

1. ELEKTRICKÝ NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE

1. 1. ELEKTRICKÝ NÁBOJ A JEHO VLASTNOSTI

- Existují dva druhy elektrického náboje: kladný a záporný.
- Elektrické náboje na tělesech vznikají přemístěním elektronů z jednoho tělesa na druhé.
(dotykem, třením, ...)
- Vzájemným třením dvou těles se jedno těleso zelektruje kladně a druhé záporně.
- **Statická elektřina** je označení pro jevy způsobené nashromážděním elektrického náboje na povrchu různých těles a předmětů a jejich výměnou při vzájemném kontaktu.

- **Fyzikální veličina** elektrický náboj **Q**;

[Q] = C (coulomb). (F 1736-1806)

Náboj 1C projde průřezem vodiče při proudu 1A za 1s.

- Hodnota Q je vždy násobkem velikosti elementárního náboje.
 $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
- Nosiče kladného elementárního náboje v atomu jsou protony, nosiče záporného elementárního náboje v atomu elektrony.
- Souhlasné náboje se odpuzují.
Nesouhlasné náboje se přitahují.
Nabité a nenabitě těleso se přitahuje.
- V elektricky neutrálních tělesech je počet kladných a záporných elementárních nábojů stejný a jejich silové působení se navzájem ruší.

Elektricky nabitý atom se nazývá **iont**.

- **kladný ion – kation** vznikne, odpoutá-li se z obalu původně neutrálního atomu 1 nebo více elektronů,
- **záporný ion – anion** vznikne, připojí-li se k obalu neutrálního atomu 1 nebo více elektronů
- V izolované soustavě platí
zákon zachování elektrického náboje:

**Celkový elektrický náboj
se vzájemným ze elektrováním
v izolované soustavě těles nemění.**

Podle pohybu náboje daným materiálem rozlišujeme:

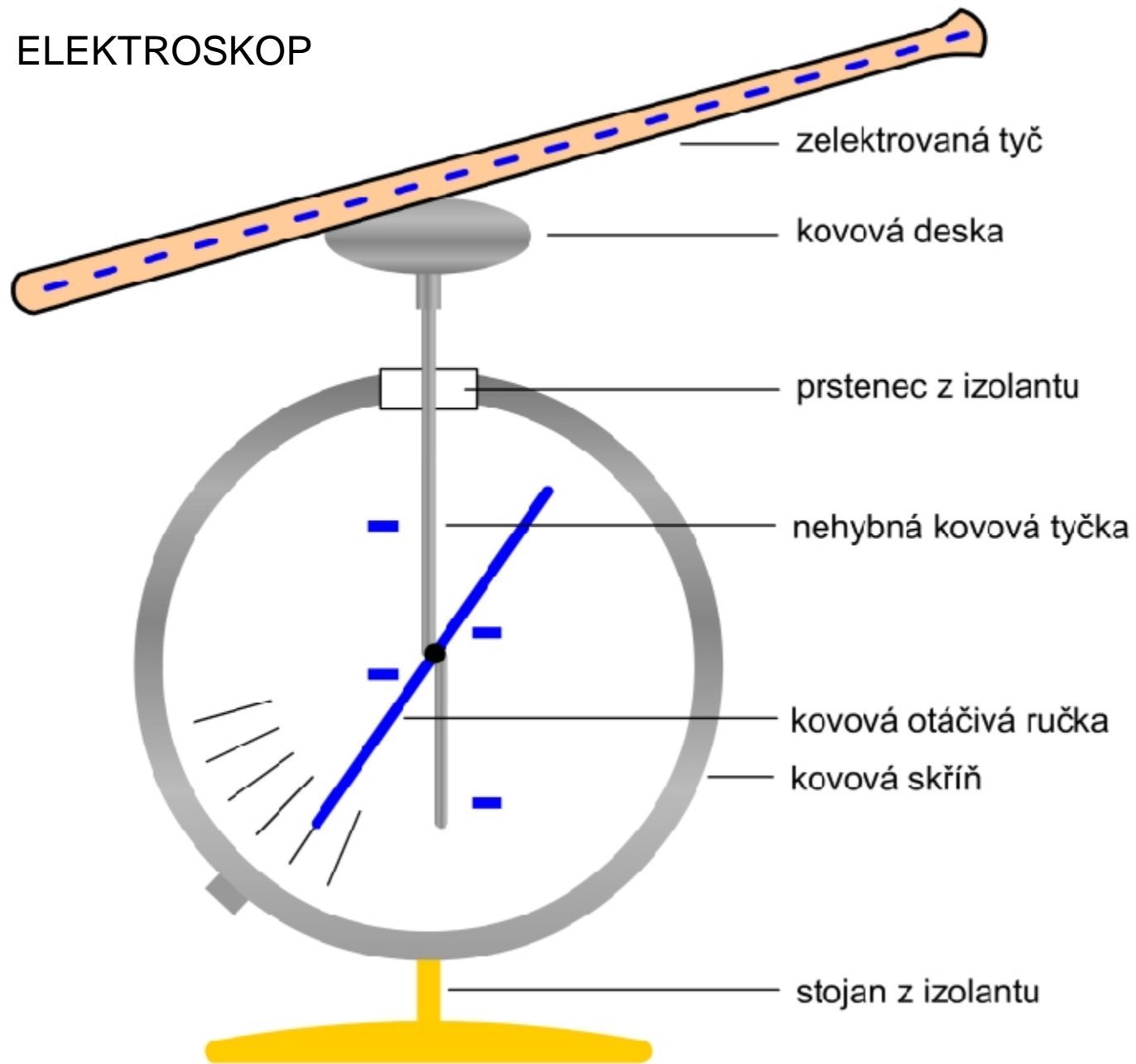
- **vodiče** - elektrický náboj se v nich snadno přemísťuje

(Elektrony, které jsou schopné přenášet náboj v kovech, jsou k atomovým jádrům slabě vázány a mohou se od nich snadno odpoutat . Vytváří tzv. **elektronový plyn**, který je příčinou dobré vodivosti kovů.)

- **izolanty (dielektrika)** – elektrony jsou pevně vázány k atomovým jádrům a jejich pohyb daným materiálem proto není možný.

- V okolí el. nabitých těles nebo částic existuje **elektrické pole**.
- Zdrojem el. pole jsou částice nesoucí el. náboj.
- **Elektrostatické pole** je podmíněno vznikem nerovnováhy nábojů, například na dvou navzájem izolovaných tělesech. Může existovat jen v dielektriku!
- Ve vodivém prostředí by došlo k pohybu nabitých částic. Došlo by k vyrovnání nábojů.
- Mezi každými dvěma body v prostoru, v němž je vytvořeno elektrostatické pole, lze měřit napětí.

ELEKTROSKOP



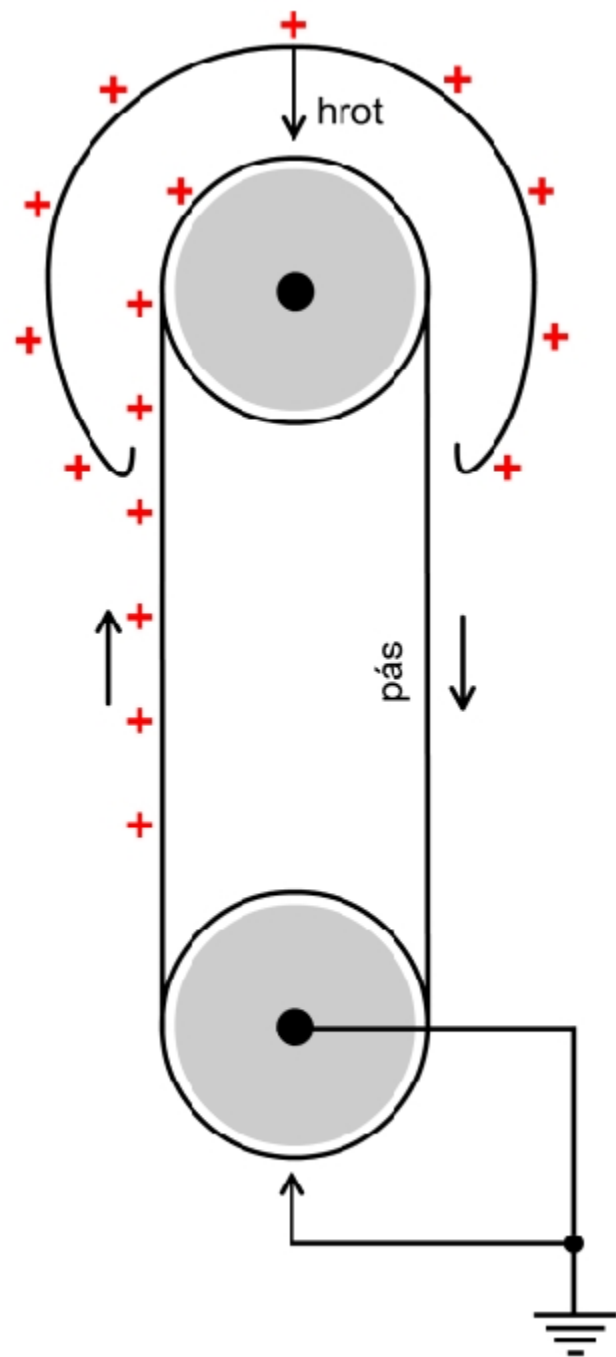
schéma

van de Graaffova generátoru

Pohybem pásu ze syntetické tkaniny nebo pryže vznikají třením na pásu kladné náboje a jsou pásem přeneseny do dutiny velké kovové koule (tzv. kolektoru, sběrače) posazené na sloup z izolantu.

Náboje jsou hrotem odvedeny na vnitřní povrch kolektoru, odkud přecházejí na jeho vnější povrch (princip Faradayova poháru).

Záporné náboje dolní kladky, jež uvádí pás do pohybu, jsou převedeny na podstavec generátoru, který je vhodné uzemnit.



využití vzájemného působení elektricky nabitých těles

- *kopírka, xerox* (z řeckého xerox = suchý) ...

Xerox vynalezl americký právník CH. CARLSON v roce 1938, první kopírka se objevila na trhu roku 1961.

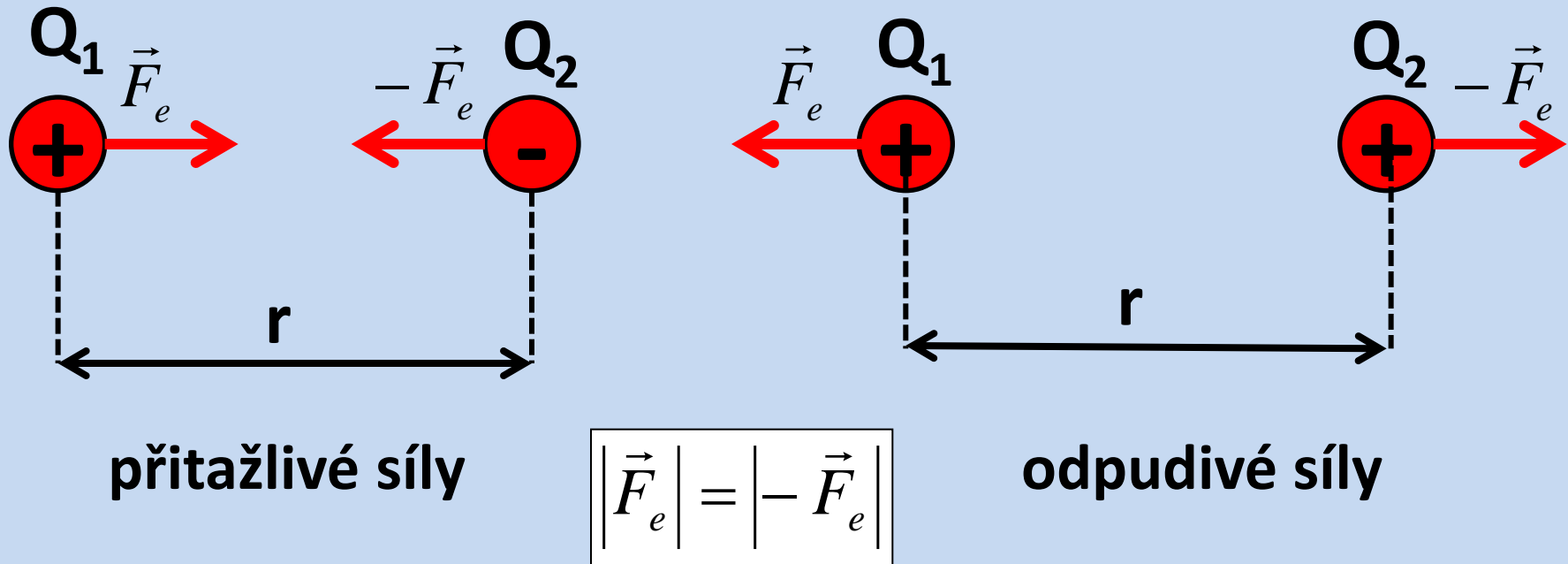
- *laserová tiskárna*

ektrostatický obraz nevzniká odrazem světla od předlohy, ale dopadem velmi úzkého laserového paprsku řízeného počítačem. Zásobník toneru a světlocitlivý válec tvoří v laserové tiskárně jeden celek a při výměně toneru se nahrazují novou soupravou. V kopírce se doplňuje jen toner.

- Statická elektřina vzniká také při výrobě textilu nebo papíru. Proto jsou např. v papírnách uzemněné ocelové hřebeny, které odvádějí vzniklé náboje do země. Jinak by mohlo dojít k elektrickému výboji, a tím i k požáru.

1. 2. ELEKTROSTATICKÉ SILOVÉ PŮSOBENÍ BODOVÝCH ELEKTRICKÝCH NÁBOJŮ

- Bodové náboje** jsou zeлектроvaná tělesa, jejichž rozměry jsou zanedbatelné ve srovnání s jejich vzájemnou vzdáleností, (nabitý hmotný bod).



F_e – elektrostatická síla

Coulombův zákon:

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

- Velikost sil, kterými na sebe působí dva bodové náboje, je přímo úměrná absolutní hodnotě součinu jejich velikostí a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti.

- k – konstanta úměrnosti závislá na prostředí, v němž se náboje nachází;

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

- pro vakuum** $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$

- permitivita prostředí ϵ

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

- permitivita vakua

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

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

- relativní permitivita

ϵ_r vyjadřuje vliv látky na elektrické pole

- vzduch

$$\epsilon_r = 1,0006$$

pro vakuum

$$\epsilon_r = 1$$

- petrolej

$$\epsilon_r = 2,1$$

jinak

$$\epsilon_r > 1$$

- sklo

$$\epsilon_r = 5 - 16$$

- voda

$$\epsilon_r = 81,6$$

MFCHT

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

- Vložíme-li dva bodové náboje do izolujícího látkového prostředí (**dielektrika**), působí na sebe silou menší než ve vakuu.
- Coulombův zákon je formálně velice podobný Newtonovu gravitačnímu zákonu.

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

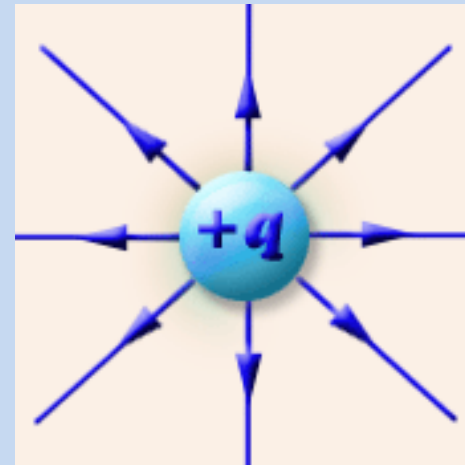
$$F_g = \chi \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

- Rozdíl je v tom, že síla gravitační je vždy přitažlivá, síla elektrická může být přitažlivá i odpuzivá.

1. 3. INTENZITA ELEKTRICKÉHO POLE

- V okolí každého el. nabitého tělesa existuje elektrické pole.
- **Elektrické pole** popisuje **intenzita elektrického pole:**
- $[E] = \text{N.C}^{-1} = \text{V.m}^{-1}$
- je určena podílem elektrické síly, která by v daném místě působila na bodový náboj, a tohoto náboje.

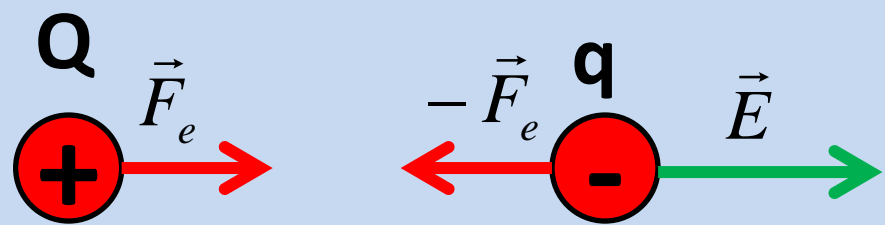
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$



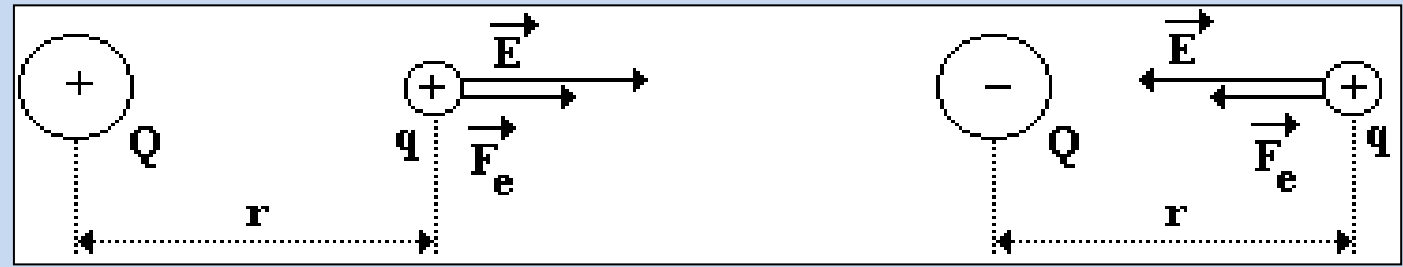
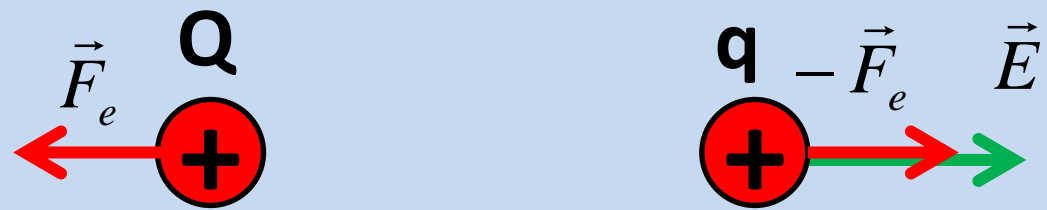
Je-li testovací náboj q

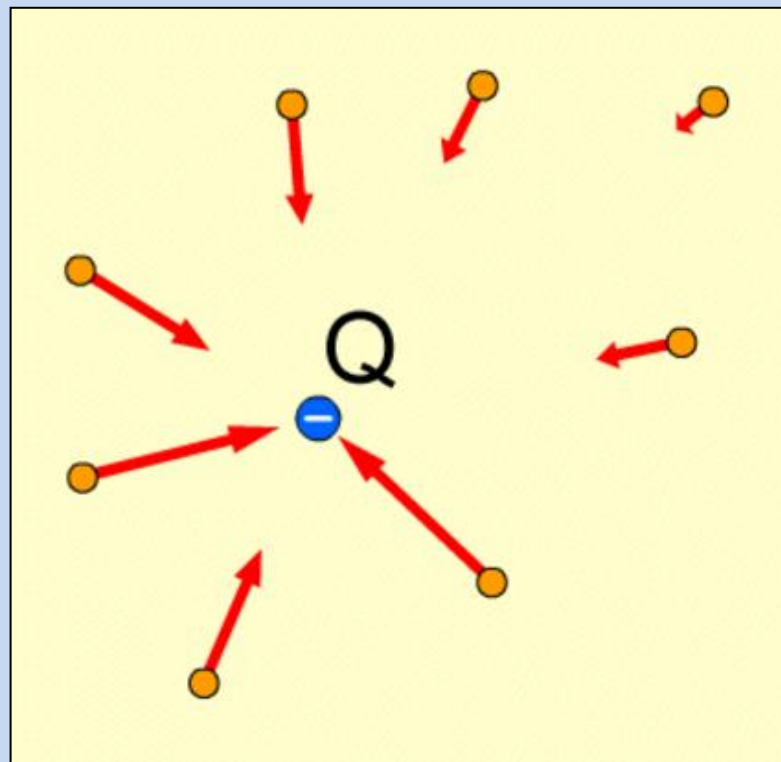
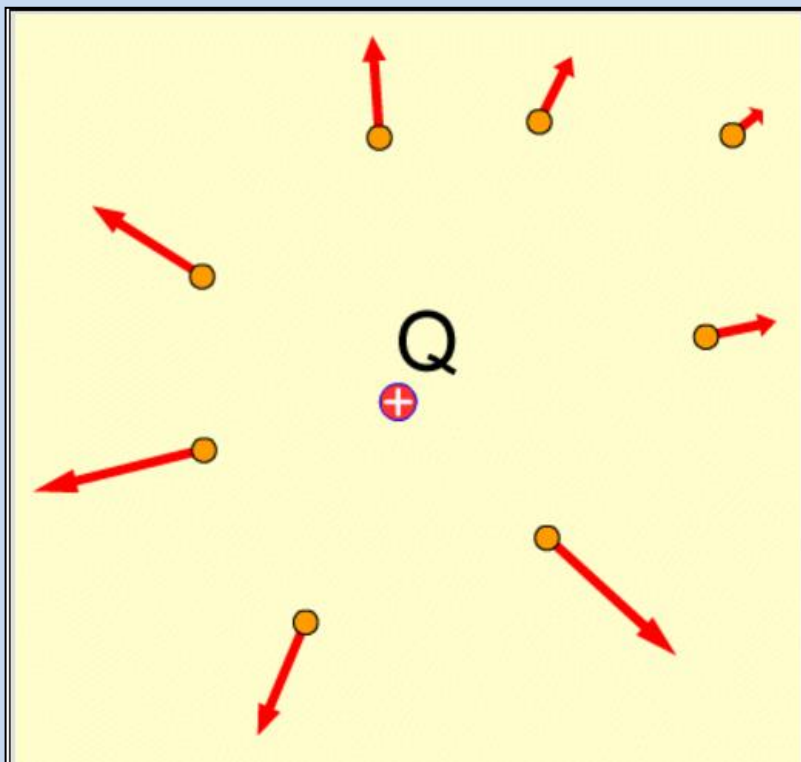
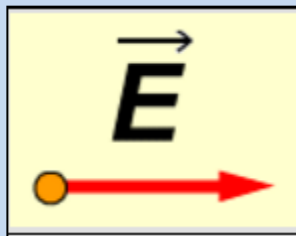
- **záporný**, má elektrická intenzita opačný směr než elektrická **síla**,

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



kladný, jsou směry obou veličin totožné.





Velikost elektrické intenzity

ve vzdálenosti r od osamoceného bodového náboje Q je možné určit pomocí Coulombova zákona.

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

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

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

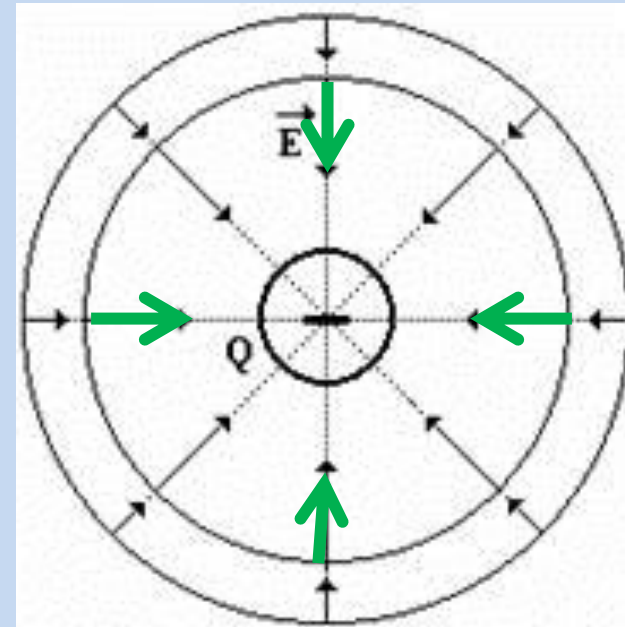
Směr vektoru elektrické intenzity

závisí na znaménku náboje Q

Vektorový model elektrického pole:

- **radiální (centrální) pole**

pole, v němž vektory elektrické intenzity míří do (pokud $Q -$) nebo od ($Q +$) bod. náboje; \vec{E} má ve všech místech ve vzdálenosti r stejnou velikost

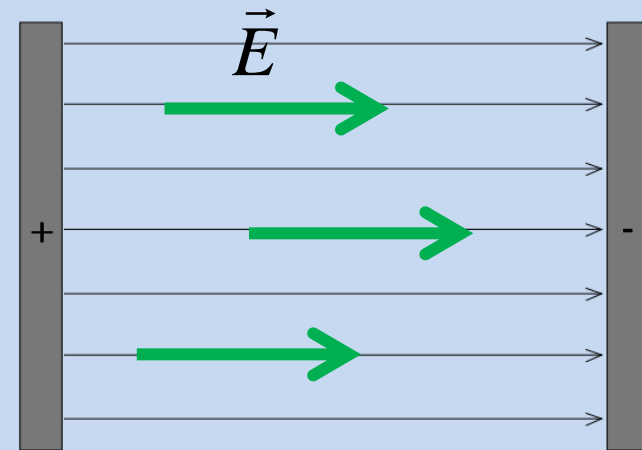


- **homogenní pole**

elektrická intenzita má ve všech místech stejný směr a velikost.

Př.:

(Mezi dvěma rovnoběžnými opačně nabitými deskami)

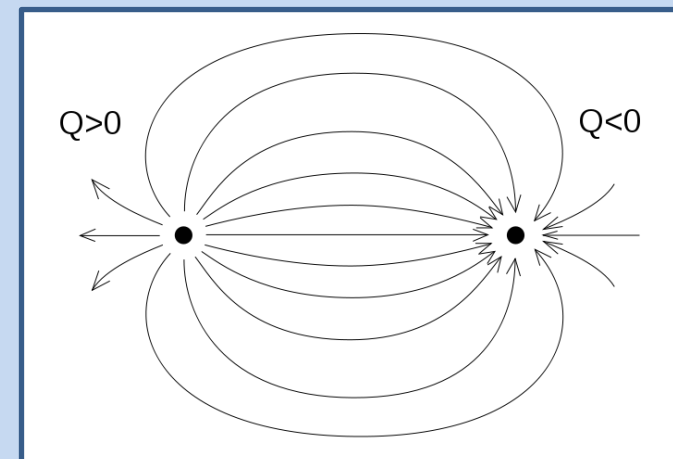
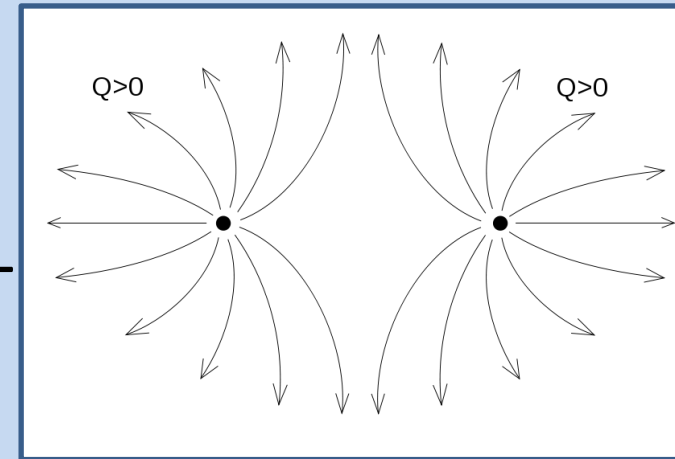


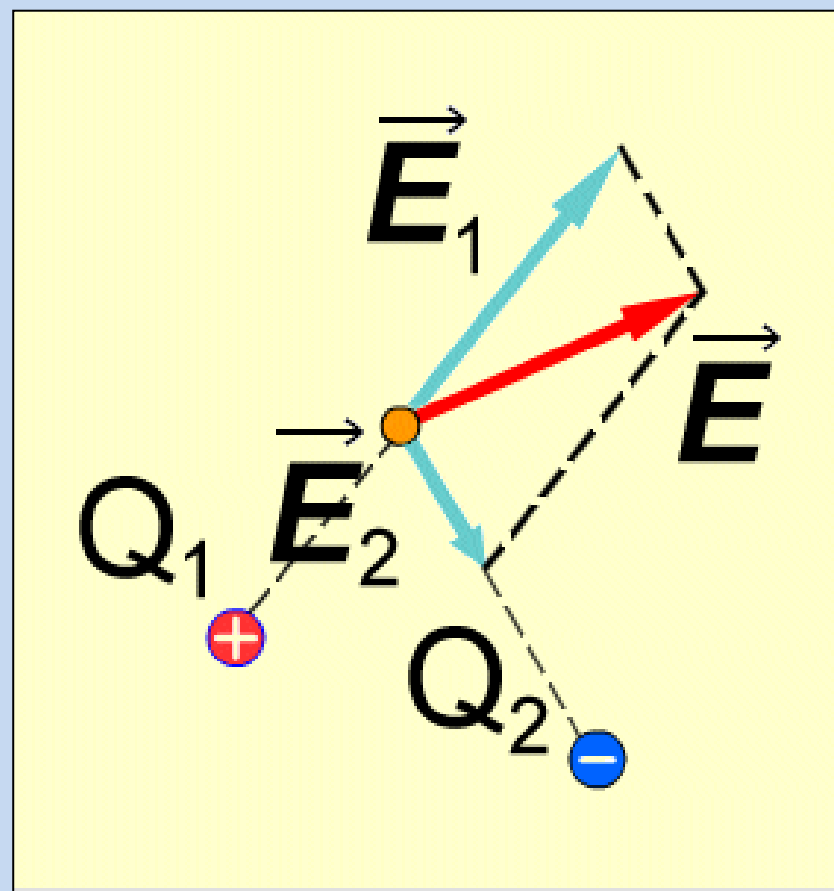
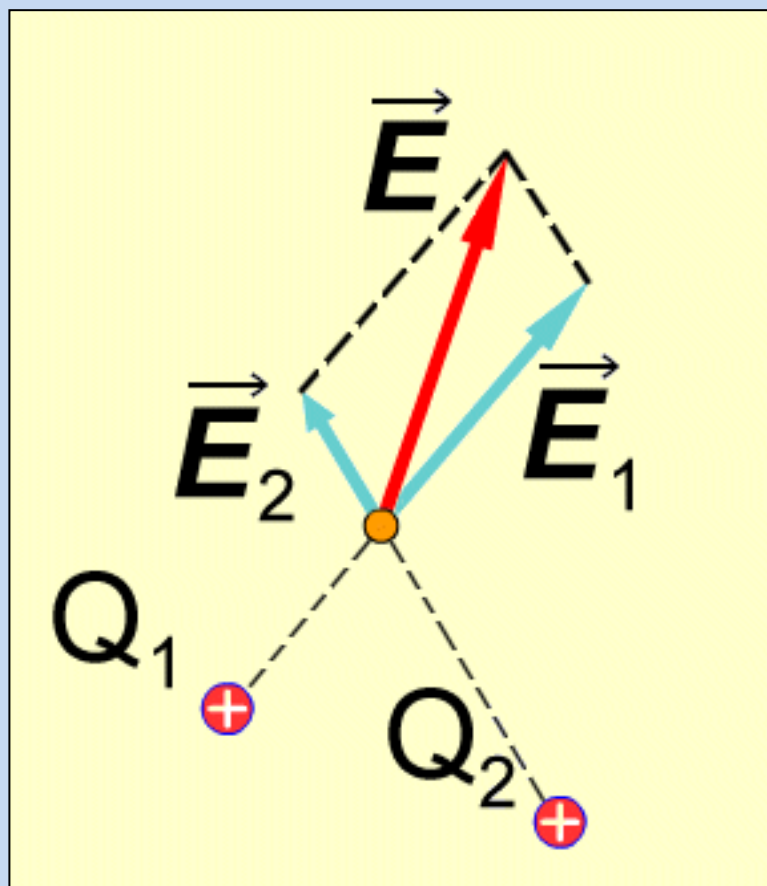
Siločárový model

- **siločára** je myšlená křivka, jejíž tečna sestrojena v určitém bodě el. pole určuje směr intenzity el. pole.
 - v homogenním poli – rovnoběžné
 - v radiálním poli – paprskovité

Vlastnosti:

- jsou spojité – začínají na +, končí na – (U osamocené vodiče nebo u dvojice nábojů stejného znaménka ubíhají do ∞ .)
- jsou kolmé k povrchu nabitého tělesa
- navzájem se neprotínají



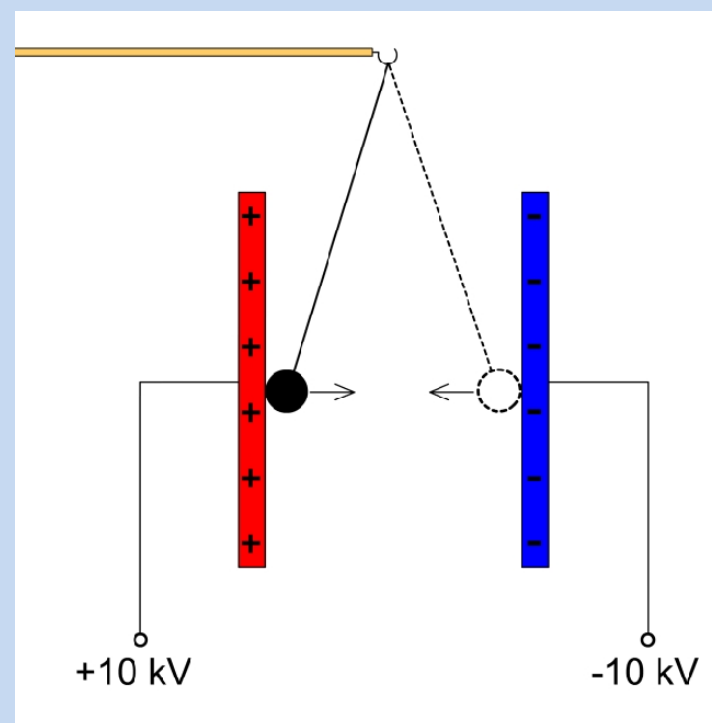


1.4. PRÁCE V ELEKTROSTATICKÉM POLI, ELEKTRICKÉ NAPĚTÍ

Př.: Dvě rovnoběžné kovové opačně nabité desky vytváří mezi sebou homogenní **elektrostatické pole**.

Vložíme-li do tohoto pole malou vodivou kuličku upevněnou na nevodivém vlákně, pak po vychýlení, při němž se kulička dotkne jedné z desek, začne kulička kmitat mezi deskami.

- Při každém nárazu **změní znaménko** svého náboje, a proto se **změní i směr elektrostatické síly**, která koná práci nutnou k urychlení kuličky a k překonání odporu vzduchu.



$$W = F_e d$$

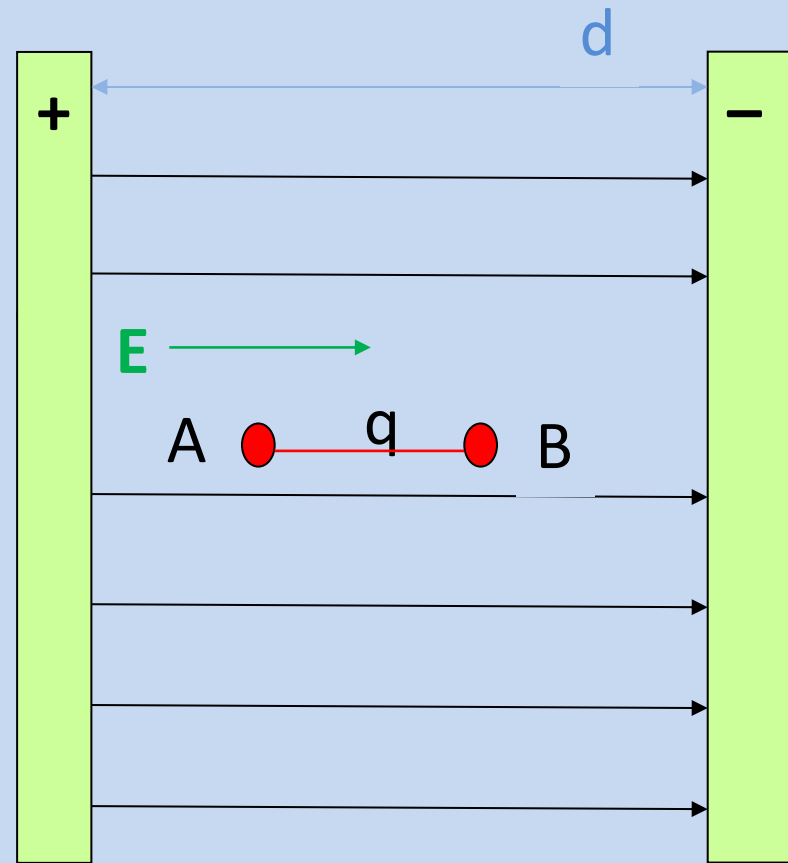
$$W = |q|Ed$$

E – intenzita pole

d – **dráha**, po níž síla na kuličku působila
(vzdálenost desek)

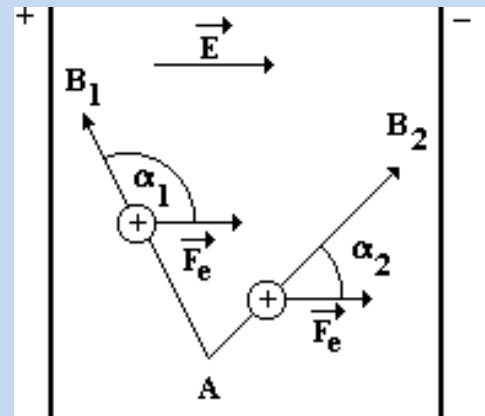
Práce, kterou vykoná elektrostatická síla
při přemístění bodového náboje q
z bodu A do bodu B v elektrost. poli,

- **nezávisí na tvaru trajektorie**
- **je přímo úměrná přenášenému náboji q .**



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

$$W = qEd \cos \alpha$$



α – je úhel, který svírá vektor F_e se směrem pohybu kuličky

$W > 0$ – F_e práci koná

$W < 0$ - F_e práci spotřebovává (práci tedy koná vnější síla)

$W = 0$ práce se nekoná je-li $\alpha = 90^\circ$

$$W_{AB} = -W_{BA}$$

Konstantou úměrnosti je **elektrické napětí** U_{AB} mezi body A, B:

- Konstantou úměrnosti je **elektrické napětí** U_{AB} mezi body A, B :
- **Elektrické napětí** nezávisí na tvaru **trajektorie** ani na velikosti přenášeného náboje, je určeno pouze polohou obou bodů.
- Je to podíl práce vykonané el. silou při přenesení bodového náboje z A do B a tohoto náboje.

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

- $[U] = \text{J.C}^{-1} = \text{V (volt)}$

$$U = \frac{W}{q} = \frac{qEd}{q} = Ed \Rightarrow E = \frac{U}{d}$$

- **V homogenním poli**

jednotka elektrické intenzity: $[E] = \text{V.m}^{-1}$.

1.5. POTENCIÁLNÍ ENERGIE ELEKTROST. POLE, ELEKTRICKÝ POTENCIÁL

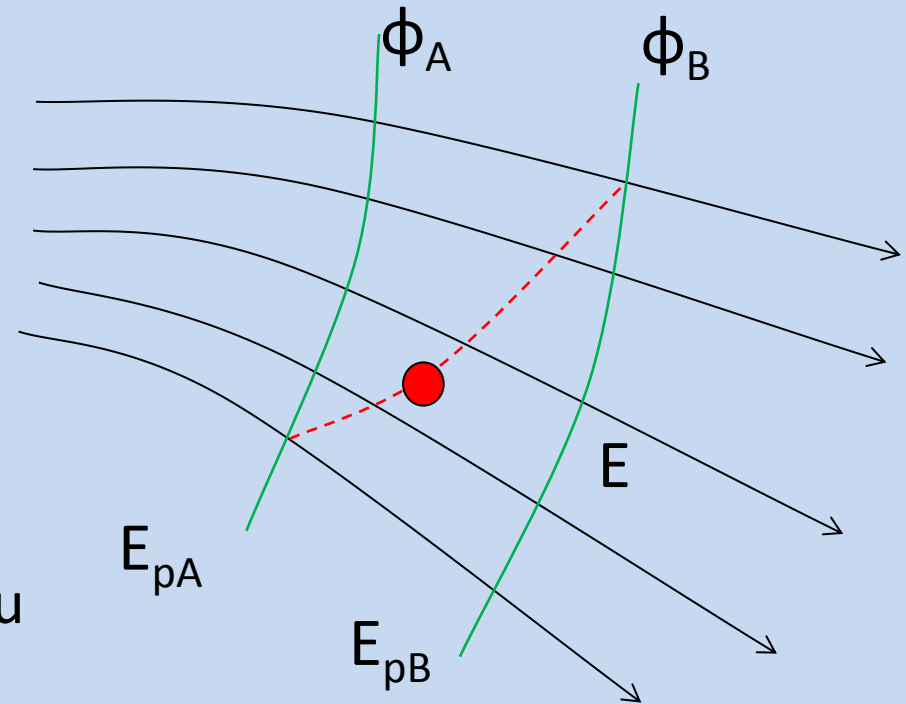
Potenciální energie E_p bodového náboje závisí na jeho poloze v elektrost. poli.

- E_p – **se zmenšuje** při pohybu ve směru působení elektrostatické síly
- E_p – **se zvětšuje** při pohybu proti směru působení elektrostatické síly

Práce vykonaná elektrostatickou silou při přemístění bodového náboje

z bodu A do bodu B je rovna úbytku el. potenciální energie:

$$W_{AB} = q \cdot U_{AB} = E_{pA} - E_{pB} .$$



- Práce vykonaná elektrostatickou silou při přemístění bodového náboje z bodu A do bodu B je rovna úbytku el. potenciální energie:

$$W_{AB} = q \cdot U_{AB} = E_{pA} - E_{pB} .$$

- ϕ – **elektrický potenciál** v daném bodě je podíl potenciální energie E_p bodového náboje v určitém místě el. pole a tohoto náboje.

$$\phi = \frac{E_p}{q}$$

- $[\phi] = [U] = V$

- **Napětí mezi dvěma body elektrostatického pole je rovno rozdílu jejich potenciálů.**

$$U_{AB} = \frac{E_{pA}}{q} - \frac{E_{pB}}{q} = \phi_A - \phi_B$$

- Elektrické napětí je nutné ukazovat dvěma rukama, elektrický potenciál ukazujeme jednou rukou.

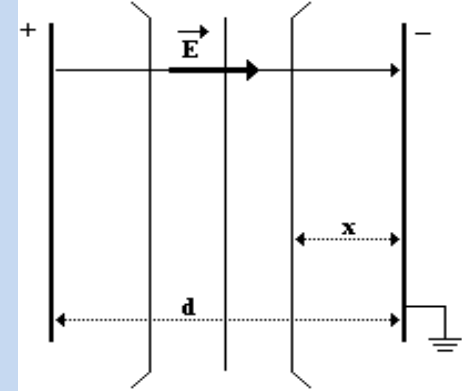
- **Potenciál Země a uzemněných těles je nulový.** Země a tělesa s ní vodivě spojená (uzemněná) mají nulovou potenciální energii.
- Napětí mezi určitým bodem elst. pole a Zemí je rovno elektrickému potenciálu tohoto bodu.

Proto můžeme definovat potenciál jako podíl **práce** W , kterou vykoná elektrostatická síla při přenesení bodového náboje q z daného místa na Zem, a tohoto náboje:

$$\varphi = \frac{W}{q}$$

- pohybuje-li se bodový náboj kolmo k siločárám elektrostatického pole, jeho E_p se nemění (elektrostatická síla nekoná žádnou práci).

- **ekvipotenciální plocha** = hladina stejného potenciálu ,
plocha, která je ve všech svých bodech kolmá k siločárám elst. pole
- **v homogenním poli**
ekvipotenciálními plochami
jsou rovnoběžné roviny
(se dvěma deskami, vytvářející pole).



- potenciál se mění rovnoměrně.
- Jednu desku (např. zápornou) je možné uzemnit
(**záporný náboj** se na ní bude udržovat díky silovému působení
kladného náboje na druhé desce).
- d – vzdálenost desek, U – napětí mezi nimi
ve vzdálenosti x od uzemněné desky je potenciál

$$\varphi = Ex = U \frac{x}{d}$$

- **v radiálním poli** – ekvipotenciální plochy jsou kulové plochy se středem v bodovém náboji.



- Přiblížíme-li k pevnému bodovému náboji Q ve vakuu do vzdálenosti r bodový náboj q téhož znaménka, musíme překonat elst. odpudivou sílu. Soustava tak spotřebuje práci a získá potenciální energii a pro potenciál dostáváme

$$E_p = W = F_e r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r}$$

$$\varphi = \frac{W}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}$$

- Budeme-li vzdálenost r zvětšovat až do nekonečna, bude hodnota elektrického potenciálu klesat k nule.
(potenciál klesá pomaleji než intenzita)
- Zvětšovat vzdálenost do nekonečna není technicky možné.
- Budeme zvětšovat vzdálenost tak, že hodnota elektrického potenciálu bude neměřitelná (a tedy téměř nulová).

Millikanův pokus

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

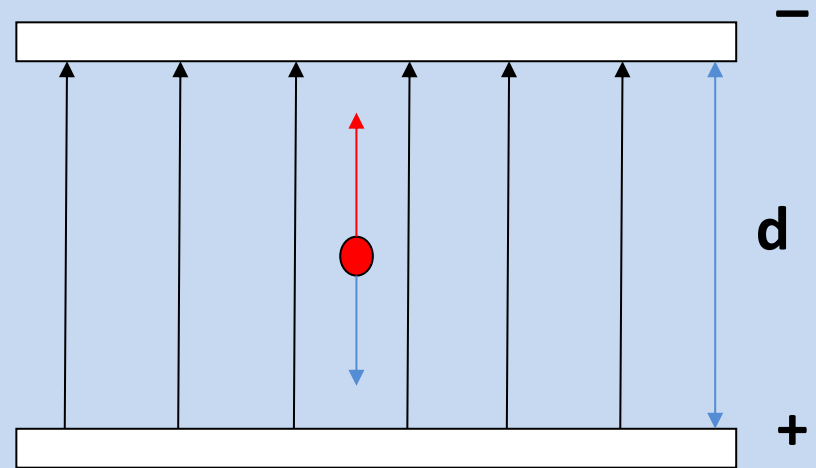
- + olejové kapičky v homogenním poli
- Rovnost se snadno poruší a kapička se začne pohybovat.
- nezměnila se m , d , U
- změnil se q
- Nového rovnovážného stavu se dosáhne, změní-li se U o určitou část:
- **vždy celočíselný násobek e**

$$F_G = mg$$

$$F_e = Eq = \frac{U}{d} q$$

$$mg = \frac{U}{d} q$$

$$q = \frac{mgd}{U}$$



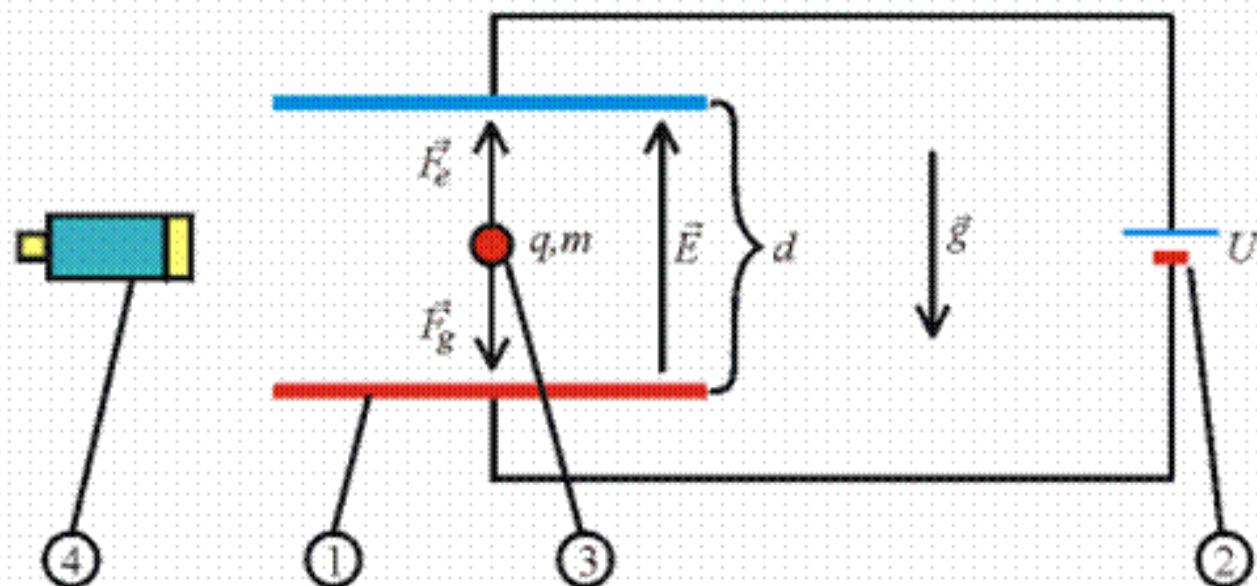


Schéma Millikanova experimentu:

- 1 rovinné elektrody,
- 2 zdroj napětí,
- 3 nabitá částice,
- 4 pozorovací mikroskop.

Veličiny v obrázku: U - elektrické napětí, d - vzdálenost elektrod,
 \vec{E} - elektrická intenzita, q - elektrický náboj částice, m - hmotnost částice,
 \vec{g} - gravitační zrychlení. Při vhodně zvoleném napětí elektrická síla \vec{F}_e
přesně kompenzuje gravitační sílu \vec{F}_g a částice se vznáší "levituje".

1.6. ROZLOŽENÍ ELEKTRICKÉHO NÁBOJE NA VODIČI

Náboj přivedený na izolované vodivé těleso se rozloží pouze **na vnějším povrchu tělesa.**

Důvod:

náboje shodného znaménka se vzájemně odpuzují – proto se snaží od sebe oddálit co nejvíce.

- na tělese **kulového tvaru** je rozložen náboj rovnoměrně
- na **nepravidelných** tělesech je rozložení nerovnoměrné
 - v dutinách je náboje málo
 - na hrotech a hranách nejvíce

- **plošná hustota náboje** $[\sigma] = \text{C.m}^{-2}$

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi R^2}$$

$$\sigma = \frac{\Delta Q}{\Delta S}$$

- na kouli

-
- V okolí nabité vodivé koule o poloměru R ve vakuu vzniká radiální elst. pole takové, jako kdyby celý náboj Q byl soustředěn v jejím středu.
 - *Vodivé nabité těleso, které má elektrický náboj pouze na svém povrchu, se nazývá Faradayova klec. (automobil, nabitá plechovka, ...)*
 - **potenciál je uvnitř koule stejný jako na povrchu**

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R}$$

- ve vzdálenosti $r > R$ od středu

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}$$

- Mezi elektrickou intenzitou v těsné blízkosti koule ve vakuu a plošnou hustotou náboje na jejím povrchu platí:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q|}{R^2} = \frac{|Q|}{\epsilon_0 S} = \frac{|\sigma|}{\epsilon_0}$$

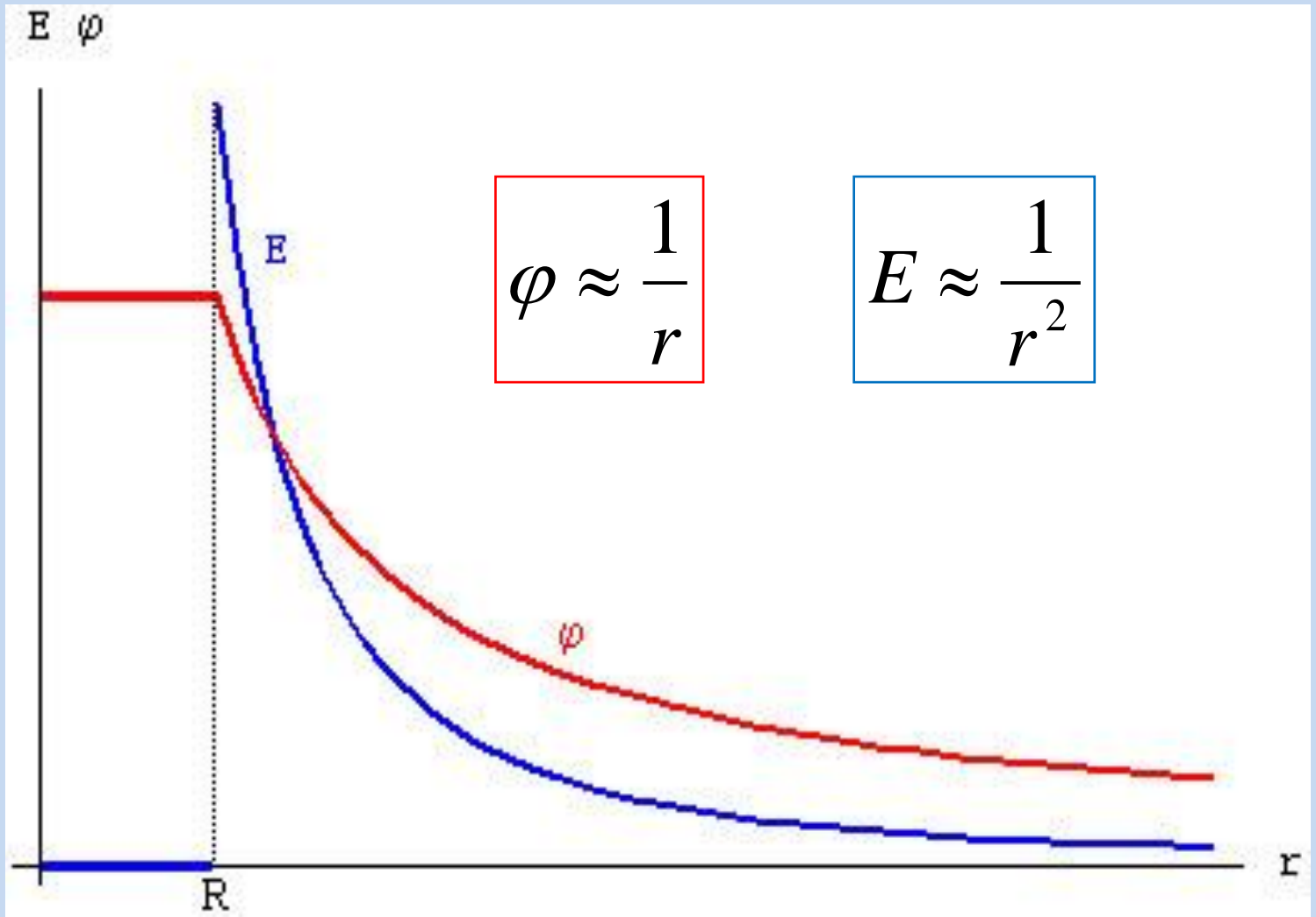
$$\sigma = E\epsilon_0$$

- Tento vztah platí i pro tělesa nepravidelného tvaru.
- Povrch libovolného nabitého tělesa je **ekvipotenciální plochou** (jako povrch koule), **siločáry** vystupují z povrchu kolmo

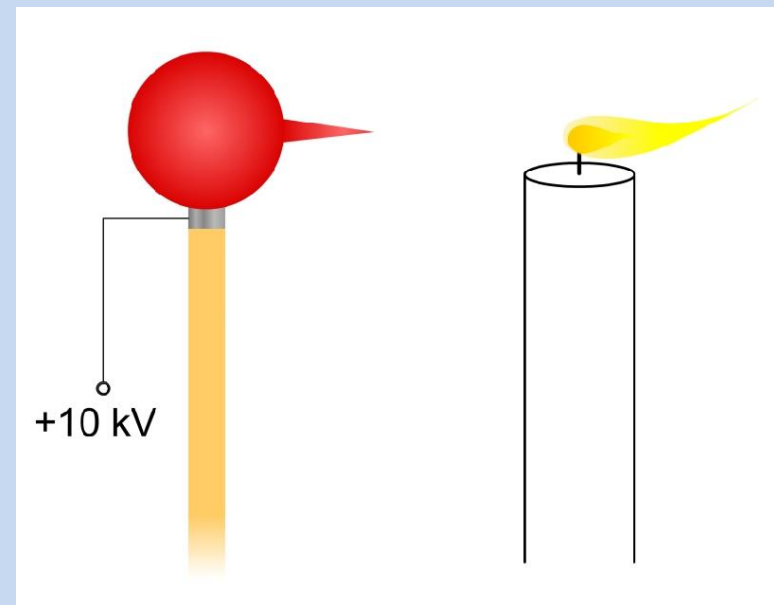
Velikost intenzity vně koule ($r > R$) vypočteme ze vztahu:

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

- **elektrická intenzita** uvnitř koule je nulová



- Na hranách těles může docházet díky velké elektrické intenzitě k ionizaci vzduchu, který tak ztrácí izolační schopnosti. Ionty stejného náboje, jako je náboj na hrotu, jsou od hrotu odpuzovány a vzniká **elektrický vítr**.

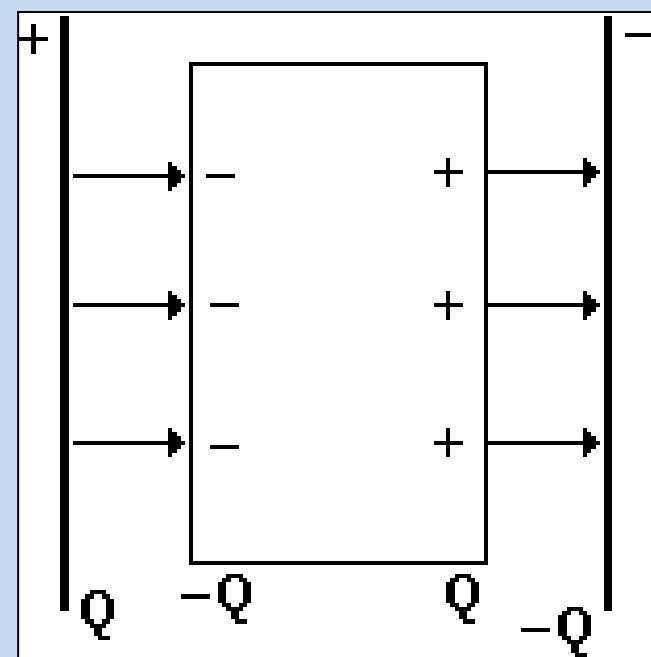
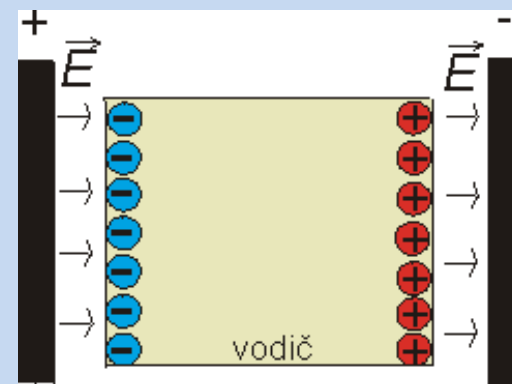


- Opačně nabité ionty se přibližují k hrotu a neutralizují jeho náboj. Tzv. **sršení elektřiny** způsobuje ztráty při **přenosu elektrické energie** vedením velmi vysokého napětí.
- Dále se tohoto jevu využívá v elektrostatických filtrech kouře - částice kouře se nabíjejí záporně, hromadí se na stěnách a vlastní **tíhou** se sesouvají dolů do jímky.

1.7. VODIČ A IZOLANT V ELEKTRICKÉM POLI

Vodič obsahuje volné elektrony, které se mohou volně pohybovat.

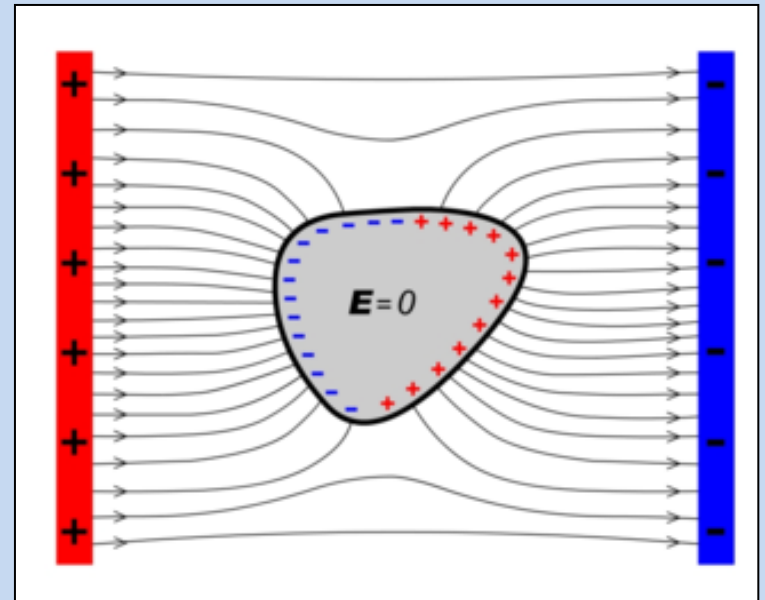
- Umístíme-li do elektrostatického pole kovový vodič, vznikne dočasně elektrostatické pole i v něm a způsobí pohyb volných elektronů, které se hromadí na jeho povrchu.
- V místech, kde siločáry vstupují do vodiče se vodič nabije **záporně**,
- na opačné straně, kde siločáry z vodiče vystupují, vzniká stejně velký **kladný** náboj.



Elektrostatická indukce

je vznik indukovaného náboje na povrchu vodiče, který je vyvolán přemístěním volných nosičů náboje v izolovaném vodiči působením vnějšího el. pole

- Děj pokračuje tak dlouho, až pole indukovaných nábojů zruší vnější pole a intenzita pole všude uvnitř vodiče je nulová.



- **Náboje tímto způsobem indukované ve vodiči je možné od sebe oddělit rozdělením vodiče na dvě části.**
(...můžeme ho odvést...)

Izolanty (dielektrika) nemají volné elektrony, které by se mohly přemísťovat.

- (vakuum, suchý vzduch, porcelán, plastické hmoty, guma,...)
- Jádra a hlavně elektrony v atomech nejsou pevně vázány.

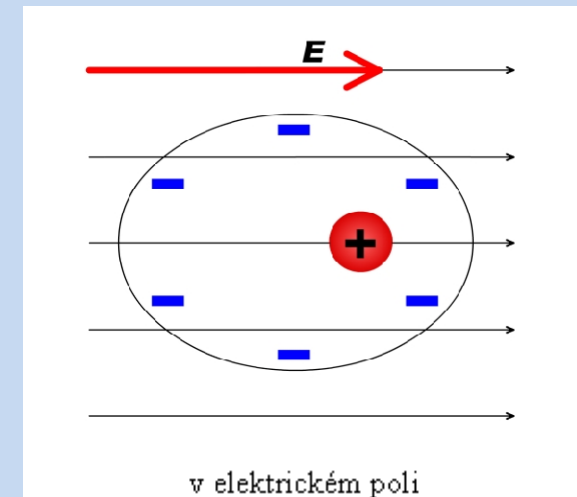
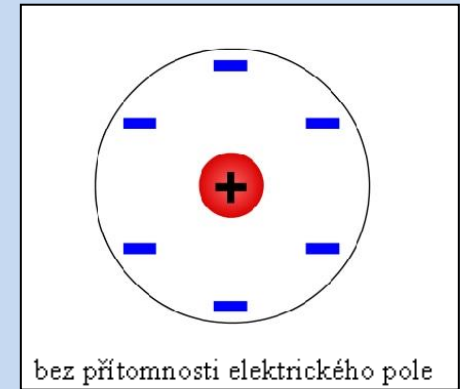
V elektrickém poli se polarizují:

Mohou nastat tyto případy:

1. atomová (molekulová) polarizace dielektrika

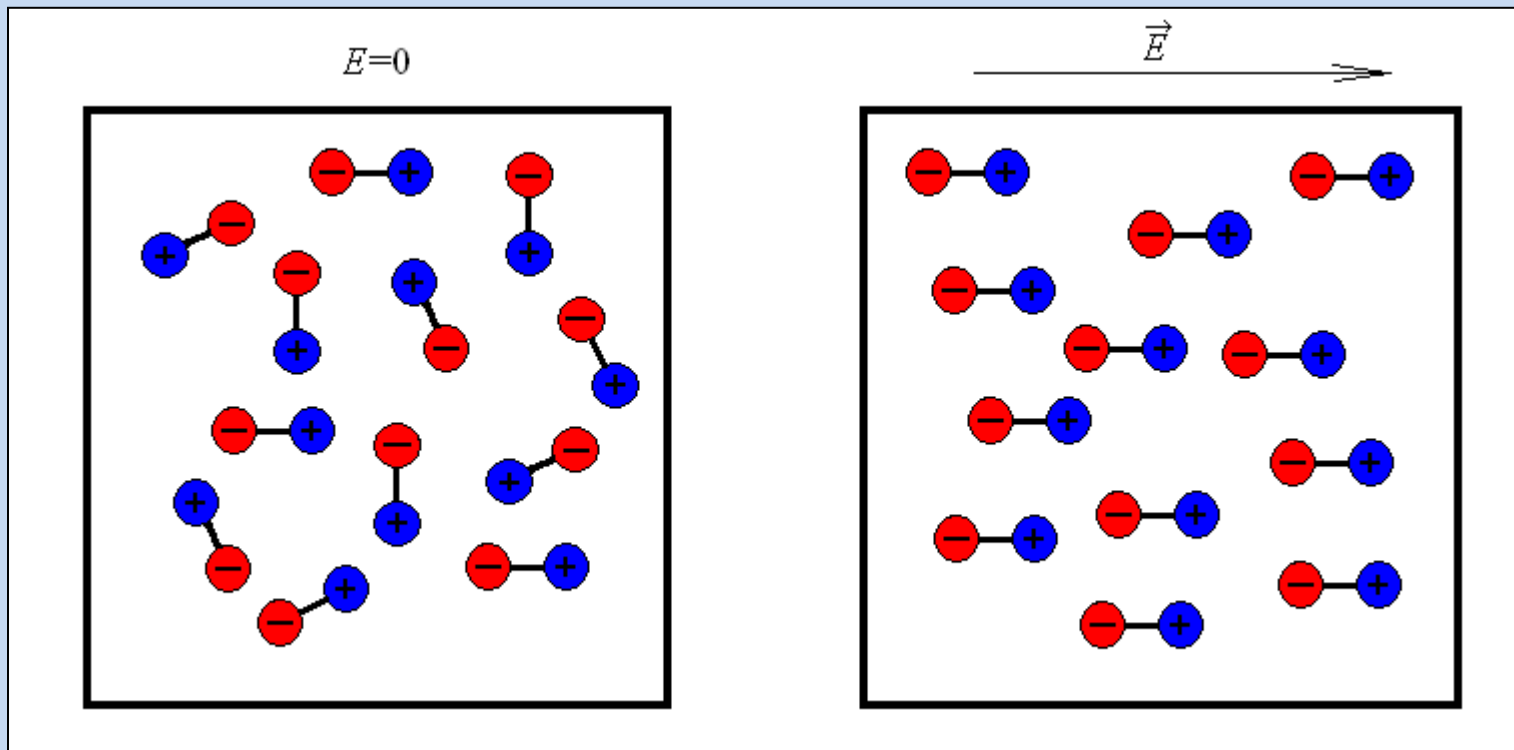
Vlivem vnějšího elektrostatického pole se jádro posouvá ve směru siločar, elektrony opačně.

Původně neutrální atomy se stávají **elektrickými dipóly**.



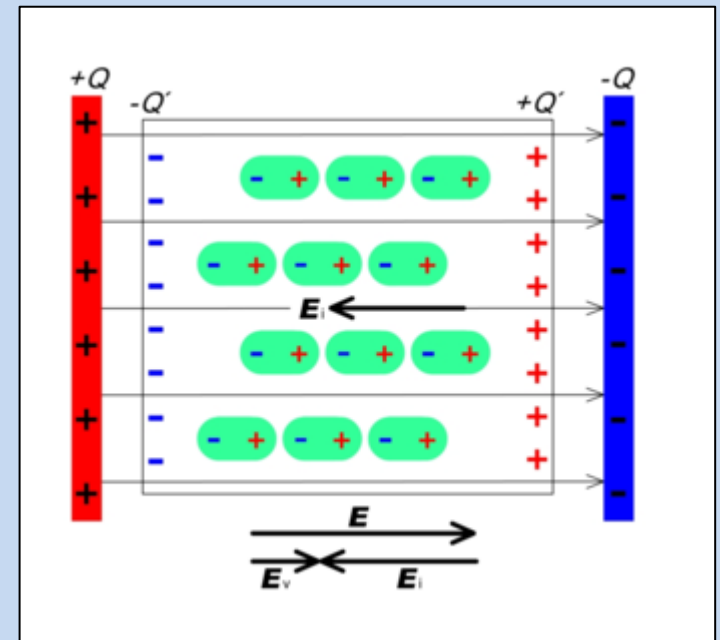
2. orientační polarizace dielektrika

- molekuly mnohých látek (voda, ...) mají vlastnosti dipólu, i když se nenacházejí v elektrostatickém poli.
- Dipóly jsou neuspořádané a navenek se neprojevují.
- V elst. poli se usměrní (srovnají) podle směru siločar.



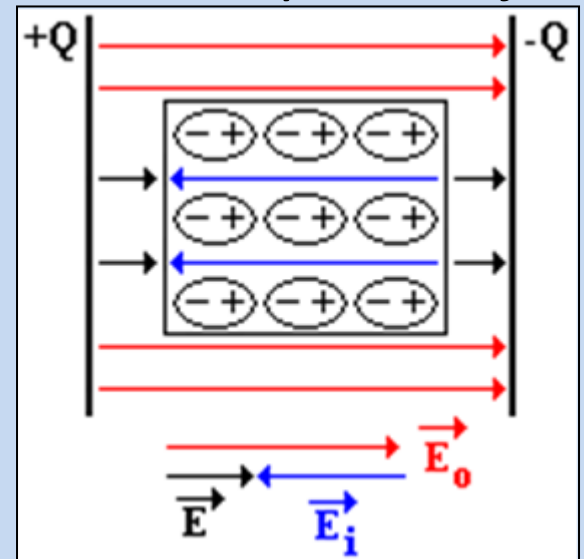
2. orientační polarizace dielektrika

- Na povrchu dielektrika jsou **indukované vázané náboje**, které nelze odvést
 - v místě, kde do dielektrika vstupují siločáry, je náboj $-$
 - v místě, kde siločáry z dielektrika vychází, je náboj $+$
 - uvnitř dielektrika jsou náboje, které se navenek neprojevují.



2. orientační polarizace dielektrika

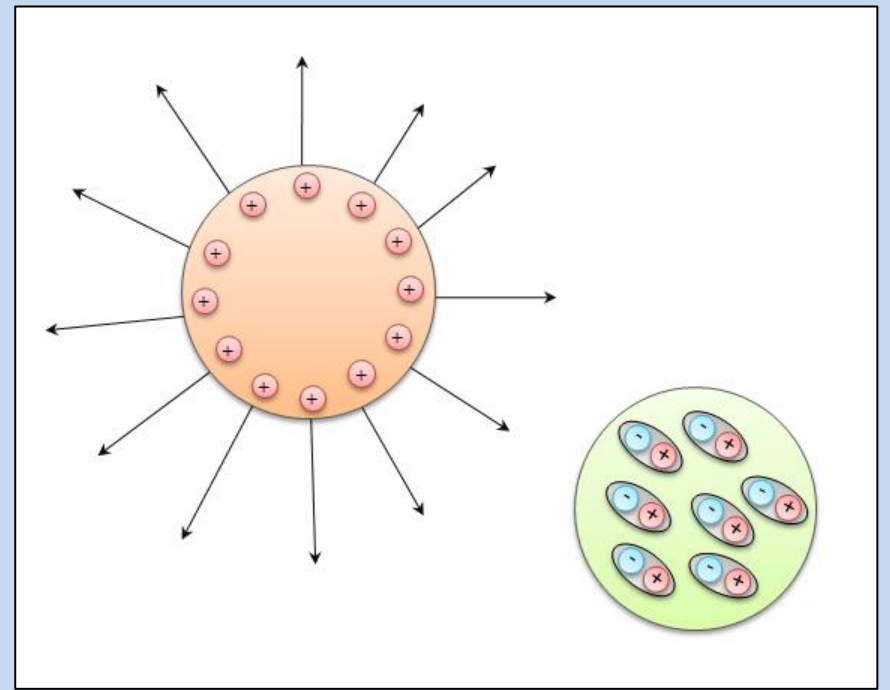
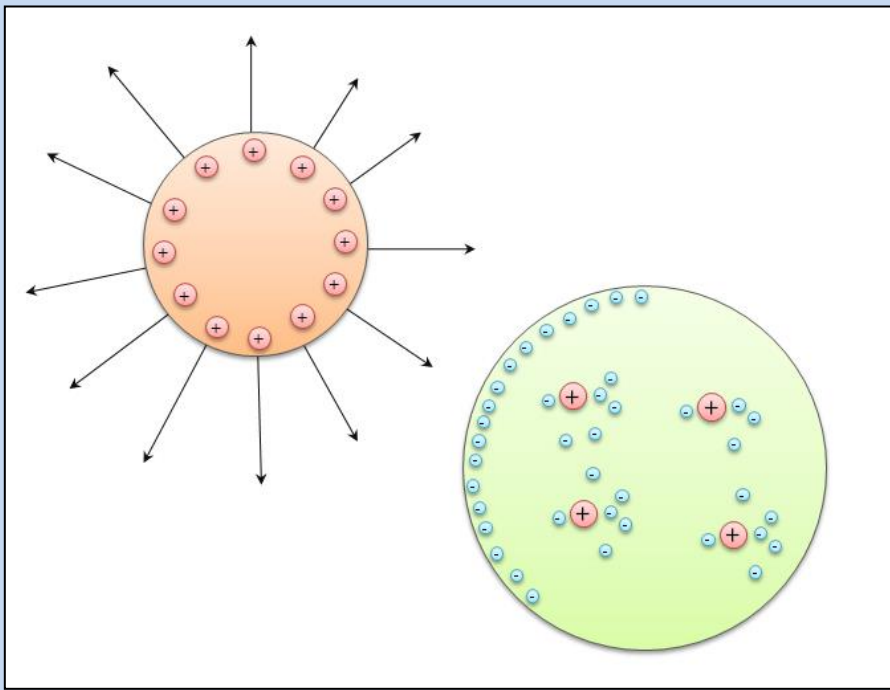
- V dielektriku nedochází k pohybu (k přemístění) nábojů.
- Přemísťovat se mohou jen volné náboje, které v dielektriku nejsou!
- E_0 – intenzita el. pole, které vyvolalo polarizaci
- E_i – intenzita vnitřního el. pole vyvolaného indukovaným nábojem (míří proti E_0)
- E – výsledná intenzita $E = E_0 - E_i$,
- (stejný směr jako E_0)
- vždy je $E_0 \geq E$



Relativní permitivita dielektrika

$$\epsilon_r = \frac{E_0}{E}$$

- vždy $\epsilon_r \geq 1$
- $\epsilon_r = 1$ pro vakuum a přibližně pro vzduch.
- ϵ_r udává, kolikrát se zeslabí intenzita v dielektriku oproti vakuu



1.8. KAPACITA VODIČE, KONDENZÁTOR

Hledáme vztah mezi nábojem izolovaného vodiče a jeho potenciálem.

Připojíme-li osamocený vodič ke svorce zdroje, získá vodič stejný potenciál jaký má svorka.

Náboj na vodiči je přímo úměrný jeho potenciálu $Q \approx \phi$.

kapacita vodiče (konstanta úměrnosti) vyjadřuje schopnost vodiče pojmout při dané hodnotě ϕ určitý náboj Q .

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

- závisí na tvaru a velikosti vodiče
- $[C] = C \cdot V^{-1} = F$ (farad) – používají se jednotky dílčí (pF až mF)
- Vodič má kapacitu 1F, jestliže se nábojem 1C nabije na elektrický potenciál 1V.

Potenciál osamoceného kulového vodiče o poloměru R na jeho povrchu \rightarrow

$$\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Q}{R}$$

Kapacita kulového vodiče

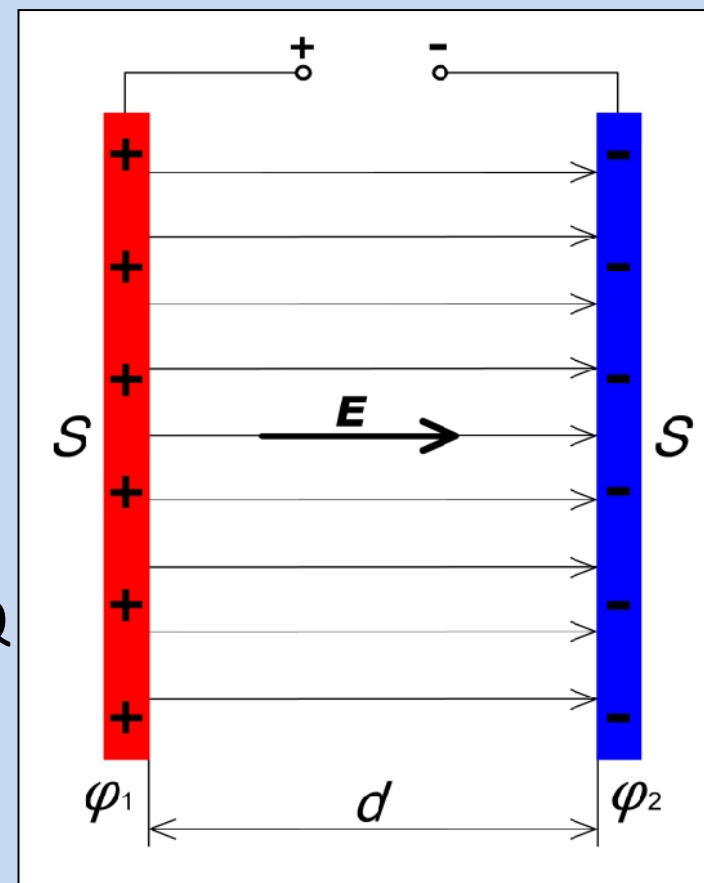
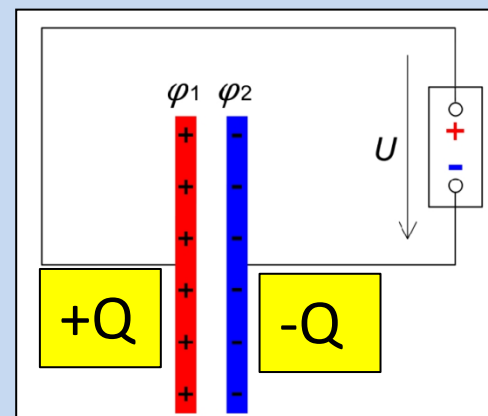
$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r R$$

Kapacita osamocené vodiče je malá,
větší kapacitu má **kondenzátor**
– **dvě izolovaná vodivá tělesa.**

deskový kondenzátor

dvě vodivé navzájem izolované
rovnoběžné desky

- S – obsah účinných ploch
- d – vzdálenost desek
- připojíme-li kondenzátor ke svorkám zdroje, vznikne na desce s vyšším potenciálem náboj $+Q$, na druhé náboj $-Q$
- mezi deskami vznikne homogenní elst. pole s intenzitou E
(vně kondenzátoru se elektrostatické pole obou desek vzájemně ruší)



Elektrická intenzita mezi deskami kondenzátoru

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{U}{d}$$
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{Q}{\varepsilon \cdot S}$$

$$\frac{Q}{\varepsilon \cdot S} = \frac{U}{d}$$
$$\frac{Q}{U} = \frac{\varepsilon \cdot S}{d}$$

Kapacita deskového kondenzátoru (ve vakuu)

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

- **deskový kondenzátor s dielektrikem** má větší kapacitu než stejný bez dielektrika. (musíme na desky přivést větší náboj, aby E byla stejná)
- **relativní permitivita** udává, kolikrát se zvětší kapacita kondenzátoru vložením dielektrika

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} = \frac{Q}{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d} = \varepsilon_r C_0$$

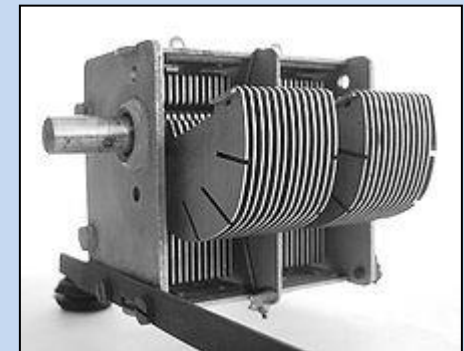
$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0}$$

1.9. KONDENZÁTORY V PRAXI

Podle druhu dielektrika rozlišujeme kondenzátory

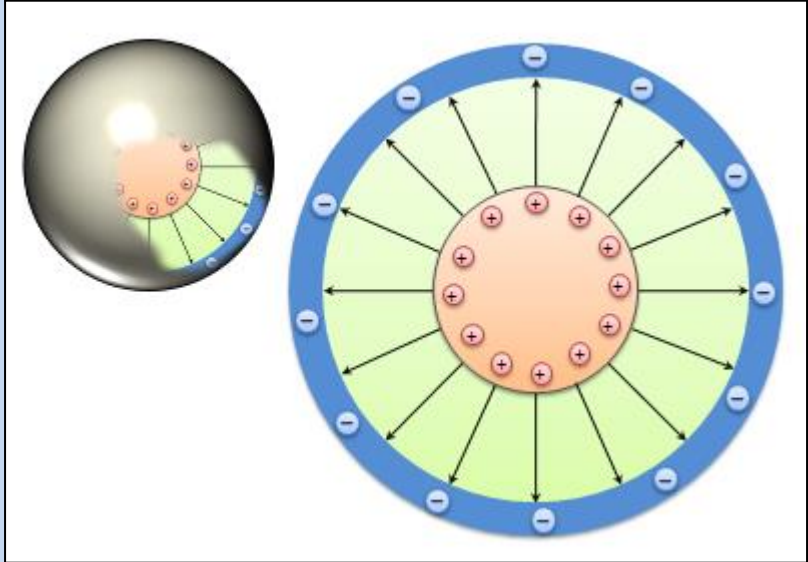
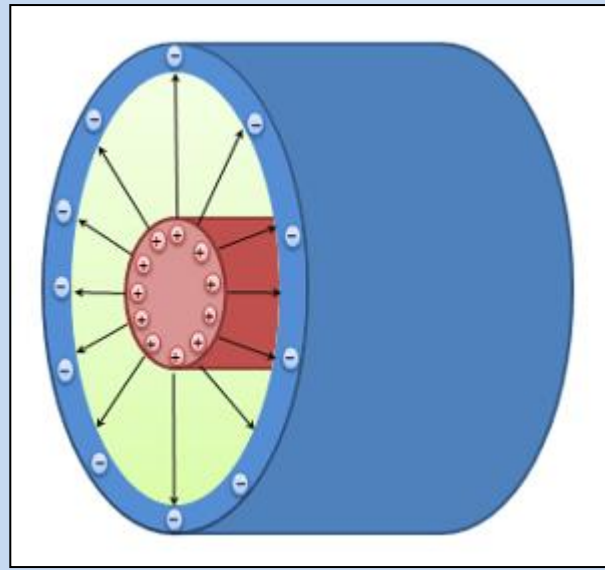
- s papírovým dielektrikem,
- s plastickou fólií,
- skleněné,
- slídové,
- keramické
- **elektrolytické** – jsou tvořeny dvěma hliníkovými (tantalovými) fóliemi, mezi nimiž je vrstva papíru napuštěná elektrolytem. Na jedné fólii se elektrochemicky vytvoří tenká vrstva oxidu, která slouží jako dielektrikum.

- Většina kondenzátorů má neměnnou kapacitu.
- V radiotechnice se používají kondenzátory, jejichž kapacitu lze měnit.
Jsou zhotoveny tak, že lze měnit účinnou plochu desek (např. otočný)



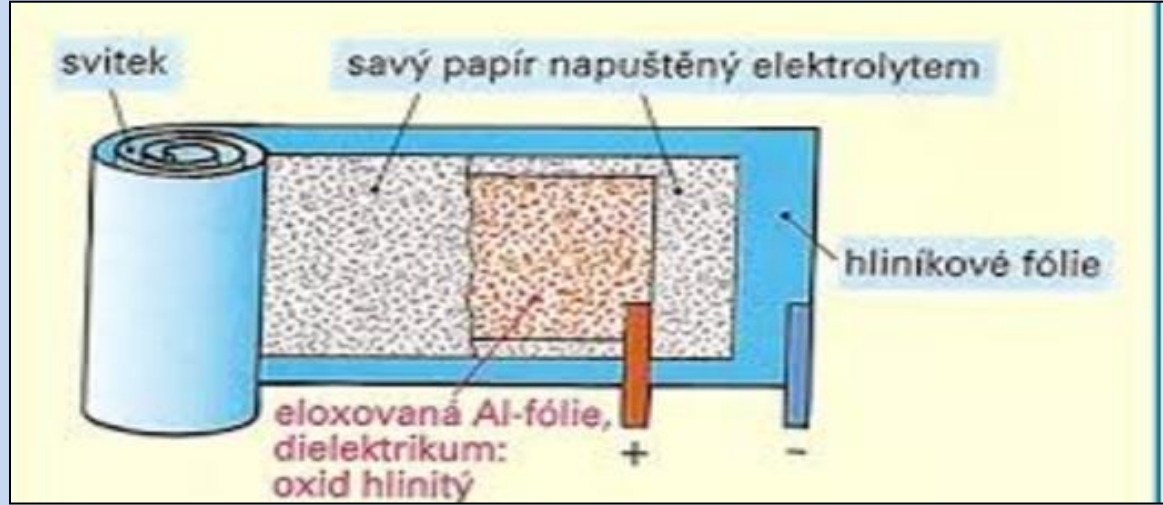
Podle tvaru rozlišujeme kondenzátory

- deskové
- kulové
- válcové



vytváří nehomogenní elektrostatické pole.

- svitkové
(svinutý dlouhý
vodivý pás
oddělený
dielektrikem)



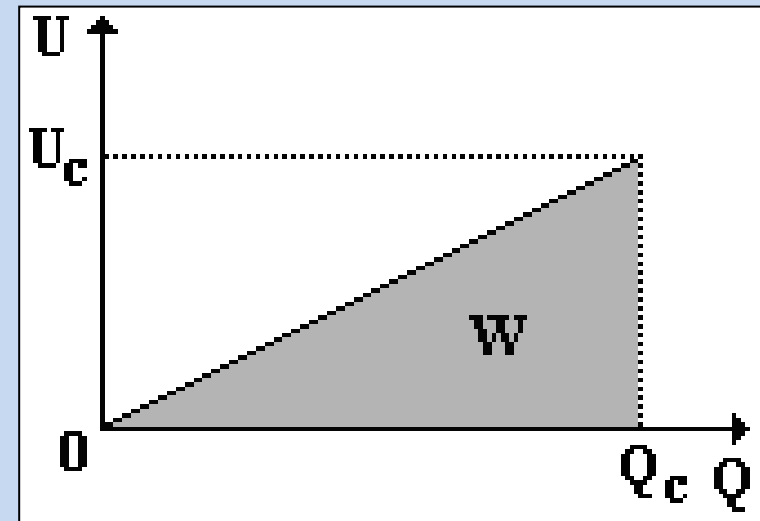
ENERGIE KONDENZÁTORU

Při nabíjení a vybíjení kondenzátoru dochází k pohybu náboje v elektrickém poli, při němž elektrostatické síly konají práci.

- při nabíjení kondenzátor získává energii
- při vybíjení ji ztrácí.

Kondenzátor s kapacitou C , který lze nabít na maximální napětí U_c nábojem Q_c .

- Napětí na deskách kondenzátoru je přímo úměrné náboji na jeho deskách.
- **Graf závislosti napětí na deskách kondenzátoru na náboji na jeho deskách je lineární funkce.**



ENERGIE KONDENZÁTORU

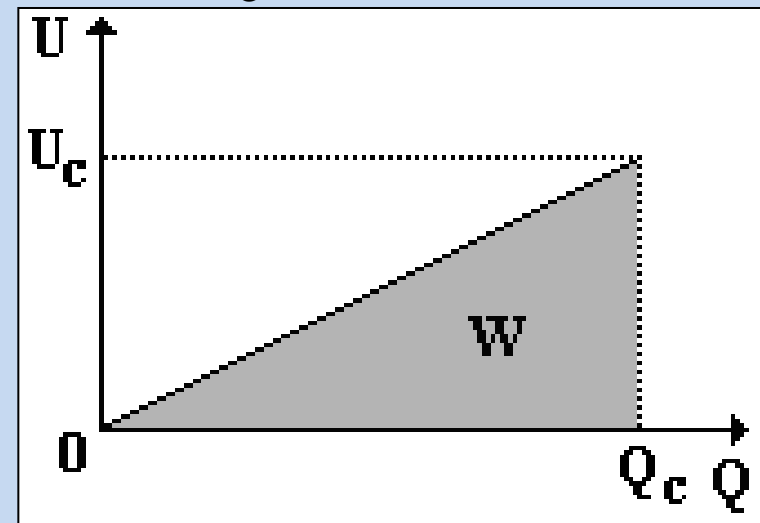
- Obsah plochy pod grafem této závislosti je číselně roven práci, kterou vykonaly elektrostatické síly při nabíjení (resp. vybíjení) kondenzátoru.
- Pokud nenabijeme kondenzátor na maximální napětí U_c , ale na napětí U , bude na deskách kondenzátoru náboj Q .
- Práce bude rovna energii kondenzátoru, tj. $W = E_c$.

$$W = \frac{1}{2} Q_c U_c$$

$$W = \frac{1}{2} C U_c^2$$

$$W = \frac{1}{2} \frac{Q_c^2}{C}$$

Energie dodaná prací elektrostatických sil se spotřebovala k polarizaci dielektrika, kterým je kondenzátor vyplněn. Energie zůstane v polarizovaném dielektriku ve formě energie elst. pole.



Nabitý kondenzátor je tak zdrojem elektrické energie.

1.10. SPOJOVÁNÍ KONDENZÁTORŮ

- vytvoříme soustavu se dvěma svorkami, která se chová jako jediný kondenzátor.

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

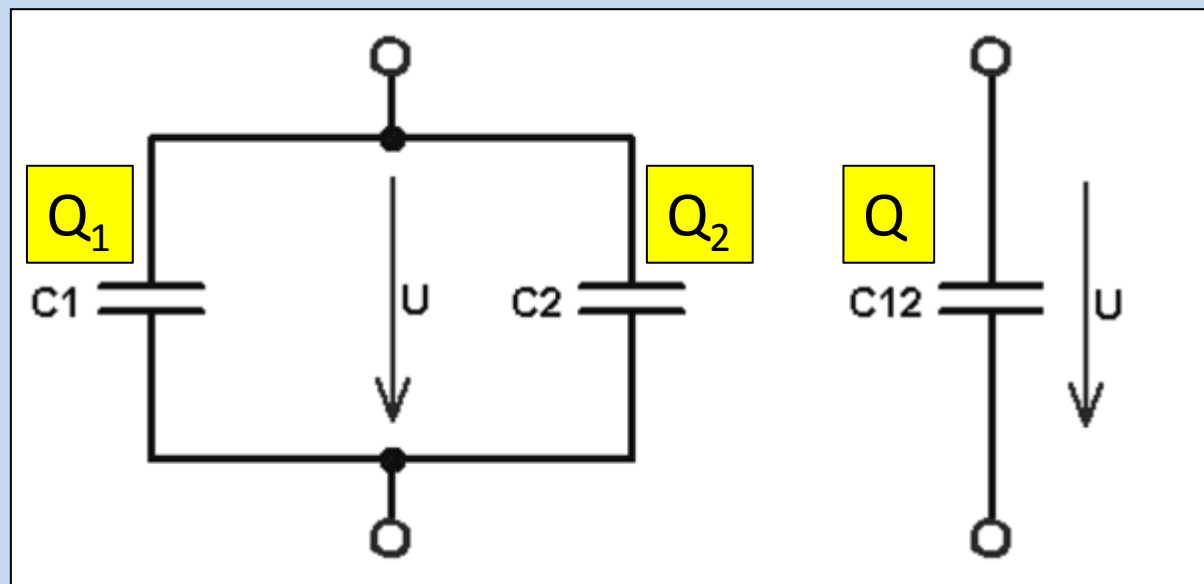
Paralelní zapojení

- oba kondenzátory se nabijí na napětí zdroje U
- vytváří se kondenzátor s větší účinnou plochou
- na vodivé desky přivedeme celkový náboj

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$UC = UC_1 + UC_2$$

$$C = C_1 + C_2$$



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

Sériové zapojení

- se vyznačuje vznikem nábojů $+Q$ a $-Q$ na deskách spojených se svorkami zdroje
- na zbývajících, vzájemně spojených deskách se **elektrostatickou indukcí** vytvoří náboje stejně velké, ale opačného znaménka
- napětí se rozdělí na oba kondenzátory tak, aby platilo

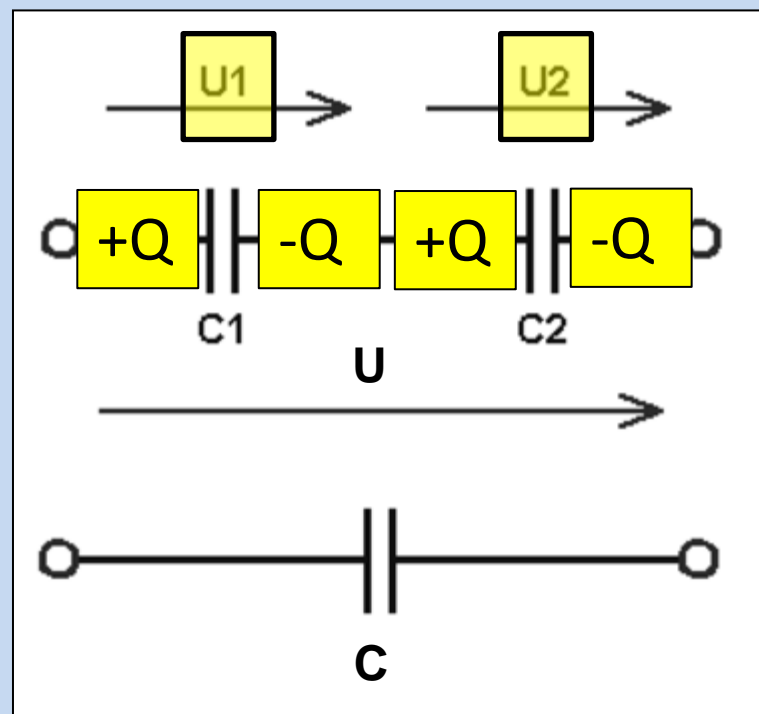
$$U = U_1 + U_2$$

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

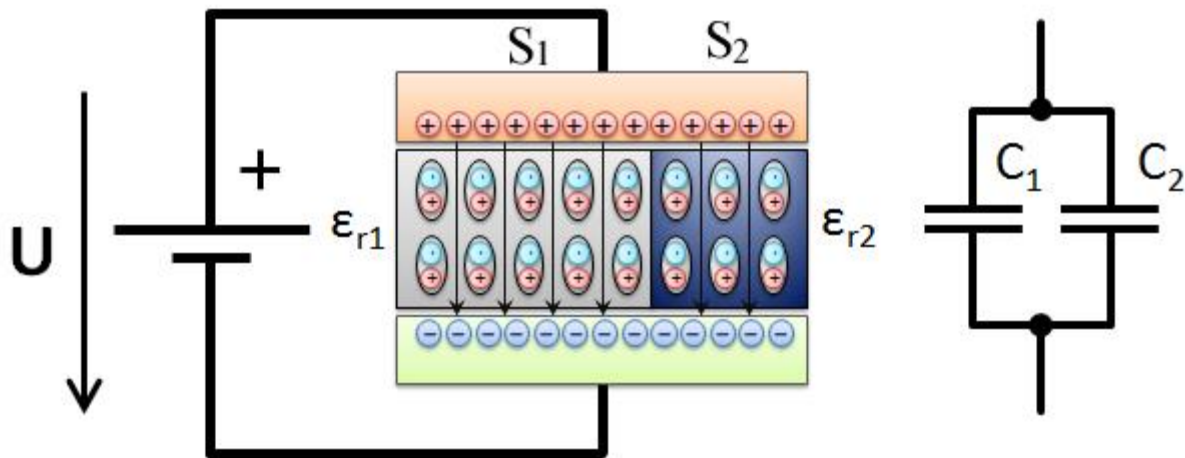
$$\frac{Q}{C} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

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

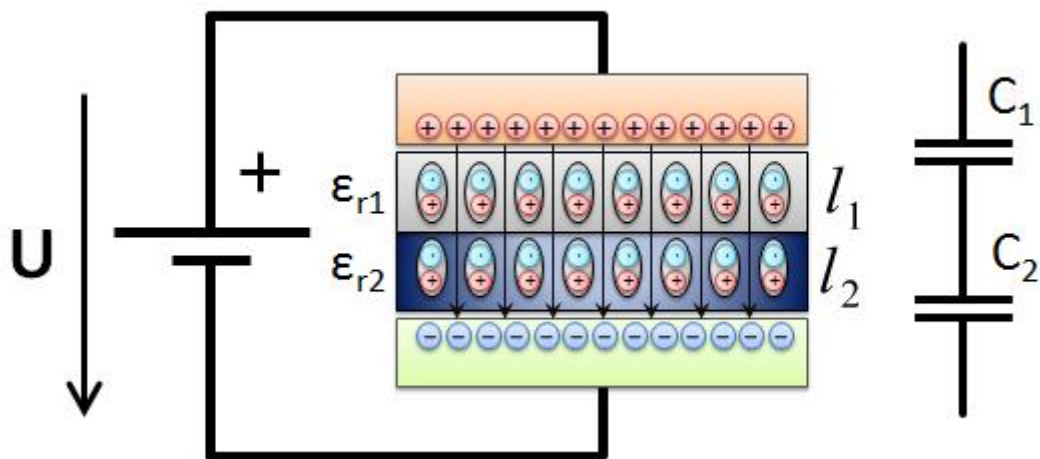
$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$



Pokud jsou mezi deskami kondenzátoru dvě **dielektrika**



vedle sebe,
budou se chovat jako
dva **kondenzátory**
spojené **paralelně**.



za sebou,
budou se chovat jako
dva **kondenzátory**
spojené **sériově**.

OTÁZKY 1:

1. Co je to siločára? Jaké jsou vlastnosti siločar?
2. Nakreslete siločáry
 - a. kolem kladně nabitého bodového náboje.
 - b. kolem záporně nabitého bodového náboje.
 - c. mezi dvěma izolovanými kovovými deskami s opačným nábojem.
 - d. kolem dvou opačně nabitých bodových nábojů.
- Pojmenujte tato elektrická pole? Co víte o velikosti a směru intenzity těchto polí?
3. Napište dva vztahy pro výpočet intenzity el. pole a určete z nich obě možné jednotky intenzity.
4. Napište vztah pro výpočet napětí mezi dvěma body A a B elektrického pole (i slovně). Jakou má jednotku?
5. Napište vztah pro výpočet potenciálu v daném bodě elektrického pole (i slovně). Jakou má jednotku?
6. Práce vykonaná elektrickou silou při přenesení bodového náboje mezi místy A a B nezáleží na, ale na
7. Práce vykonaná elektrickou silou při přenesení bodového náboje mezi místy A a B je přímo úměrná

OTÁZKY 2:

8. Potenciální energie bodového náboje se zmenšuje při pohybu
.....
9. Potenciální energie bodového náboje se zvětšuje při pohybu
10. Potenciální energie těles vodivě spojených se zemí je
11. Co je to ekvipotenciální plocha?
12. Ekvipotenciální plochy v radiálním poli tvoří Nakreslete.
13. Ekvipotenciální plochy v homogenním poli tvoří Nakreslete.
14. Náboj přivedený na těleso se rozloží
15. V dutinách je plošná hustota náboje
16. Na hranách je plošná hustota náboje
17. Napište vztah pro výpočet intenzity el. pole ve vzdálenosti r od středu koule s nábojem Q .
18. Intenzita uvnitř koule je
19. Napište vztah pro výpočet potenciálu ve vzdálenosti r od středu koule s nábojem Q .
20. Potenciál uvnitř koule je
21. Co je to elektrický vítr? Jak vzniká?
22. Popište „sršení elektřiny“.

OTÁZKY 3:

23. Nakreslete graf závislosti intenzity a potenciálu na vzdálenosti r od středu koule o poloměru $R > r$.
24. Vzdálenost daného bodu od kladného bodového náboje Q se zvětšila 8x. Velikost intenzity elektrického pole sekrát. Elektrický potenciál sekrát.
25. Vysvětlete atomovou polarizaci dielektrika. I s nákresem.
26. Vysvětlete orientační polarizaci dielektrika. I s nákresem.
27. Náboj indukovaný ve vodiči oddělit. Proč?
28. Náboj indukovaný na povrchu dielektrika odvést. Proč?
29. Elektrostatická indukce je
30. V místech, kde siločáry vstupují do dielektrika, vzniká
31. V místech, kde siločáry vystupují z dielektrika, vzniká
32. Porovnejte směr intenzity vnějšího pole, které vyvolalo polarizaci se směrem výsledné intenzity.
33. Porovnejte směr intenzity vnitřního pole vyvolaného indukovaným nábojem se směrem výsledné intenzity.
34. Co vyjadřuje relativní permitivita vzhledem k intenzitě elektrického pole?
35. Jak se máte?

OTÁZKY 4:

36. Vysvětlete pojem kapacita vodiče, zaveďte jeho jednotku.
Kdy má vodič kapacitu jedné této jednotky?
37. Popište deskový kondenzátor. Jakou má jednotku kapacita kondenzátoru?
Kdy má kondenzátor kapacitu jedné této jednotky?
38. Co je to dielektrikum? Napište vztah pro výpočet kapacity deskového kondenzátoru s dielektrikem. Jakou má jednotku? Vysvětlete jednotlivé veličiny. Co vyjadřuje ϵ_r ?
39. Velikost kapacity osamoceného vodiče je (velká nebo malá?)
40. Velikost kapacity deskového kondenzátoru je přímo úměrná.....
41. Velikost kapacity deskového kondenzátoru je nepřímo úměrná.....
42. Deskový kondenzátor s dielektrikem má kapacitu než bez dielektrika.
43. Vložením dielektrika do deskového kondenzátoru se jeho kapacita
44. Relativní permitivita udává, kolikrát se
45. Kapacitu kondenzátoru můžeme měnit například.....
46. Při nabíjení kondenzátoru elektrické pole.
47. Při vybíjení kondenzátoru elektrické pole.
48. Elektrické pole nabitého kondenzátoru má energii

Sb. 44 – Deskový kondenzátor o kapacitě $1\mu\text{F}$ je nabitý na napětí 100 V . Jaký je jeho náboj na deskách?

Na jedné desce $+100\ \mu\text{C}$, na druhé desce $-100\ \mu\text{C}$.

Sb. 46 – Deskový kondenzátor bez dielektrika o kapacitě C_0 odpojíme od zdroje napětí U_0 a ponoříme do oleje s $\epsilon_r = 3$.

Určete, jak se změní a) kapacita C , b) napětí mezi deskami U , c) velikost intenzity el. pole E

Neodpojíme-li od zdroje:

a) $C \uparrow \epsilon_r$ krát

b) $U = U$ zdroje – zůstane konstantní, (zvětšil by se náboj Q)

c) E by zůstalo konstantní (U a d se nemění)

Sb. 47 – Mezi deskami kondenzátoru, které jsou od sebe vzdáleny 1 cm je napětí 100 V . Jaké bude napětí mezi deskami, jestliže je vzdálíme na 2 cm ? (Není připojen ke zdroji).

Sb. 48 – Kondenzátor, jehož každá deska má obsah plochy 10^{-3} m^2 , je nabit nábojem 10^{-8} C . Určete velikost intenzity mezi deskami. ($\epsilon_r = 10$).

ENERGIE KONDENZÁTORU

Sb. 48 – Jaká energie se uvolní při vybití kondenzátoru nabitého na napětí 2 kV? Obsah plochy každé z desek je $0,2 \text{ m}^2$, vzdálenost mezi deskami 2 mm. ($\epsilon_r = 10$).