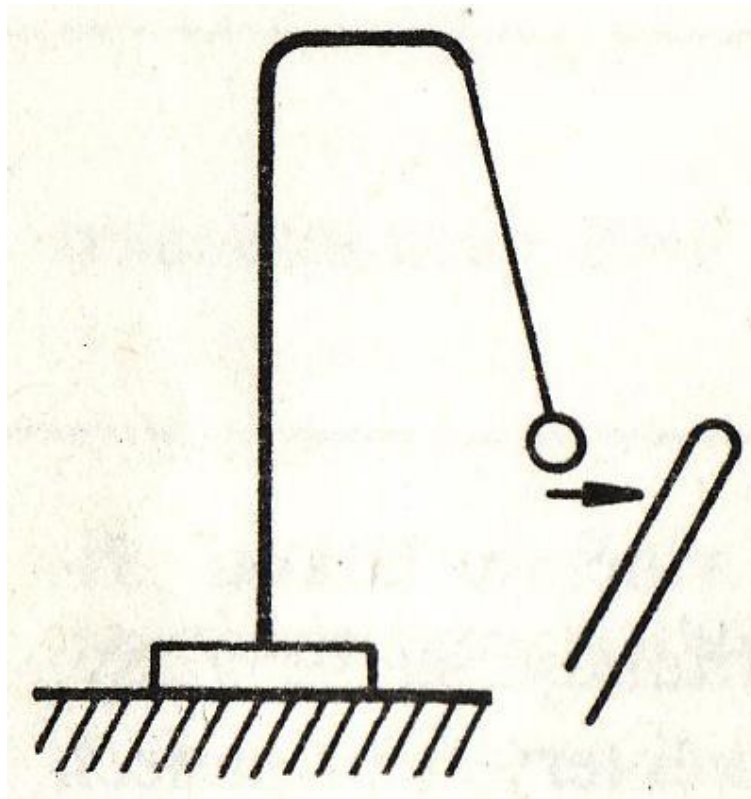
▶ 1736–1806



Dle [1]

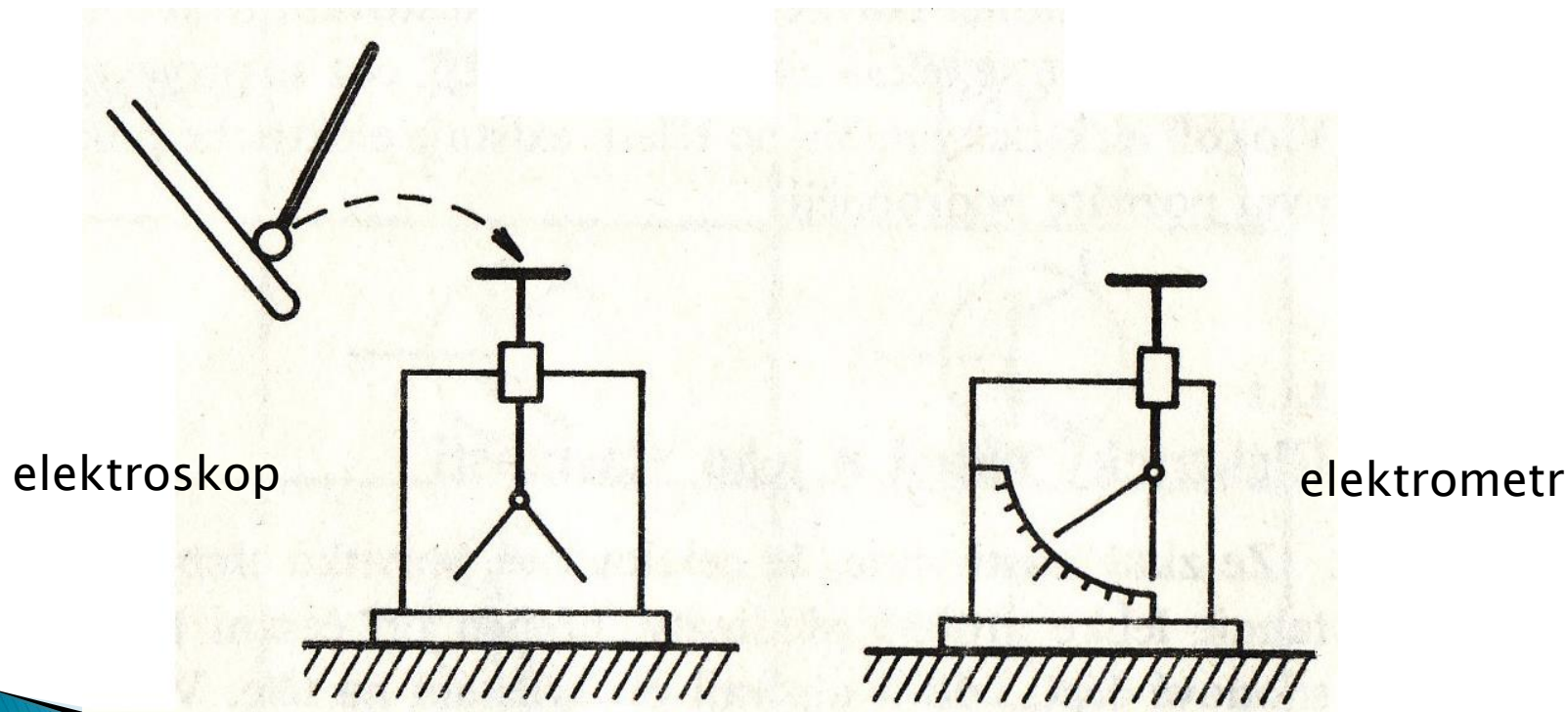
Vlastnosti elektrického náboje

- ▶ Nabité těleso působí silou na jiná tělesa



Vlastnosti el. náboje – pokrač.

- ▶ Elektrický náboj lze přenášet z povrchu jednoho tělesa na jiné těleso



Vlastnosti el. náboje – pokrač.

- ▶ Elektrický náboj se může přemísťovat v rámci jednoho tělesa.
- ▶ Pokud se přemísťuje snadno, látka je **vodič**.
- ▶ Pokud nedochází k přemísťování náboje v rámci tělesa (nebo opravdu velmi malému) látka je **nevodič** (= izolant, dielektrikum)

Vlastnosti el. náboje – pokrač.

- ▶ Rozlišujeme dva druhy náboje

Označujeme je:

kladný



záporný



Pozn.: Na označení principiálně nezáleží; tohle je jen úmluva

Vlastnosti el. náboje – pokrač.

- ▶ Tělesa se stejným elektrickým nábojem se odpuzují. Je jedno, jestli je náboj stejný kladný a nebo stejný záporný.
- ▶ Tělesa s opačným elektrickým nábojem se přitahují.
- ▶ Viz. elektroskop a elektrometr

Vlastnosti el. náboje – pokrač.

- ▶ Elektrický náboj je dělitelný; lze jej přidávat a ubírat
- ▶ Ubírání nelze do nekonečna – existuje nejmenší možný náboj = **elementární náboj**

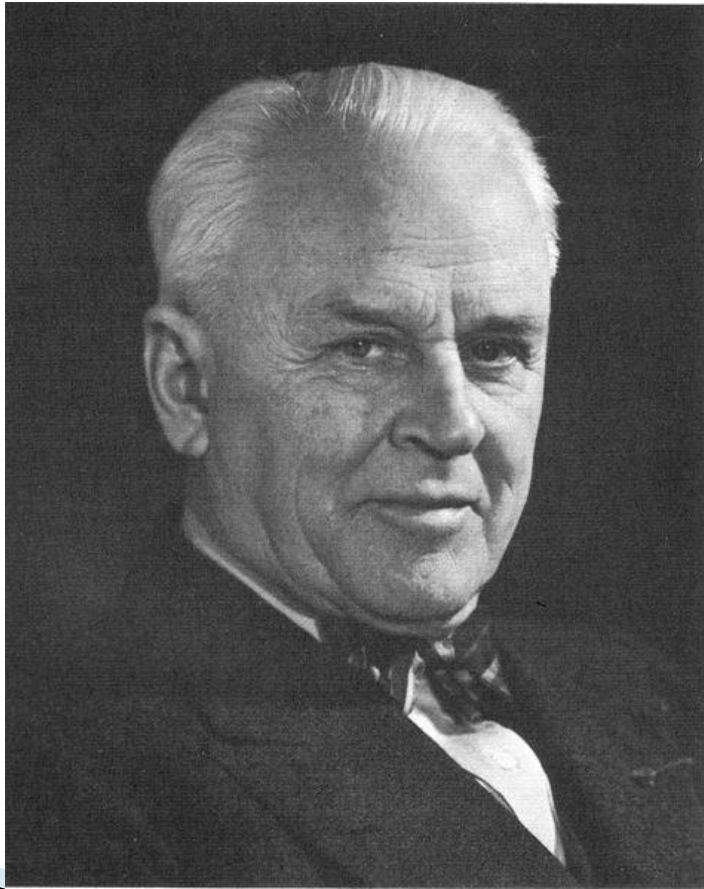
Vlastnosti el. náboje – pokrač.

- ▶ Elektrický náboj je vázán na částice látky
- ▶ V atomu jsou kladně nabité protony a záporně nabité elektrony
- ▶ Mají právě elementární náboj
- ▶ Protony: $+e$, elektrony: $-e$
- ▶ Určil R.A.Milikan (1909)

$$e = 1,60217656535 \cdot 10^{-19} \text{ C} \doteq 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Robert Andrews Millikan

▶ 1868–1953

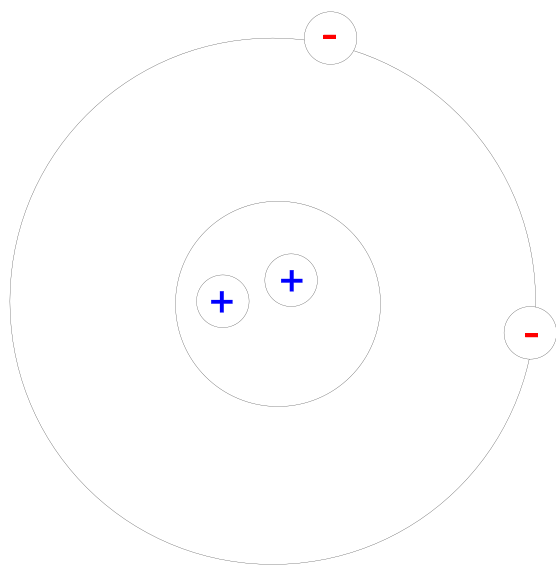


Dle [2]

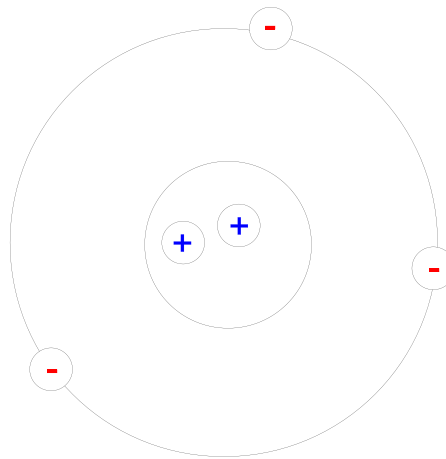
Vlastnosti el. náboje – pokrač.

- ▶ Atom – kladné náboje jsou v jádře (protony), záporné náboje v elektronovém obalu (elektrony)
- ▶ Pokud počet elektronů = počtu protonů, máme **elektricky neutrální atom**
- ▶ Totéž platí i pro **elektricky neutrální těleso**

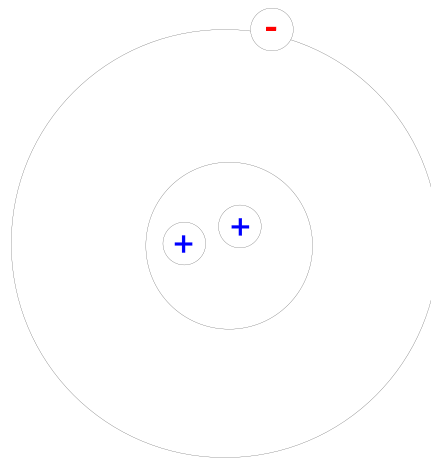
Vlastnosti el. náboje – pokrač.



Elektricky neutrální
atom



Záporný iont –
vznikne
přidáním
elektronu



Kladný iont –
vznikne
odebráním
elektronu

Vlastnosti el. náboje – pokrač.

- ▶ Atomy kovů – od jádra nejvíce vzdálené elektrony jsou vázány velmi slabými silami $\Rightarrow$ snadno se odpoutají $\Rightarrow$ **volné elektrony** $\Rightarrow$ kovy jsou dobré vodiče

Vlastnosti el. náboje – pokrač.

- ▶ Zelektrované těleso:

Nadbytek volných elektronů: $Q=N.e$... záporné

Nedostatek volných elektronů: $Q=N.e$... kladné

Náboj se přemísťuje z tělesa na těleso, ale úhrnný el. náboj se zachovává $\Rightarrow$ elektrický náboj nelze vytvořit ani zničit, ale pouze přemístit.

Příklad

- ▶ Vypočtete, kolik elementárních nábojů je potřeba na výsledný náboj 1 C.
- ▶ Náповěda: Kolik půkilových cihel je potřeba na hromadu cihel o hmotnosti 10kg?
- ▶ Řešení:

$$N = \frac{Q}{e} \doteq \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19}} \doteq 6,24 \cdot 10^{18}$$

Literatura

- ▶ [1] AUTOR NEUVEDEN. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 5.9.2012]. Dostupný na WWW:
<<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/Coulomb.jpg>>.
- ▶ [2] AUTOR NEUVEDEN. *Wikipedia.org* [online]. [cit. 5.9.2012]. Dostupný na WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Robert_Andrews_Millikan.jpg>.
- ▶ [3] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIŠ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Silové působení elektrických nábojů

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-02
Anotace	Využijeme znalostí o silovém působení nábojů a seznámíme se s velikostí elektrických sil – s Coulombovým zákonem. Na úlohách si prověříme, jak látku zvládáme.

Silové působení elektrických nábojů

► Víme:

1. Zelektrovaná tělesa na sebe působí silami (přitažlivými nebo odpuzivými)
2. Existují přitažlivé síly mezi zelektrovaným a nezelektrovaným tělesem.

Jsou to elektrické síly.

Bodový náboj

- ▶ Nabité těleso zanedbatelných rozměrů.
- ▶ Je to zjednodušený model (jako například hmotný bod = hmotné těleso zanedbatelných rozměrů)

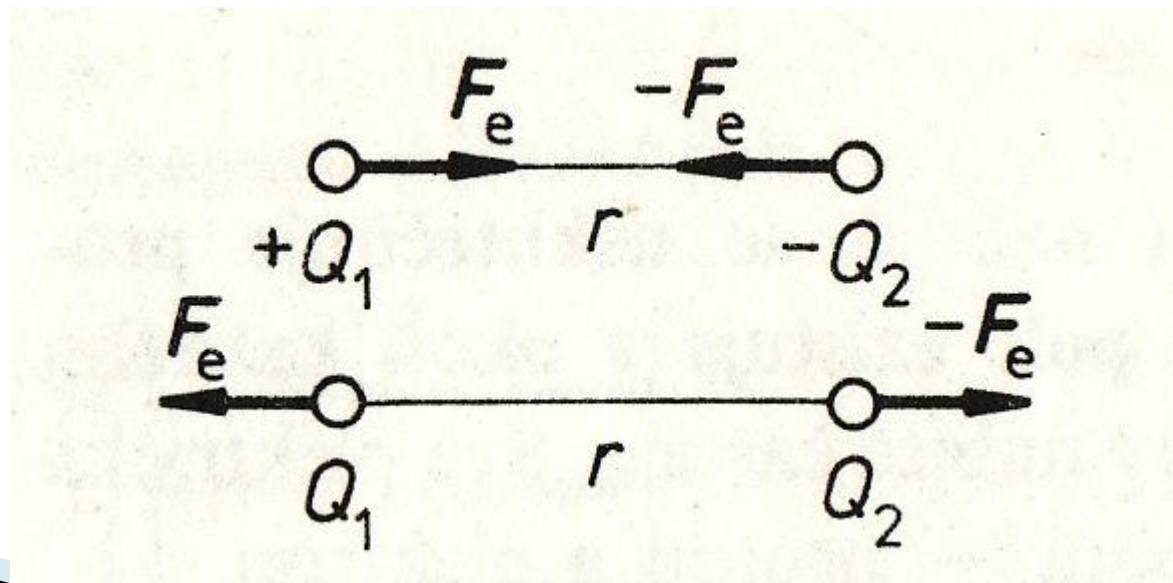
Coulombův zákon

- ▶ Popisuje vzájemné silové působení mezi nabitými tělesy.

Dva bodové náboje v klidu na sebe vzájemně působí stejně velikými silami opačného směru. Velikost elektrické síly je přímo úměrná součinu nábojů a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti.

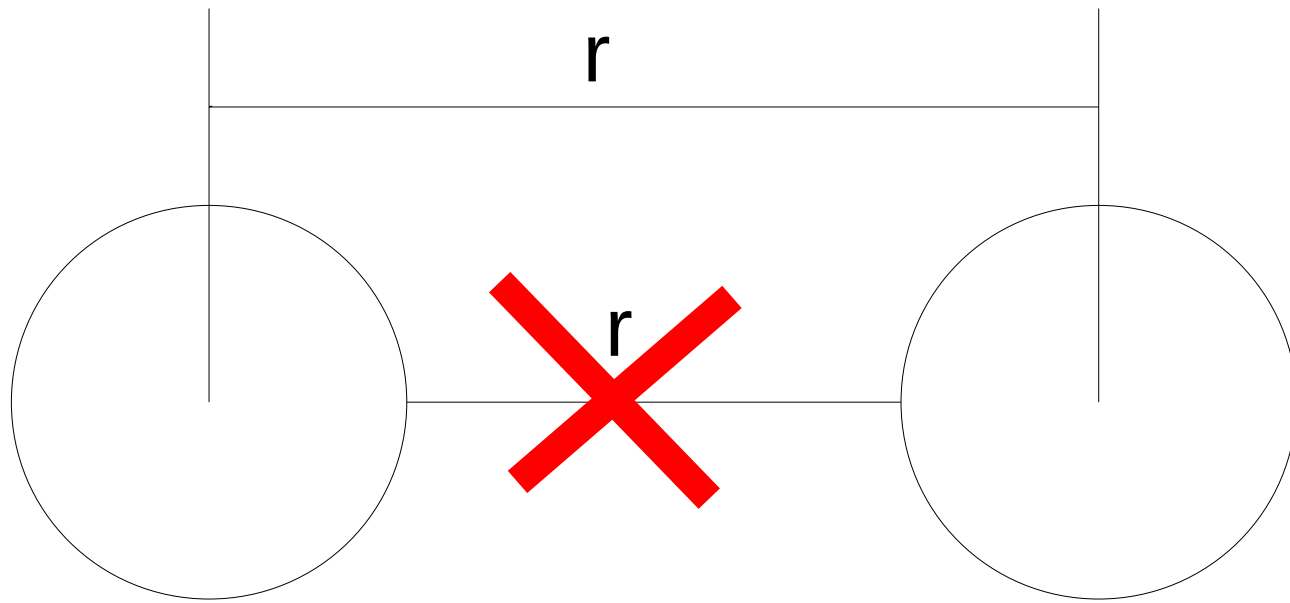
Coulombův zákon – velikost a směr

$$F_e = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$



Coulombův zákon – poznámky

- ▶ V tomto tvaru platí Coulombův zákon i pro nabité koule.
- ▶ r je vzdálenost jejich středů, nikoliv povrchů!!



Coulombův zákon – poznámky

- ▶ Konstanta k závisí na prostředí.
- ▶ Ve vakuu (a dostatečně přesně i ve vzduchu):

$$k \doteq 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$$

- ▶ Pro látkové prostředí:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r}$$

permitivita

- ▶ Permitivita: $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$
- ▶ Permitivita vakua: $\varepsilon_0 \doteq 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ m}^{-2} \text{ N}^{-1}$
- ▶ Relativní permitivita prostředí: ε_r
- ▶ Pro vakuum (a přibližně pro vzduch): $\varepsilon_r = 1$
- ▶ Pro látkové prostředí: $\varepsilon_r > 1$
- ▶ Například pro vodu: $\varepsilon_r = 85$

Coulombův zákon

Ve
vakuu:

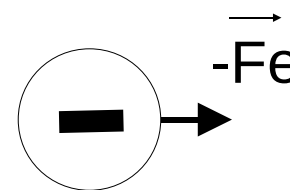
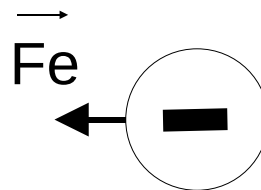
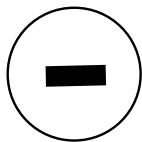
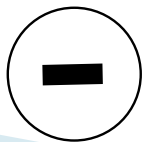
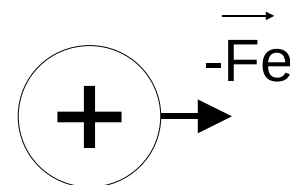
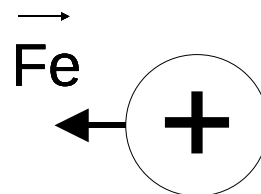
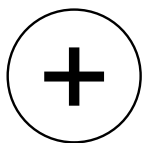
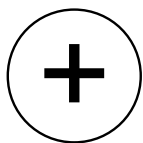
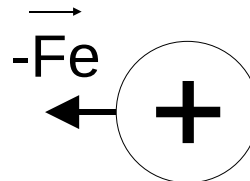
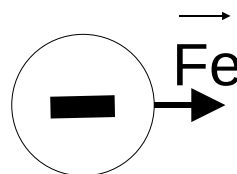
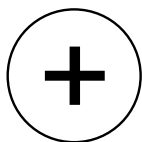
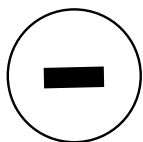
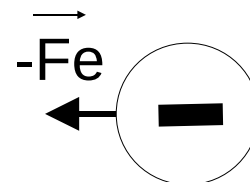
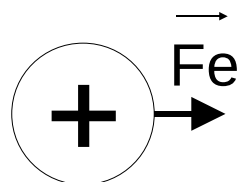
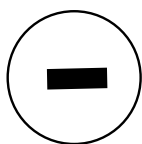
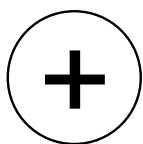
$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

V látkovém
prostředí:

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

úloha

- ▶ K následujícím čtyřem obrázkům doplňte působící elektrické síly.



úloha

- ▶ Porovnejte tvar Newtonova gravitačního zákona a Coulombova zákona. Co mají společné a v čem se zásadně liší?

$$F_g = \kappa \frac{m_1 m_2}{r^2} \times F_e = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

- ▶ Odlišnost: gravitační síla je **pouze přitažlivá**, elektrická síla může být přitažlivá i odpuzivá.

úloha

- ▶ Porovnání gravitační a elektrické síly mezi protonem a elektronem v atomu vodíku.

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{k \frac{e \cdot e}{r^2}}{\kappa \frac{m_e m_p}{r^2}} = \frac{ke^2}{\kappa m_e m_p} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (1,602 \cdot 10^{-19})^2}{6,6742 \cdot 10^{-11} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,672 \cdot 10^{-27}} \doteq 2 \cdot 10^{39}$$

- ▶ Elektrická síla je o mnoho řádů silnější, než gravitační $\Rightarrow$ pro děje v atomech je gravitace zanedbatelná.

Příklad

- ▶ Dva bodové náboje, oba $5\mu\text{C}$, se ve vakuu navzájem odpuzují silou $2,5\text{N}$. V jaké jsou vzájemné vzdálenosti? Jsou souhlasně nebo nesouhlasně nabitě? Pokud souhlasně, oba kladně nebo oba záporně?

$$Q_1 = Q_2 = Q = 5\mu\text{C}, F_e = 2,5\text{N}, r = ?$$

$$F_e = k \cdot \frac{Q^2}{r^2} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{kQ^2}{F_e}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9 \cdot (5 \cdot 10^{-6})^2}{2,5}} \text{m} = 0,3\text{m} = 30\text{cm}$$

Odpuzují se $\Rightarrow$ souhlasně nabitě. O náboji nelze rozhodnout.

Příklad

- ▶ Dvě kuličky stejné velikosti a se stejným nábojem se vzájemně přitahují ve vzduchu elektrickou silou 40N. Jejich středy jsou 3cm od sebe. Jaká síla působí, když se středy vzdálí na 30cm od sebe? Jak velký elektrický náboj má každá kulička?

$$Q_1 = Q_2 = Q, F_e = 40N, r = 3cm = 0,03m, r_1 = 30cm = 0,3m; F_{e1} = ?, Q = ?$$

$$r_1 = 10r \Rightarrow F_{e1} = \frac{F_e}{10^2} = 0,4N$$

$$F_e = k \frac{Q^2}{r^2} \Rightarrow Q = \sqrt{\frac{F_e r^2}{k}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 0,03^2}{9 \cdot 10^9}} C = 2 \cdot 10^{-6} C = 2 \mu C$$

Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIL, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.

Elektrické pole a jeho intenzita

Ing. Stanislav Jakoubek

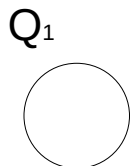
Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-03
Anotace	Umíme popsat silové působení nabitých těles. Jak ale popíšeme vlastnosti pole kolem jednoho tělesa? Pomocí veličiny intenzita elektrického pole. Jak přesně, to se dozvíme v této prezentaci.

Elektrické pole a jeho intenzita

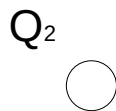
- ▶ Vzájemné silové působení mezi nabitými tělesy se uskutečňuje pomocí **pole** (nedotýkají se a přesto působí!)
- ▶ <http://www.youtube.com/watch?v=RwWyb7sKvr8&feature=relmfu>
- ▶ Elektrické pole: je kolem **každého nabitého tělesa**
- ▶ Potřebujeme veličinu k jeho popisu

Intenzita elektrického pole

- Popíšeme pole kolem náboje Q_1



popisují pole tohoto náboje



Do pole náboje Q_1 umístím náboj Q_2 .

Síla mezi nimi: $F_e = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$

My ale chceme veličinu
nezávislou na pomocném
náboji Q_2 .

$$E = \frac{F_e}{Q_2}$$

Intenzita elektrického pole
(její velikost)

Intenzita elektrického pole (poznámky)

- ▶ Je to vektorová veličina

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{Q_2} \quad \text{Má směr stejný, jako elektrická síla.}$$

- ▶ Jednotka: N.C^{-1} ; častěji se používá V.m^{-1} (vysvětlíme později)
- ▶ Pro výpočty:

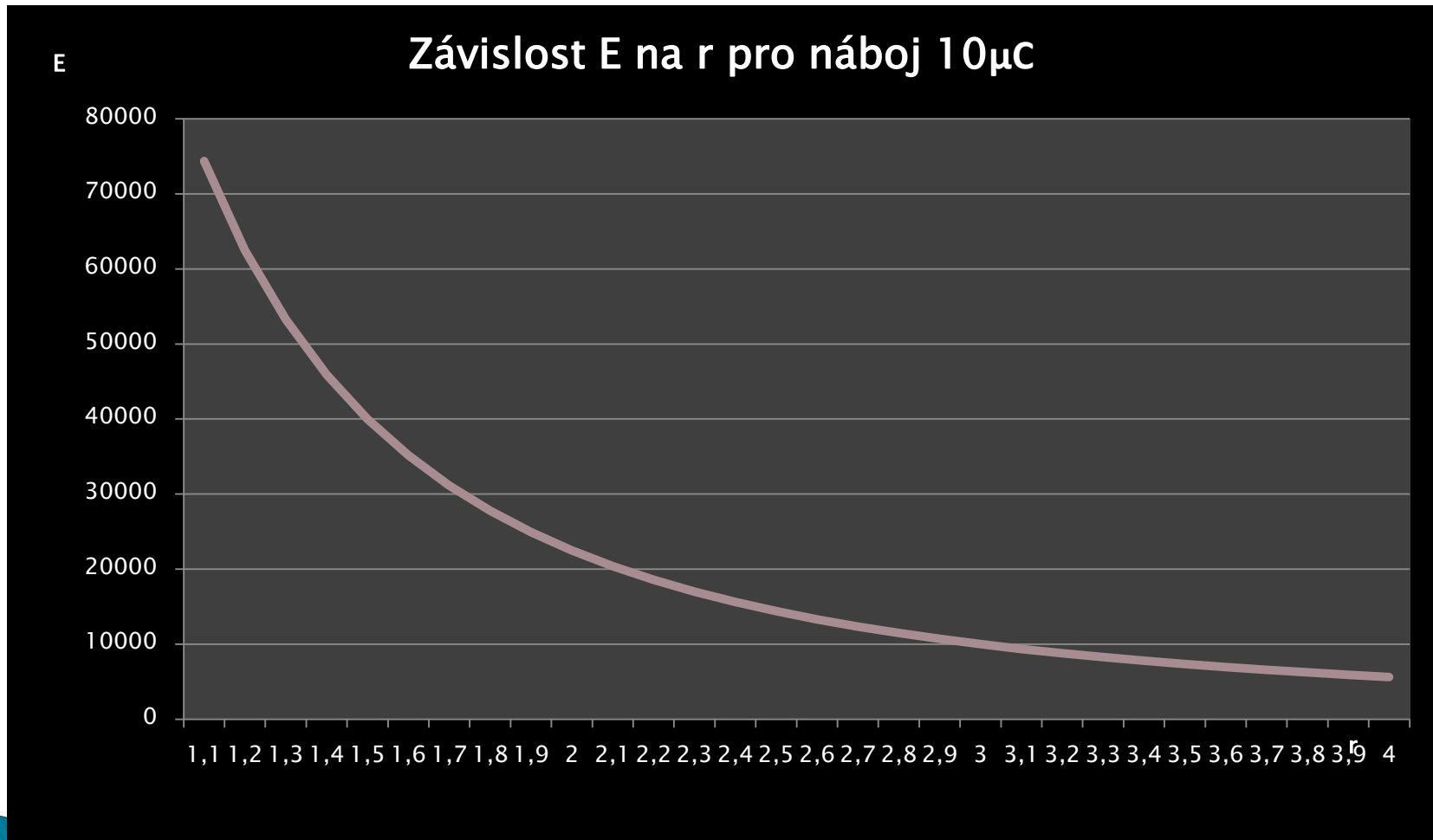
$$E = \frac{F_e}{Q_2} = \frac{k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}}{Q_2} \Rightarrow$$

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

Intenzita elektrického pole (poznámky)

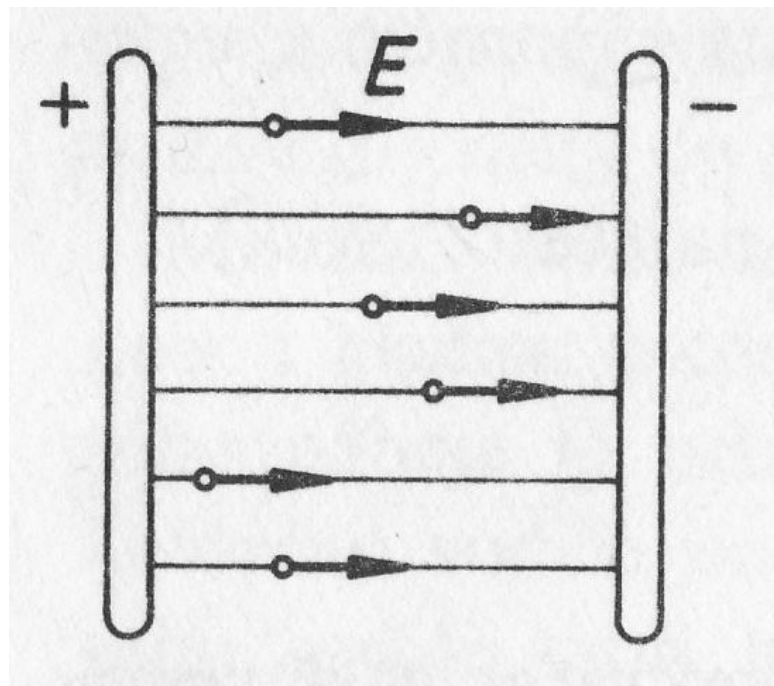
- ▶ Ve stejném tvaru platí i vně kulového vodiče. Pak se vzdálenost bere od středu tohoto vodiče.
- ▶ **Slovně vyjádřeno:** Velikost intenzity elektrického pole bodového náboje v daném místě je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti místa od náboje.

Intenzita elektrického pole (poznámky)

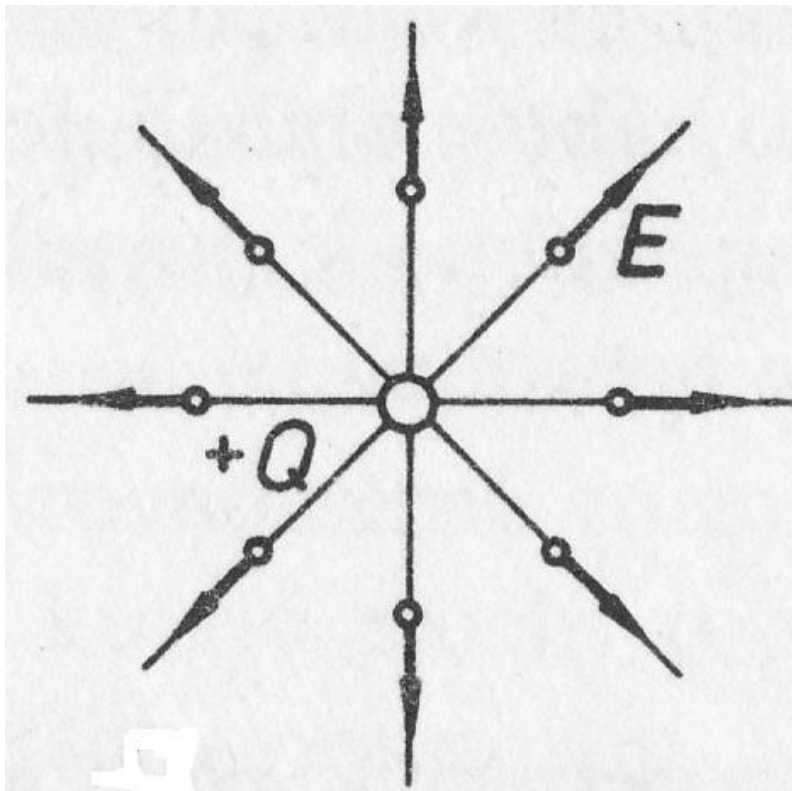


Homogenní elektrické pole

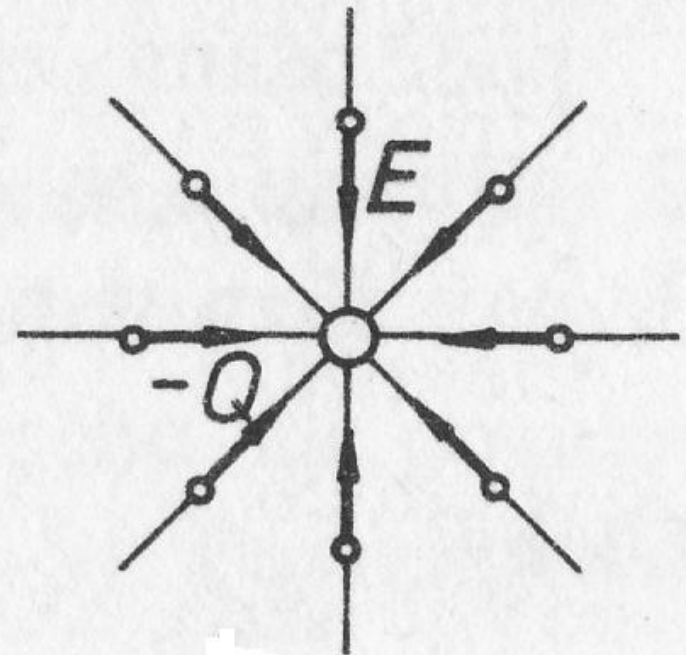
- ▶ Jeho intenzita má ve všech místech stejnou velikost i směr.
- ▶ Matematicky vyjádřeno: $\vec{E} = \overrightarrow{konst}$



Radiální elektrické pole

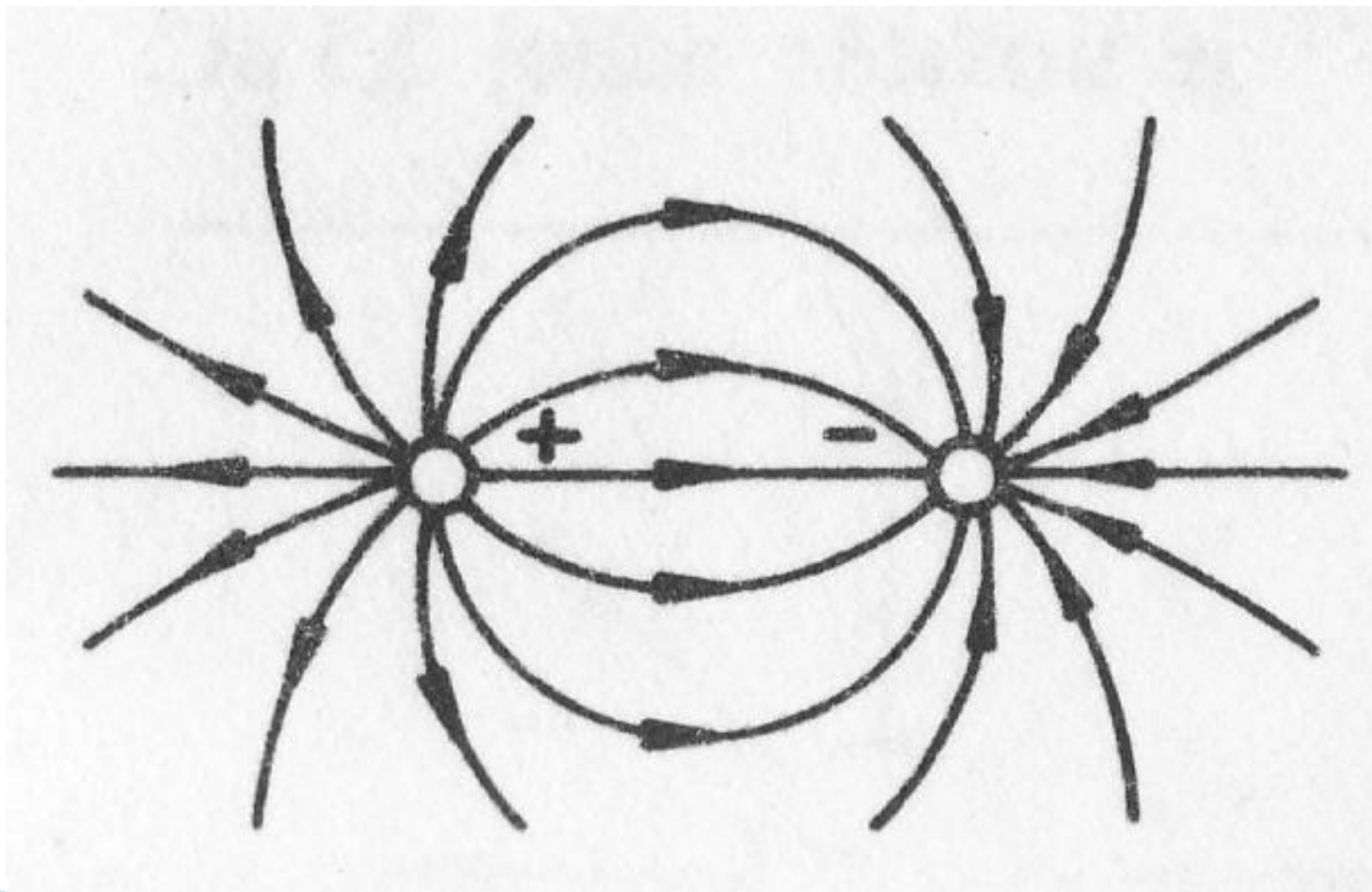


Okolo kladného náboje

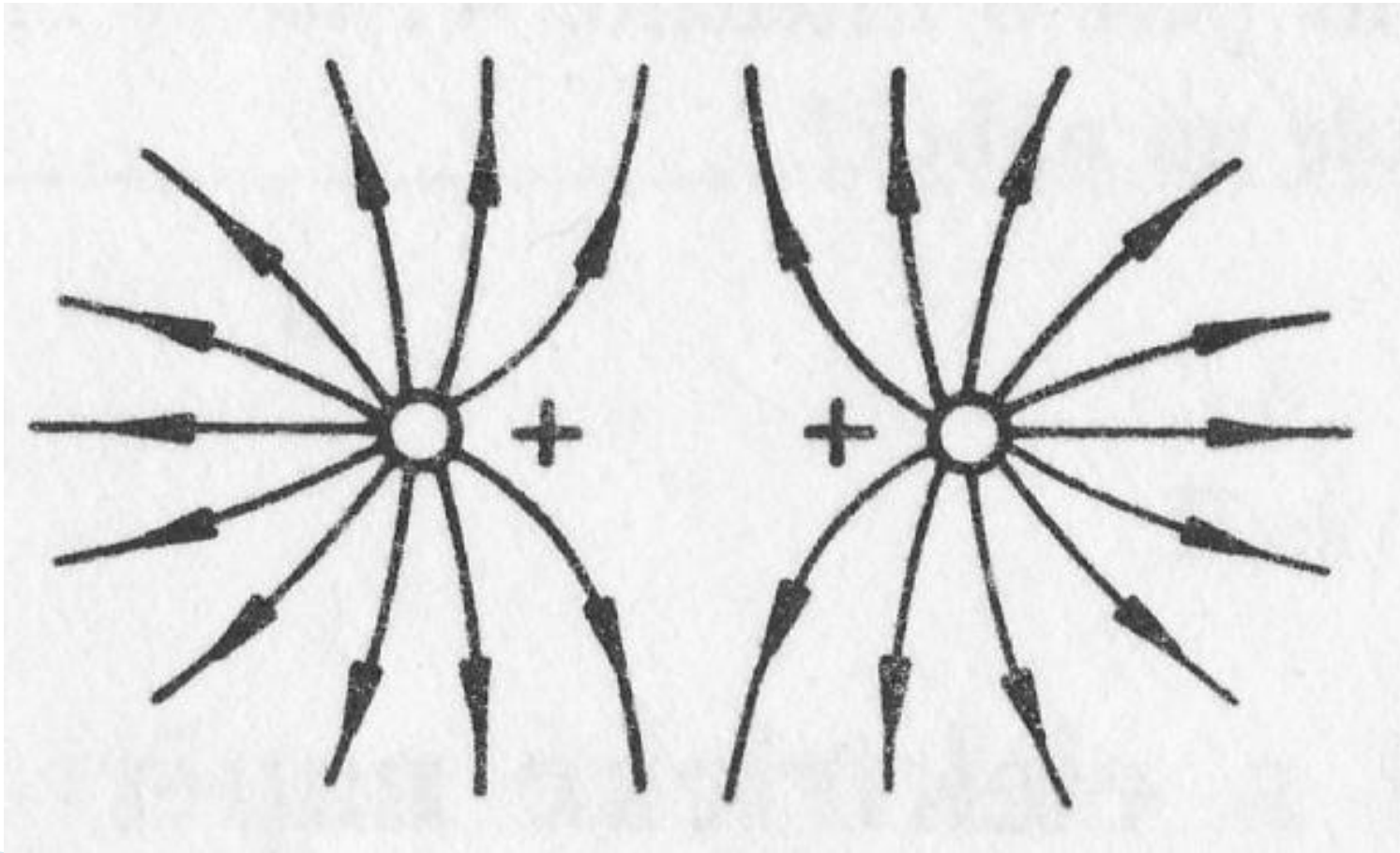


Okolo záporného náboje

Pole dvou nesouhlasných nábojů



Pole dvou souhlasných (kladných) nábojů

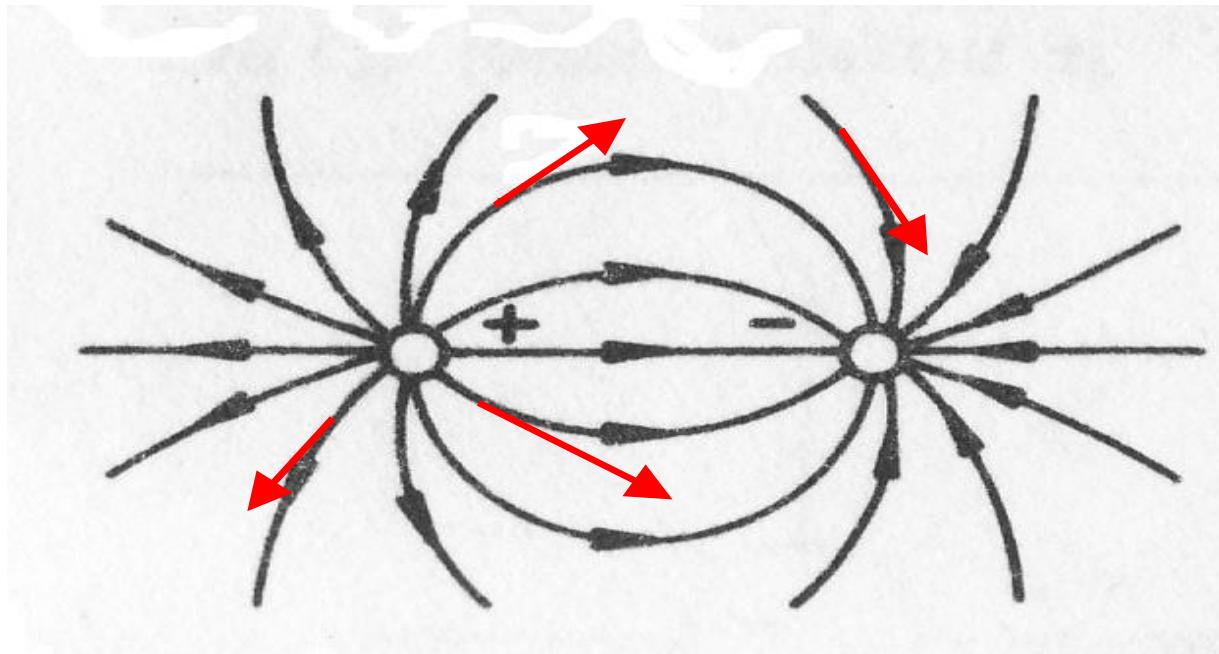


úkol

- ▶ Načrtněte pole dvou souhlasných záporných nábojů. Čím se výsledek liší od pole souhlasných kladných nábojů?
- ▶ Obrázek bude téměř stejný, liší se jen směr orientace intenzity elektrického pole. Bude směřovat k nábojům.

Siločára elektrického pole

- ▶ Slouží ke grafickému znázornění el. pole.
- ▶ Je to myšlená čára, jejíž tečna v každém bodě určuje směr intenzity pole.



Vlastnosti siločar

- ▶ Jsou spojité; začínají na $+$ a končí na $-$; u samostatného náboje ubíhají do nekonečna
- ▶ Vstupují a vystupují kolmo k povrchu elektricky nabitého tělesa.
- ▶ Navzájem se neprotínají.

Příklad

- Určete velikost intenzity elektrického pole v místě, kde na bodový náboj $200\mu\text{C}$ působí elektrická síla 1N .

$$Q = 200\mu\text{C}, F_e = 1\text{N}; E = ?$$

$$E = \frac{F_e}{Q} = \frac{1}{200 \cdot 10^{-6}} \text{V} \cdot \text{m}^{-1} = 5000 \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$$

Příklad

- Určete velikost intenzity elektrického pole ve vzdálenosti 30cm od bodového náboje $10\mu\text{C}$ ve vakuu.

$$r = 30\text{cm} = 0,3\text{m}, Q = 10\mu\text{C}, E = ?$$

$$E = k \frac{Q}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10 \cdot 10^{-6}}{0,3^2} \text{V} \cdot \text{m}^{-1} = 10000000 \text{V} \cdot \text{m}^{-1} = 1 \text{MV} \cdot \text{m}^{-1}$$

Příklad

- ▶ V homogenním elektrickém poli o intenzitě 400000 V.m^{-1} je umístěn náboj $2,5 \mu\text{C}$. Jak velkou silou působí pole na náboj?

$$E = 400000 \text{ V.m}^{-1}, Q = 2,5 \mu\text{C}; F_e = ?$$

$$E = \frac{F_e}{Q} \Rightarrow F_e = E \cdot Q = 400000 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ N} = 1 \text{ N}$$

literatura

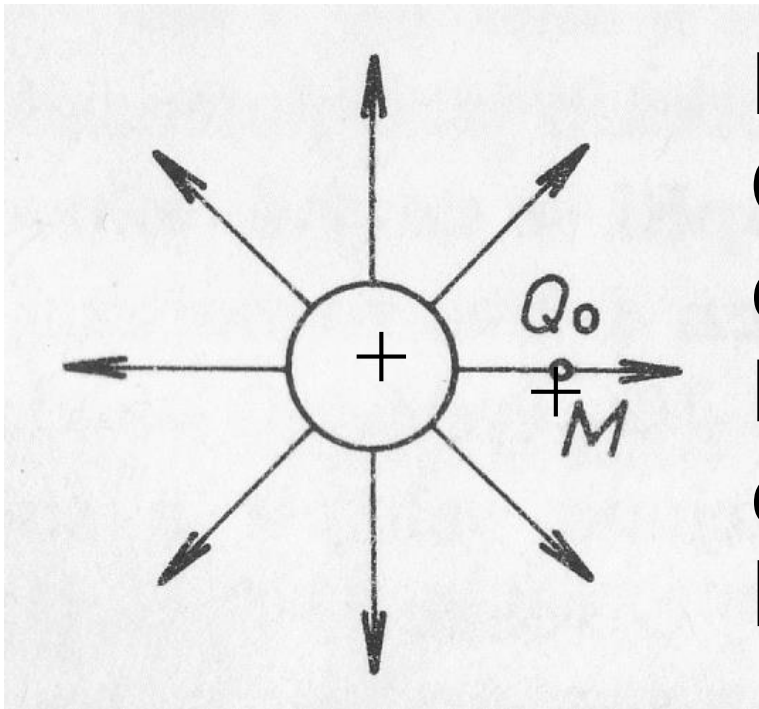
- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIŠ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.

Elektrický potenciál a elektrické napětí

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-04
Anotace	Úplně každý jistě někdy slyšel pojem elektrické napětí. Ne každý ovšem přesně ví, co to vlastně je. A třeba jak souvisí s potenciálem elektrického pole a dále jak ten potenciál souvisí s prací. Prostudování DUMu nás zařadí mezi ty, kteří to vědí.

Elektrický potenciál a elektrické napětí



Přemístí uji náboj Q_0 v silovém poli druhého náboje. Působím silou po dráze a tedy konám práci.

S touto prací souvisí **potenciál**.

Elektrický potenciál

$$\varphi_M = \frac{W}{Q_0}$$

Podíl práce W vykonané při přemístění kladného bodového náboje Q_0 z místa nulové intenzity do bodu M a velikosti tohoto náboje.

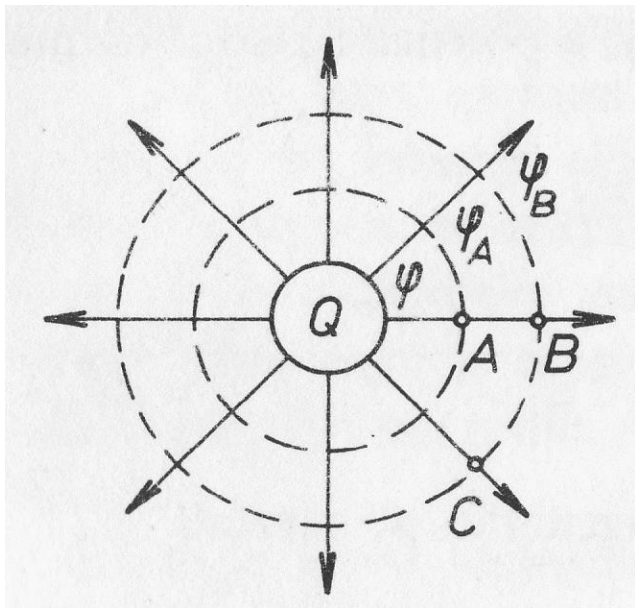
Jednotka: Volt ...V

Místo nulové intenzity ?

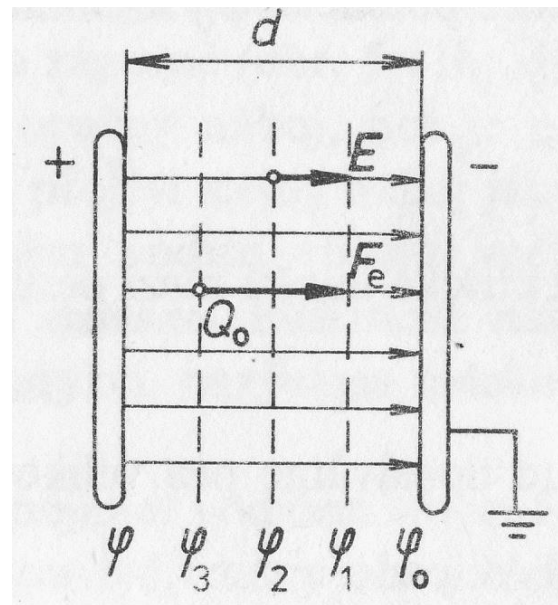
- ▶ Hodně daleko – v nekonečnu; technicky obtížně realizovatelné 😊
- ▶ V praxi: Zem nebo uzemněný vodič

Ekvipotenciální plocha (hladina potenciálu)

- Množina bodů se stejným potenciálem



Radiální pole



Homogenní pole

Potenciál
uzemněné
desky =
hladina
nulového
potenciálu

Všimneme si: siločáry elektrického pole jsou kolmé k ekvipotenciálním plochám.

Elektrické napětí

- ▶ Je definováno jako rozdíl potenciálů mezi body A,B.

$$U = \varphi_A - \varphi_B$$

- ▶ Jednotka:

$$[U] = V \dots Volt$$

Alessandro Volta (1745 – 1827)

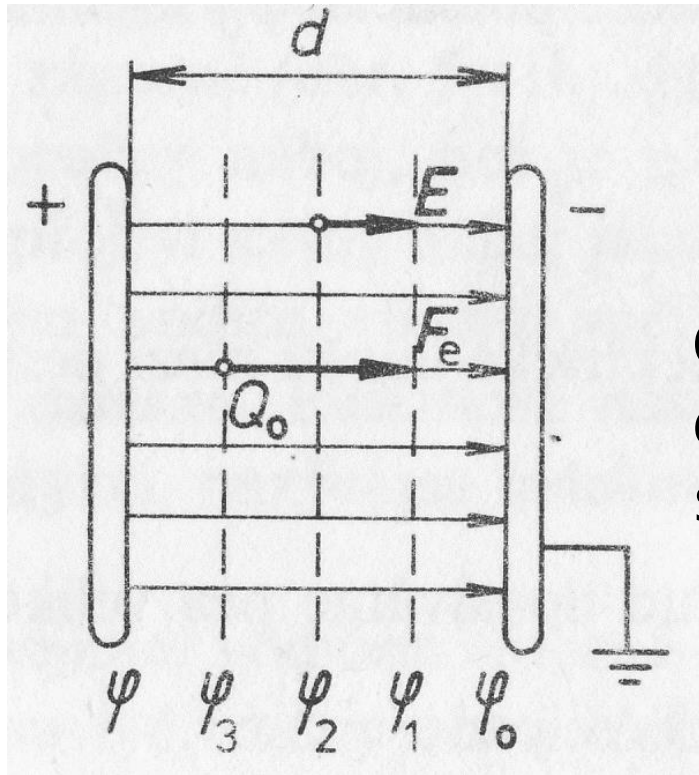
- ▶ Italský fyzik
- ▶ Vynálezce elektrického článku, kondenzátoru,...



úkol

- ▶ Určete napětí mezi dvěma body, které leží na téže ekvipotenciální ploše.
- ▶ Body na téže ekvipotenciální ploše mají stejný potenciál a tedy napětí mezi nimi je nulové.

Napětí mezi dvěma rovnoběžnými vodivými deskami



Homogenní pole $\Rightarrow \vec{E} = \textit{konst}$

Na kladný náboj Q_0 působí stejná síla $F_e = Q_0 E$.

Q_0 přemístíme z uzemněné desky na nabitou desku. Přitom se vykoná práce: $W = F_e \cdot d = Q_0 E d$

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

$$U = E d$$

$$U = \varphi - \varphi_0 = E d - 0$$

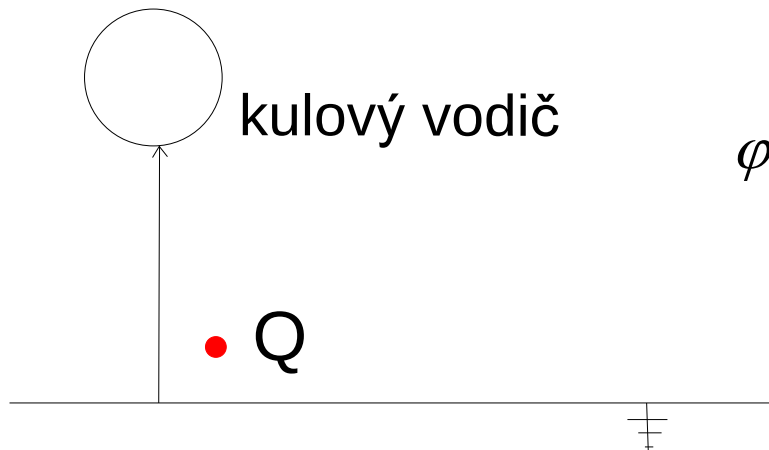
Poznámky

$$U = Ed \Rightarrow E = \frac{U}{d} \Rightarrow [E] = \frac{V}{m} = V.m^{-1}$$

$$W = Q_0 Ed \Rightarrow W = Q_0 U$$

Příklad

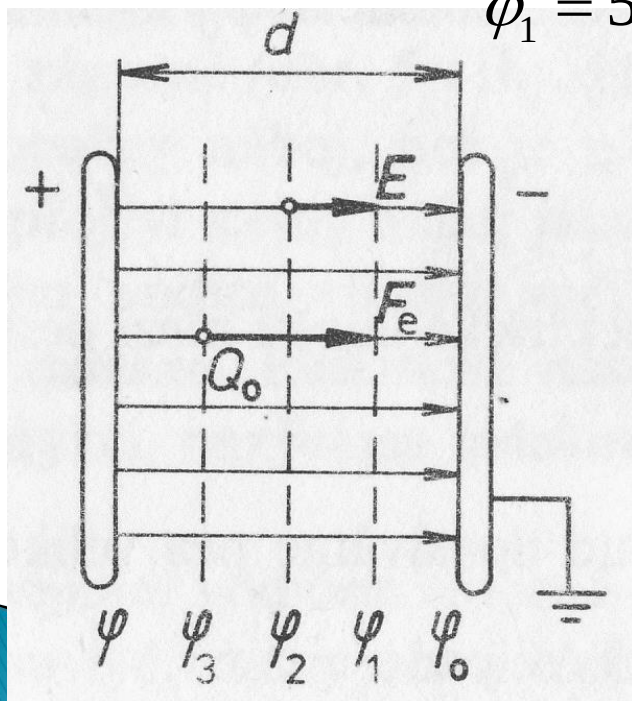
- Jaký elektrický potenciál má izolovaný kulový vodič, jestliže při přenesení náboje $50\mu\text{C}$ z povrchu země na povrch vodiče byla vykonána práce $0,2\text{J}$?



$$\varphi = \frac{W}{Q} = \frac{0,2}{50 \cdot 10^{-6}} \text{ V} = 4000 \text{ V} = 4 \text{ kV}$$

Příklad

- ▶ N obrázku jsou znázorněny hladiny potenciálu. Určete napětí mezi φ_1 a φ_2 a dále napětí mezi φ a φ_0 .



$$\varphi_1 = 50V, \varphi_2 = 200V, \varphi = 600V, \varphi_0 = 0V$$

$$U = \varphi_2 - \varphi_1 = 200V - 50V = 150V$$

$$U = \varphi - \varphi_0 = 600V - 0V = 600V$$

Příklad

- ▶ Jak velkou práci vykonáme, přemístíme-li v elektrickém poli o stálé intenzitě 3000V.m^{-1} elektrický náboj $200\mu\text{C}$ podél siločáry o délce 50cm ?

$$E = 3000\text{V.m}^{-1}, Q = 200\mu\text{C}, d = 50\text{cm}; W = ?$$

$$W = QEd = 200 \cdot 10^{-6} \cdot 3000 \cdot 0,5\text{J} = 0,3\text{J}$$

Příklad

- ▶ Mezi dvěma rovnoběžnými deskami 12 cm od sebe vzdálenými bylo naměřeno napětí 600V. Jak velká je intenzita homogenního pole mezi deskami?

$$d = 12\text{cm} = 0,12\text{m}, U = 600\text{V}; E = ?$$

$$E = \frac{U}{d} = \frac{600}{0,12} \text{V} \cdot \text{m}^{-1} = 5000 \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$$

Literatura

- ▶ [1] AUTOR NEUVEDEN. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 13.9.2012]. Dostupný na WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Alessandro_Volta.jpeg>.
- ▶ [2] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIK, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



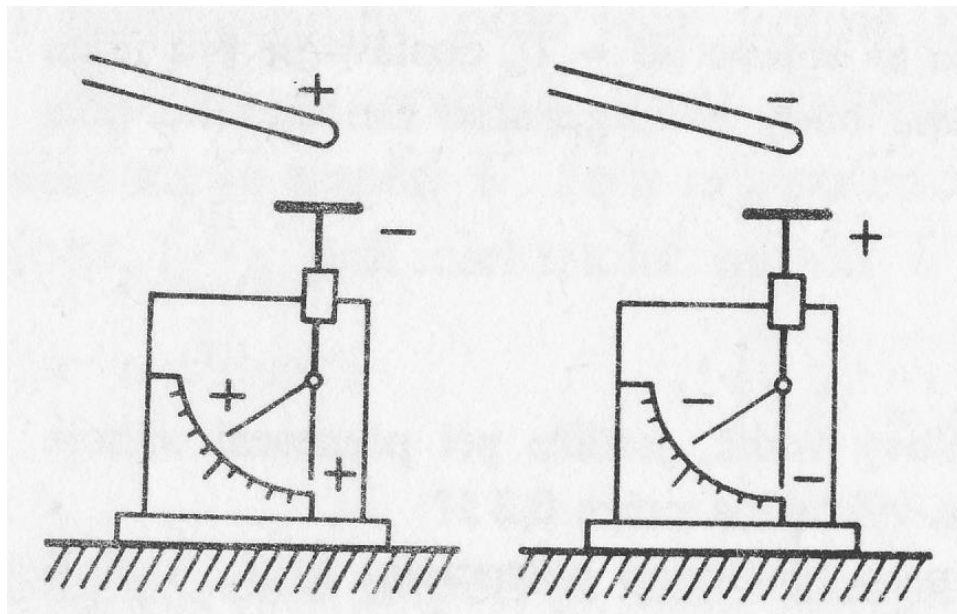
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vodič v elektrickém poli

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-05
Anotace	Poznáme, co se děje s vodičem pokud ho vložíme do elektrického pole. Dále si vysvětlíme, proč se nemusíme obávat jezdit v plechovém autě za bouřky.

Vodič v elektrickém poli



Nabíjení
izolovaného
vodiče vlivem
vnějšího
elektrického
pole:
**elektrostatická
indukce**

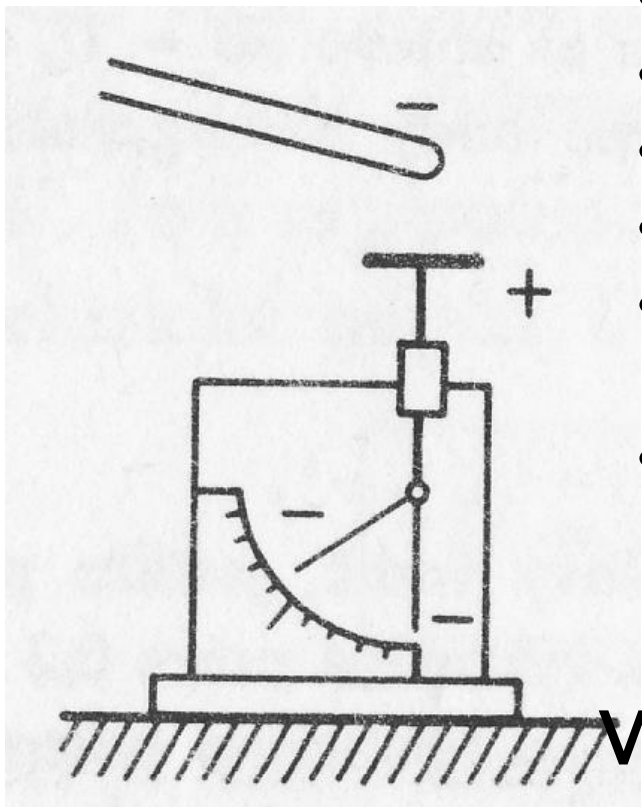
Indukované náboje

Indukují se stejně veliké opačné náboje. Když vnější pole přestane působit, indukované náboje zaniknou.

Lze zelektrovat trvale?

- ▶ Ano, pokud se podaří oba indukované náboje od sebe oddělit.
- ▶ Jednoduché oddělení: jeden z nábojů odvedeme na druhé těleso.

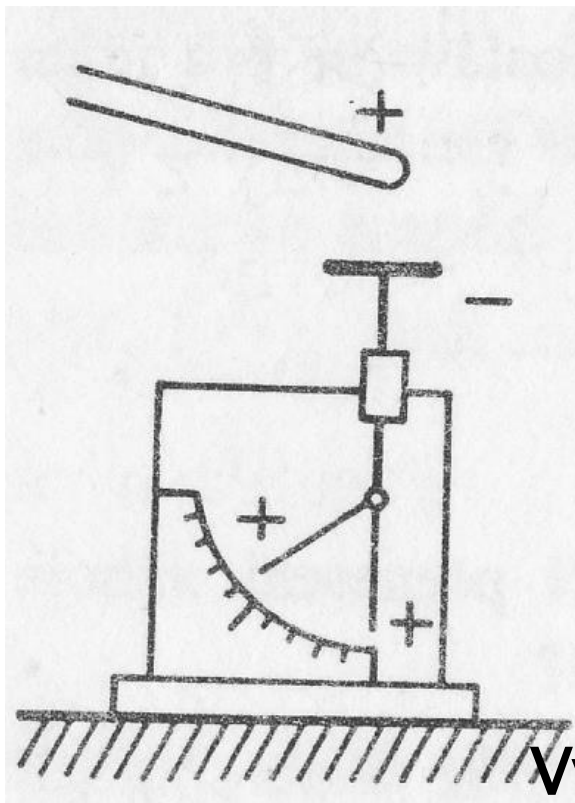
Trvalé zelektrování – pokus



- Přiblížíme záporně nabitou tyč
- Dotkneme se prstem elektroměru
- Vidíme: ručka se vrátí na nulu
- Oddálíme nabitou tyč
- Vidíme: ručka se vychýlí a výchylku si zachovává
- Elektrometr si zachovává náboj, který je kladný (tedy opačný, než náboj indukujícího tělesa)

Vysvětlení: prstem jsme odvedli z dolní části záporný náboj (tj. volné elektrony). Kladný indukovaný náboj zůstal.

Zelektrování těles – pokus s kladnou tyčí



- Provedeme stejný pokus, jako se záporně nabitou tyčí
- Navenek vidíme tentýž výsledek – trvale nabitý elektroměr
- **Rozdíl:** náboj elektroměru je záporný (tedy opět opačný, než náboj indukujícího tělesa)

Vysvětlení: do dolní, kladně nabité, části elektroměru přivedeme volné elektrony z našeho těla. Proto zůstane elektroměr nabit záporně.

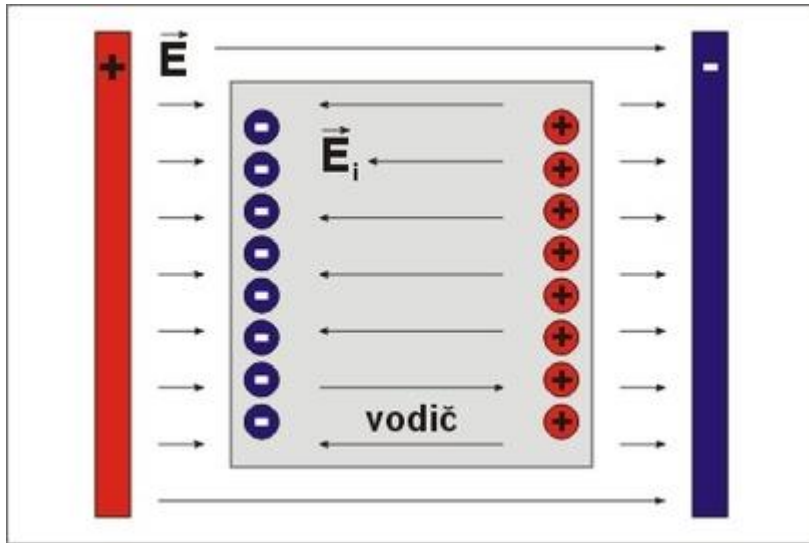
Závěr našich pokusů

- ▶ Elektrostatickou indukcí můžeme trvale nabít izolovaný vodič vždy nábojem nesouhlasným s nábojem indukujícího tělesa.

Volný a vázaný náboj

- ▶ Indukovaný náboj, která se dá z vodiče odvést na jiné těleso, se nazývá **volný náboj**.
- ▶ Náboj, který se při indukci nedá odvést, se nazývá **vázaný náboj**.

Vodič v elektrickém poli



- Díky vnějšímu poli se přenesou volné elektrony.
- Díky tomu vznikne přebytek klad. náboje na jedné straně a záp.na druhé.
- Uvnitř vodiče se vytvoří elektrické pole.

Rovnovážný stav : $\vec{E}_i = -\vec{E}$

Pro velikosti: $E - E_i = 0 \text{ V.m}^{-1}$

**Elektrické pole
uvnitř vodiče je
nulové.**

Důsledek – faradayova klec

- ▶ Elektrický náboj je pouze na povrchu vodiče, nikoliv uvnitř.
- ▶ http://www.youtube.com/watch?v=1_V4Baxap50

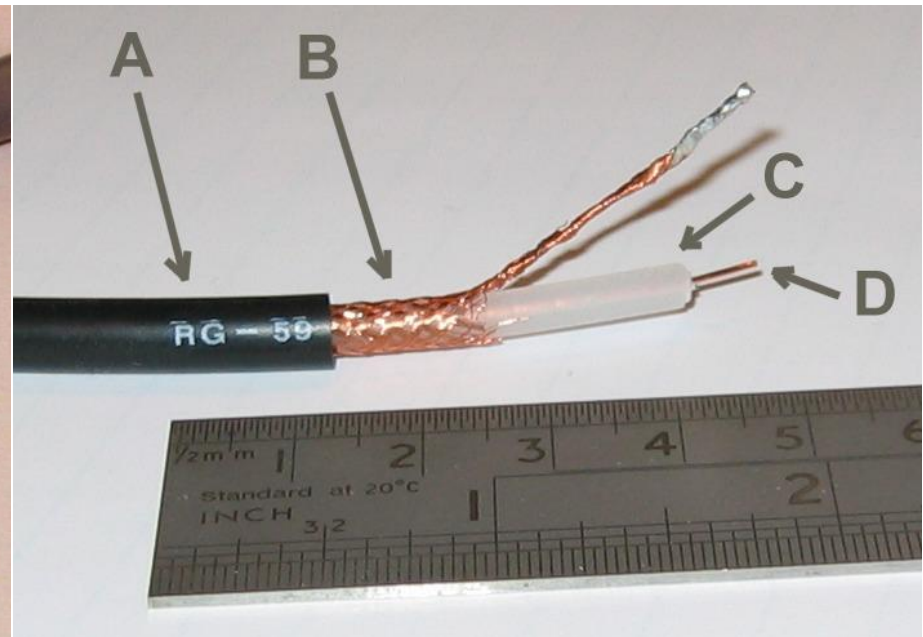
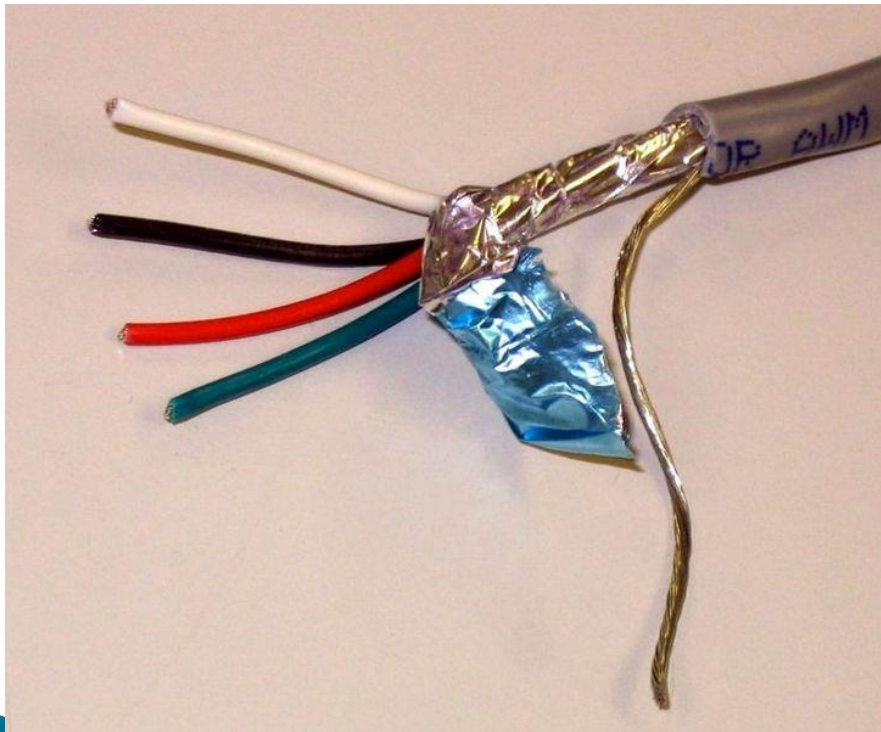
Faradayova klec – pokračování

- ▶ Pokud blesk uhoří do auta (a my se zrovna nedotýkáme jeho kovových částí), nic se nám nestane.



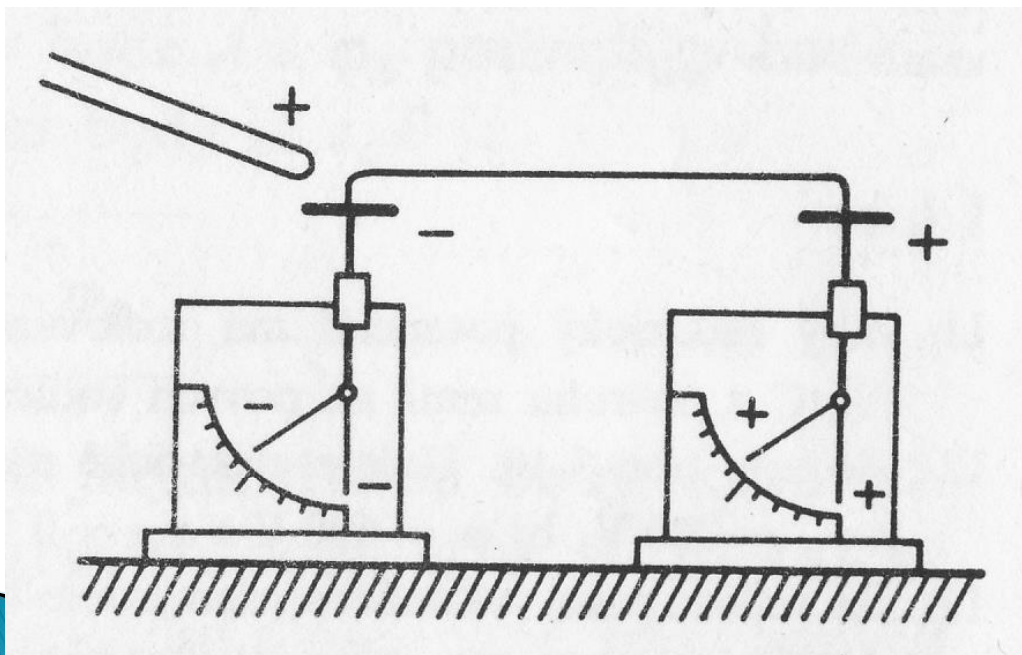
Faradayova klec – pokračování

- ▶ Stíněný kabel, koaxiální kabel



úkol

- ▶ Prohlédněme si schéma pokusu. Jak lze elektrostatickou indukcí nabít oba elektrometry, aby měly opačné náboje?



Provedeme
znázorněný
pokus a
odstraníme
vodivé spojení
mezi nimi 😊

literatura

- ▶ [1] AUTOR NEUVEDEN. *Techmania.cz* [online]. [cit. 17.9.2012]. Dostupný na WWW:
<http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74726f73746174696b61h&key=21>.
- ▶ [2] AUTOR NEUVEDEN. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 17.9.2012]. Dostupný na WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Shielded_wire_4F.jpg>.
- ▶ [3] [3] AUTOR NEUVEDEN. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 17.9.2012]. Dostupný na WWW:
<<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:RG-59.jpg>>.
- ▶ [4] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIL, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Izolant v elektrickém poli

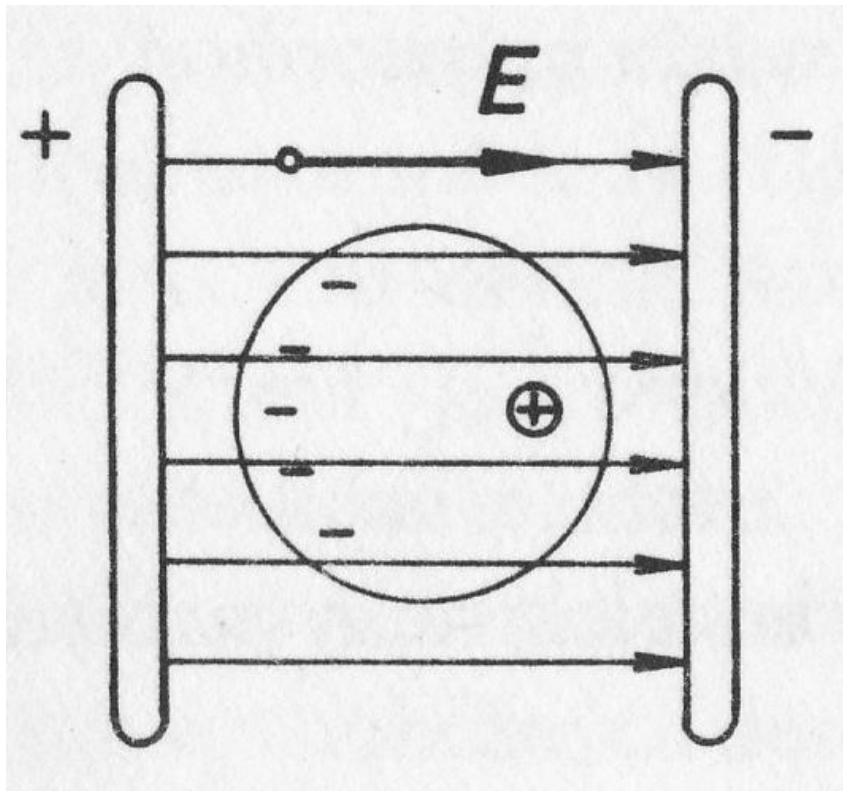
Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-06
Anotace	V izolantu téměř nejsou volné nosiče náboje. Jak se tato skutečnost projeví, dáme-li izolant do vnějšího elektrického pole? Pamatujete na veličinu relativní permeabilita? Pochopíme, co přesně tato veličina udává.

Izolant v elektrickém poli

- ▶ Izolant obsahuje velmi málo volných elektronů.
- ▶ O hromadném přesunu náboje, jako v případě vodiče, nemůže být tedy řeč.

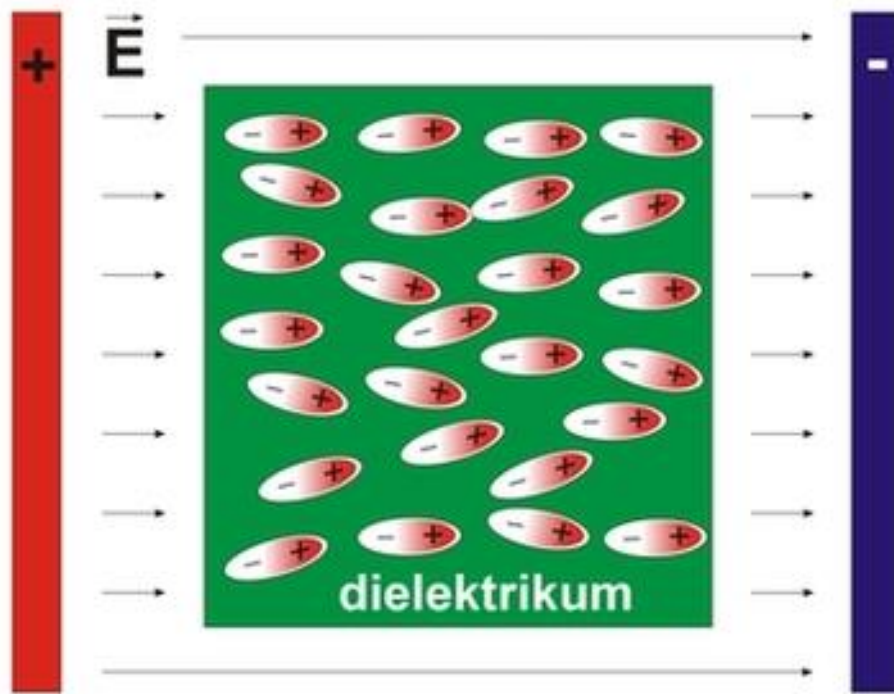
Atom v elektrickém poli



- Vnější elektrické síly vyvolají posun jádra a elektronového obalu.
- Tím se z atomu vytvořila částice se dvěma elektrickými póly.

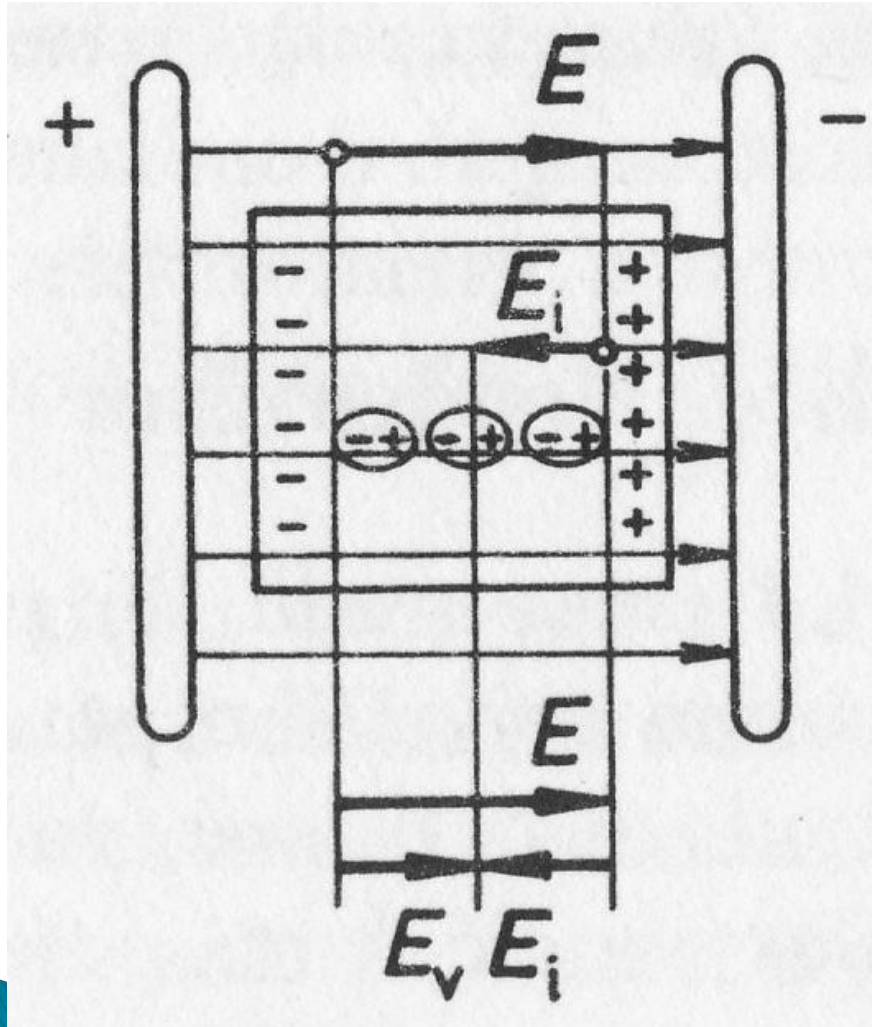
Elektrický dipól.

Polarizace dielektrika



Dipóly se díky vnějšímu elektrickému poli natočí. Na jedné straně budou natočeny kladné a na druhé záporné póly.

vysvětlení



Působí vnější el. pole. $\vec{E}$

Díky polarizaci je el. pole i uvnitř dielektrika. $\vec{E}_i$

Působí proti vnějšímu poli.

Intenzita výsledného pole:

$$E_v = E - E_i$$

V dielektriku vždy dochází k zeslabení pole.

Relativní permitivita prostředí

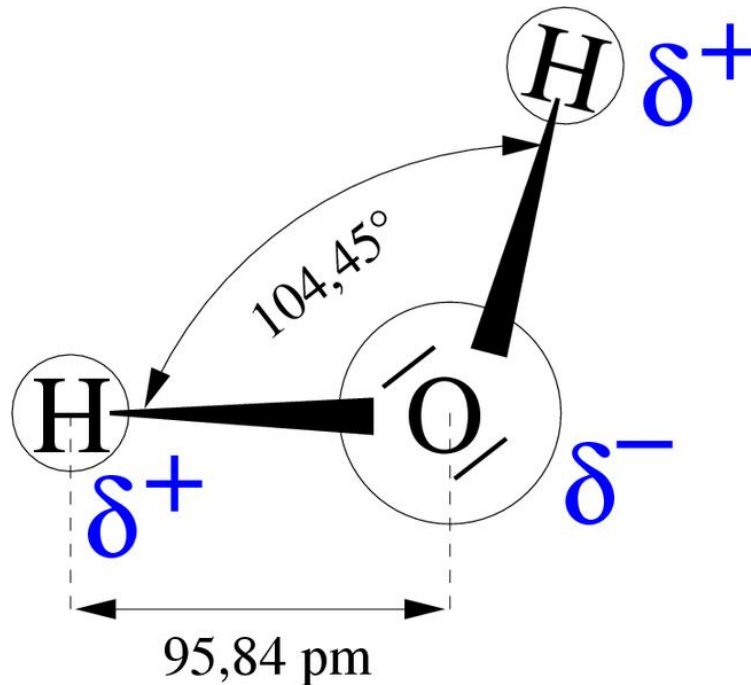
- ▶ Kolikrát je intenzita výsledného pole menší, než intenzita vnějšího pole.

$$\varepsilon_r = \frac{E}{E_v}$$

- ▶ **Poznámka:** Intenzita el. pole v dielektriku má ε_r krát menší velikost, než intenzita ve vakuu. (E je velikost intenzity pole bez dielektrika, tedy ve vakuu).

Poznámka – Polární dielektrikum

- ▶ Některé izolanty obsahují molekuly které tvoří dipóly samy o sobě. K polarizaci dielektrika není zapotřebí vnějšího pole.
- ▶ Např.: voda H_2O



příklad

- ▶ Kolikrát se zmenší intenzita elektrického pole ve vakuu, vložíme-li do něj porcelán?

Z tabulek: $\varepsilon_r = 6$

Z definice relativní permitivity se pole sníží šestkrát.

literatura

- ▶ [1] AUTOR NEUVEDEN. *Techmania.cz* [online]. [cit. 17.9.2012]. Dostupný na WWW: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74726f73746174696b61h&key=21.
- ▶ [2] ZÖRNER, Patrick–Emil. *Wikimedia commons* [online]. [cit. 17.9.2012]. Dostupný na WWW: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Watermolecule.png>
- ▶ [3] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIŠ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

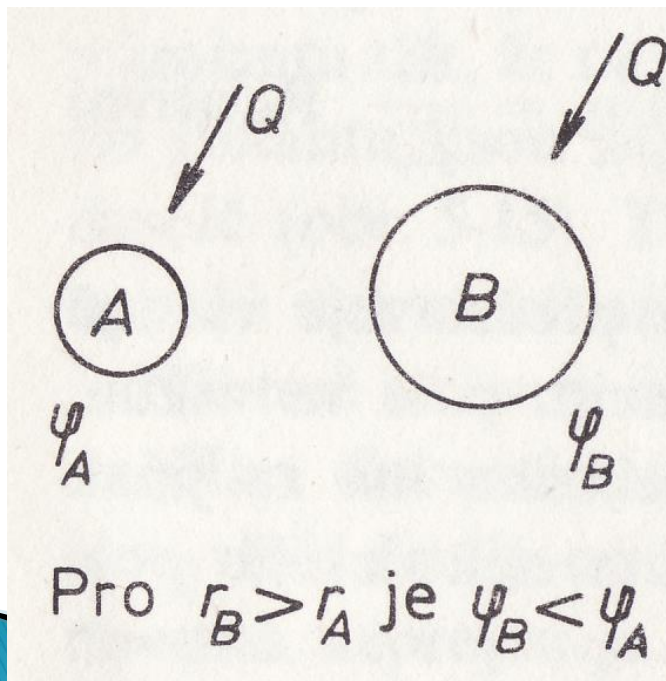
Kapacita vodiče, kondenzátor

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-07
Anotace	Jedna ze tří základních vlastností vodičů z hlediska elektromagnetismu je kapacita. Seznámíme se s touto veličinou, s jejím významem a jednotkou. Dále si vysvětlíme princip konstrukce kondenzátoru. Budeme vědět, na čem závisí jeho kapacita.

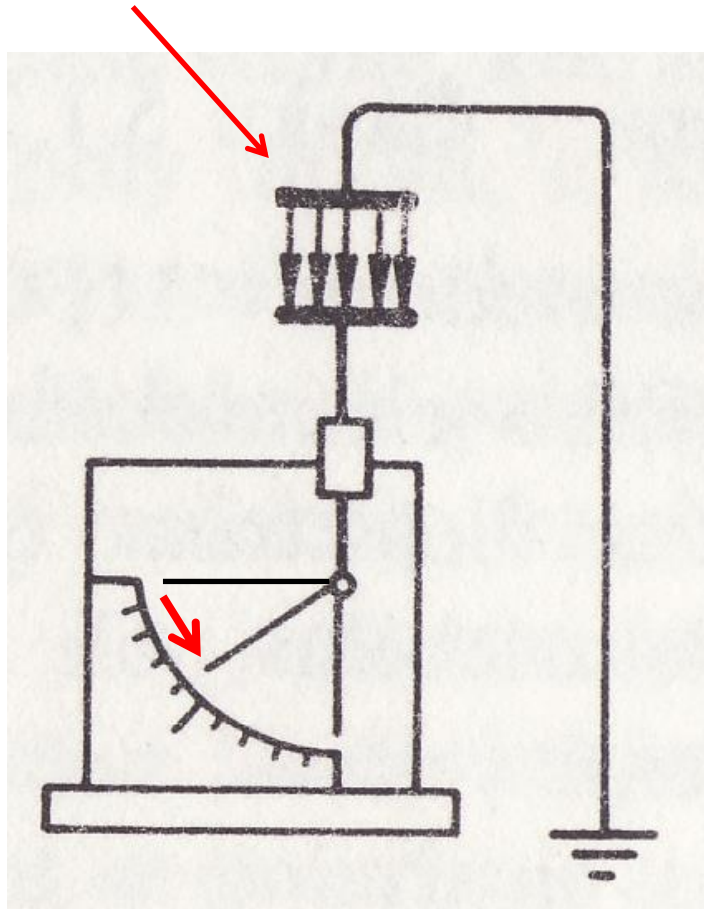
Kapacita vodiče, kondenzátor

- ▶ Dva kulové vodiče; na každém je stejný náboj Q
- ▶ Spojíme je elektroměrem a změříme různé výchylky a tedy různé potenciály



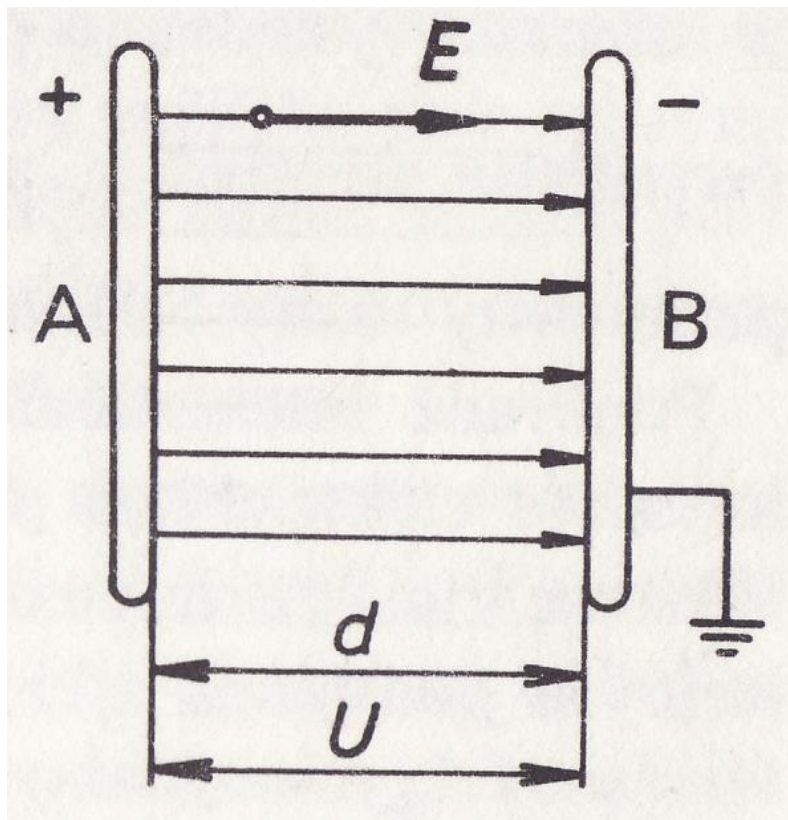
Pokud chceme B
nabít stejně jako A,
musíme přivést větší
náboj.
**Vodič B má větší
kapacitu.**

Princip deskového kondenzátoru



Výchylka
nabitého
elektrometru
poklesne, má
tedy větší
kapacitu.

Deskový kondenzátor



Na desku A postupně přinášíme náboje Q , $2Q$, $3Q$, ...

Měříme napětí, které se mění: U , $2U$, $3U$, ...

$$\frac{Q}{U} = \frac{2Q}{2U} = \frac{3Q}{3U} = \dots = \textit{konst.}$$

kapacita

kapacita

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

Jednotka: Farad ... F

Například: $C = 2F$

Kondenzátor má kapacitu 1F, jestliže se nábojem 1C nabije na napětí 1V.

Poznámka: Farad je velká jednotka. V praxi potkáme jednotky μF , pF, nF.

Kapacita deskového kondenzátoru

- ▶ U deskového kondenzátoru závisí kapacita na jeho konstrukci.
- ▶ Konkrétně na obsahu účinné plochy desek (tedy na části plochy desek ležící proti sobě), na jejich vzdálenosti a na permitivitě prostředí mezi nimi.

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

Příklad

- Určete kapacitu kondenzátoru, který je nabit elektrickým nábojem $3,6\mu\text{C}$ na napětí 1200V .

$$Q = 3,6\mu\text{C}, U = 1200\text{V}; C = ?$$

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{3,6 \cdot 10^{-6}}{1200} \text{F} = 3 \cdot 10^{-9} \text{F} = 3\text{nF}$$

příklad

- ▶ Jak velký elektrický náboj byl přenesen na desku kondenzátoru o kapacitě 200pF, je-li mezi jeho deskami napětí 5000V?

$$C = 200 \text{ pF}, U = 5000 \text{ V}; Q = ?$$

$$C = \frac{Q}{U} \Rightarrow Q = CU = 200 \cdot 10^{-12} \cdot 5000 \text{ C} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ C} = 1 \mu\text{C}$$

příklad

- Určete maximální kapacitu deskového kondenzátoru, jehož obdélníkové desky o rozměrech 20cm a 30cm mají vzdálenost 6mm. Mezi deskami je vzduch.

$$a = 20\text{cm}, b = 30\text{cm}, d = 6\text{mm}, \varepsilon_r = 1; C = ?$$

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{a \cdot b}{d} = 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{0,2 \cdot 0,3}{0,006} \text{ F} \doteq 88,54 \text{ pF}$$

příklad

- ▶ Vložením skleněné desky mezi desky kondenzátoru se zmenšilo napětí mezi deskami pětkrát. Jaká je relativní permitivita skla?

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}; U = \frac{Q}{C} \Rightarrow C \uparrow 5krát \Rightarrow \varepsilon_r = 5$$

literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIŠ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Kondenzátory v technické praxi

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-08
Anotace	Seznámíme se se základními typy kondenzátorů, se kterými se lze v praxi setkat. Dále se naučíme počítat výslednou kapacitu, pokud spojíme několik kondenzátorů dohromady – paralelně či sériově.

Kondenzátory v technické praxi

► Víme:

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

Na základě ovlivňování jednotlivých parametrů můžeme konstruovat různé typy kondenzátorů.

Typy kondenzátorů

- ▶ Svitkový
- ▶ Keramický
- ▶ Elektrolytický
- ▶ Otočný – s proměnnou kapacitou

Svitkový kondenzátor

- ▶ Dielektrikum tvoří kondenzátorový papír. Jeho relativní permitivita se pohybuje v rozmezí 4 až 10.
- ▶ Elektrody jsou tvořeny hliníkovou fólií s vývody. Kondenzátorový papír včetně elektrod je svinut do válce.

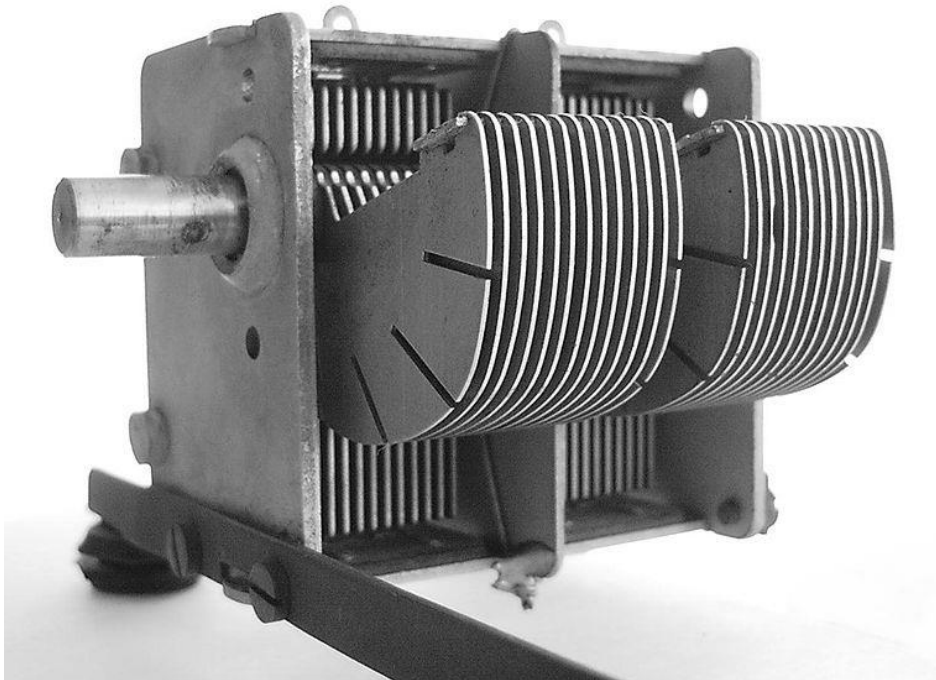
Keramický kondenzátor

- ▶ Používá se speciální keramika s vysokou relativní permitivitou a malým ztrátovým činitelem
- ▶ Rozlišují se dle tvaru (destičkové, terčové, průchodkové)

Elektrolytický kondenzátor

- ▶ Elektrody mají velký povrch
- ▶ Katoda je tvořena vodivým elektrolytem. Ten může být kapalný, polosuchý nebo pevný.
- ▶ Anoda je tvořena hliníkovou fólií, na které je tenká vrstvička Al_2O_3 nebo tantalovou fólií s vrstvičkou Ta_2O_5 . Vrstvička je dielektrikum.
- ▶ Nevýhoda: **nesmí být přepólován!**

Otočný kondenzátor

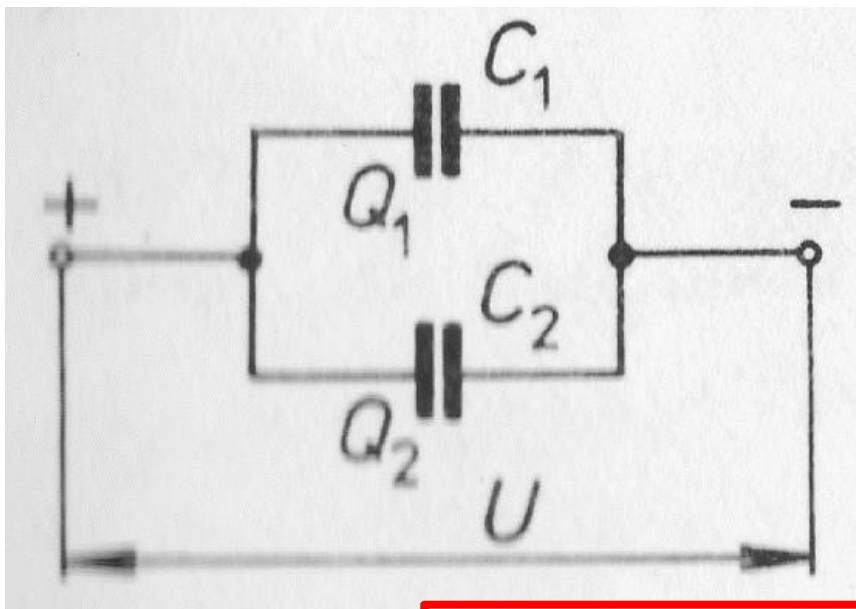


- S proměnnou kapacitou
- Mění se účinná plocha desek.

Elektrotechnická značka kondenzátoru



Paralelní spojování kondenzátorů



$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = C_1 U; Q_2 = C_2 U$$

$$CU = C_1 U + C_2 U$$

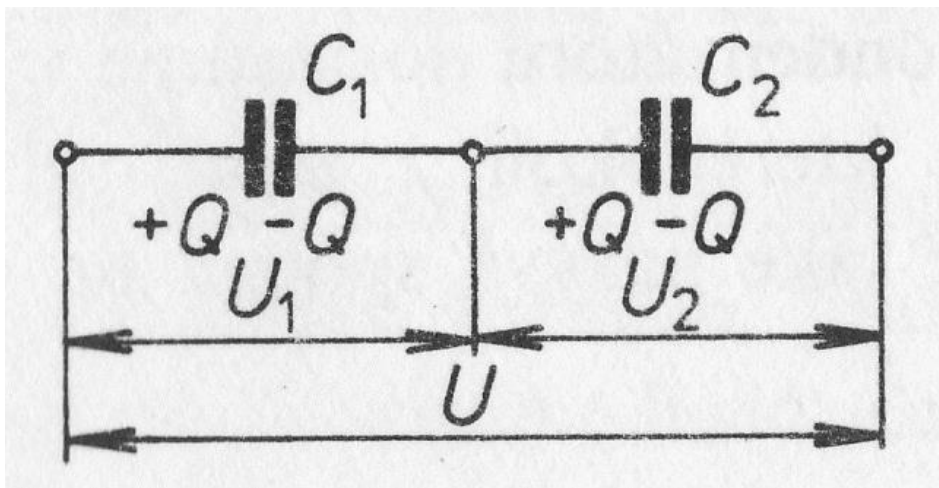
$$C = C_1 + C_2$$

Obecně:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Výsledná kapacita je **vždy větší**, než kapacita kteréhokoliv z nich.

Sériové spojování kondenzátorů



Náboje mají stejnou velikost.

$$Q = C_1 U_1 = C_2 U_2$$

$$U = U_1 + U_2$$

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

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Obecně:

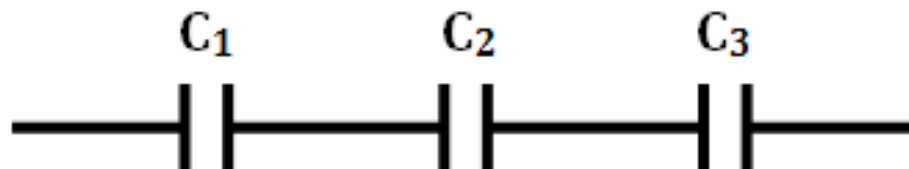
$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Sériové spojení kondenzátorů (poznámky)

Častá chyba: ~~$C = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$~~

Výsledná kapacita je **vždy menší**, než kapacita kteréhokoliv z nich.

Poznámka – sériové řazení tří kondenzátorů



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{C_1C_2 + C_1C_3 + C_2C_3}{C_1C_2C_3}$$

$$C = \frac{C_1C_2C_3}{C_1C_2 + C_1C_3 + C_2C_3}$$

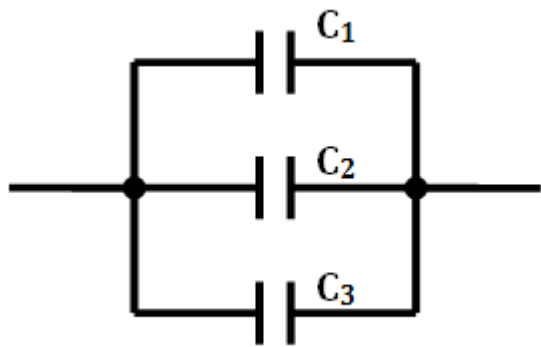
Energie nabitého kondenzátoru

- ▶ Energie je v kondenzátoru uchovávána ve formě náboje.

$$E_e = \frac{1}{2} CU^2$$

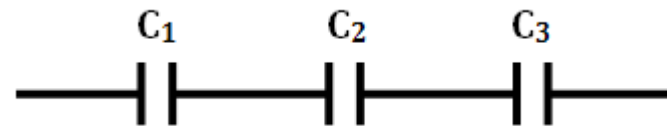
Příklad

- Mějme kondenzátory o kapacitách 20pF, 30pF a 50pF. Určete jejich výslednou kapacitu, jsou-li zapojeny a) paralelně, b) sériově



$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

$$C = (20 + 30 + 50) \text{ pF} = 100 \text{ pF}$$



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$C = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_2 + C_1 C_3 + C_2 C_3}$$

$$C = \frac{20 \cdot 30 \cdot 50}{20 \cdot 30 + 20 \cdot 50 + 30 \cdot 50} \text{ pF} \doteq 9,7 \text{ pF}$$

Příklad

- ▶ Jakou největší a jakou nejmenší kapacitu můžeme získat spojením kondenzátorů o kapacitách $2\mu\text{F}$, $4\mu\text{F}$ a $5\mu\text{F}$. Jak budou zapojeny?
- ▶ Největší: při paralelním spojení; $C=11\mu\text{F}$
- ▶ Nejmenší: při sériovém spojení; $C=1,05\mu\text{F}$
- ▶ Poznámka: výpočet viz. minulý příklad

Příklad

- ▶ Ke kondenzátoru o kapacitě 400pF se má připojit druhý kondenzátor tak, aby výsledná kapacita spojení byla 240pF. Jak je druhý kondenzátor připojen a jakou má kapacitu?
- ▶ Výsledná kapacita má být menší, než známých 400pF. Proto je zapojení sériové.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow \frac{1}{C_2} = \frac{1}{C} - \frac{1}{C_1} = \frac{C_1 - C}{C \cdot C_1}$$

$$C_2 = \frac{C \cdot C_1}{C_1 - C} = \frac{400 \cdot 240}{400 - 240} \text{ pF} = 600 \text{ pF}$$

příklad

- ▶ Jaká je energie kondenzátoru o kapacitě $5\mu\text{F}$, je-li mezi jeho deskami napětí 1000V ?

$$C = 5\mu\text{F} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ F}, U = 1000\text{V}; E_e = ?$$

$$E_e = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 1000^2 \text{ J} = 2,5 \text{ J}$$

Literatura

- ▶ [1]: PYSZ, Wojciech. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 23.9.2012]. Dostupný na WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Rotary_capacitor_Pionier.JPG>.
- ▶ [2]: AUTOR NEUVEDEN. *Kondenzátor* [online]. [cit. 26.9.2012]. Dostupný na WWW:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kondenz%C3%A1tor>>.
- ▶ [3] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIŠ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.