



Elektrostatika 3 – FYZ2

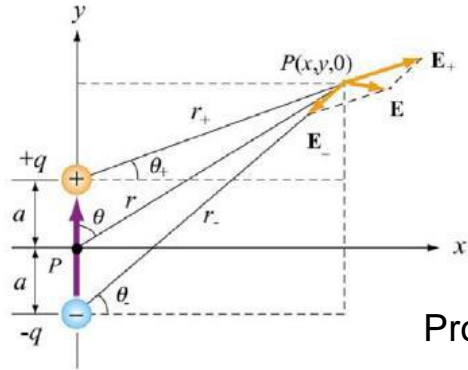
2023 FS

Ing. Štěpán Kunc, Ph.D.

stepan.kunc@tul.cz

Elektrický dipól

Tvořený dvěma stejnými náboji opačného znaménka
 Elektrický dipól tvoří např. některé molekuly
 Elektrické dipóly jsou antény pro vysílání elektromagnetických vln

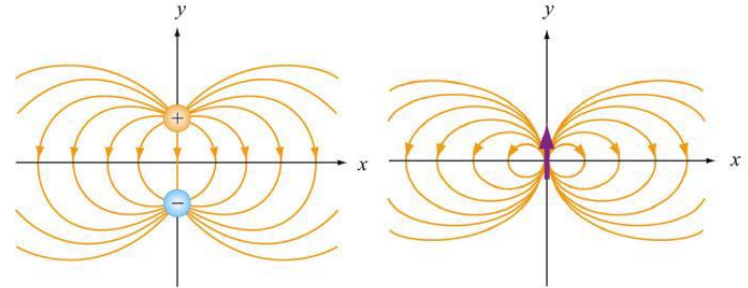
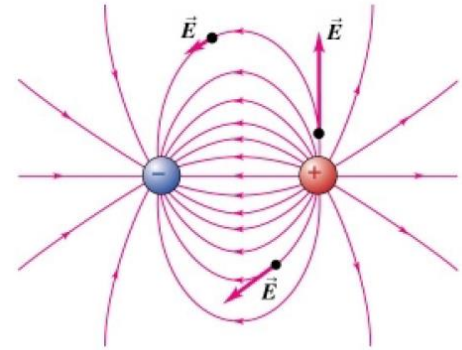


Dipólový moment $\vec{p} = q\vec{l}$

Pro $r \gg a \gg l$

$$\varphi = \frac{ql \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{p} \cdot \vec{r}}{r^3}$$

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{3(\vec{p} \cdot \vec{r})\vec{r}}{r^5} - \frac{\vec{p}}{r^3} \right)$$



Elektrický dipól – silové působení

Silové působení pole na elektrický dipól v homogenním poli

$$\text{Dipólový moment} \quad \vec{p} = q\vec{l}$$

$$\vec{M} = \vec{r}_+ \times \vec{F}_+ + \vec{r}_- \times \vec{F}_- = \vec{r}_+ \times q\vec{E} - \vec{r}_- \times q\vec{E} = q2\vec{r} \times \vec{E}$$

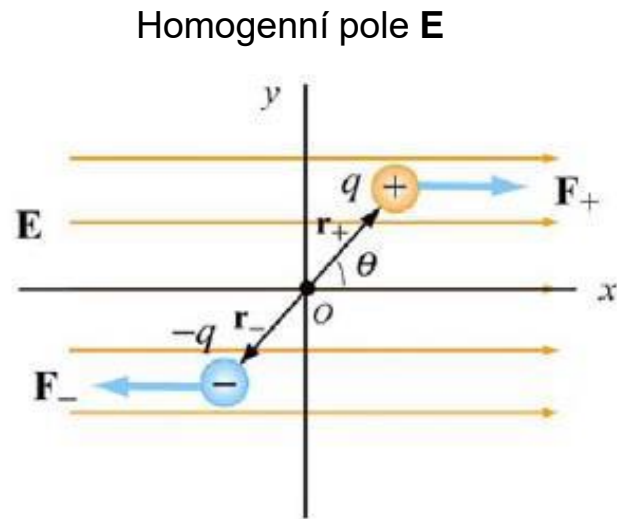
$$\text{Moment síly} \quad \vec{M} = \vec{l} \times q\vec{E} = \vec{p} \times \vec{E} \quad \text{Homogenní pole } \mathbf{E}$$

Dipól se stáčí do směru elektrického pole

V nehomogenním poli vzniká ještě posuvná síly

$$\vec{F}_p = q\Delta\vec{E} = (\vec{p} \cdot \nabla)\vec{E}$$

Dipól se stáčí do směru působícího pole
a v nehomogenním poli se posouvá



Elektrický dipól – silové působení

Příklad mikrovlnná trouba

Vodič – Dielektrikum – Polovodič - Izolant

Elektrický vodič

Volné elektrony ve vodiči se za normálního stavu pohybují
Chaotickým tepelným pohybem

Vodič se jeví jako elektricky neutrální

Pod vlivem vnějšího elektrického pole se volné náboje elektrony mohou volně přemísťovat

Dielektrikum

Látka která neobsahuje volné elektrony

Látka se jeví jako prakticky Nevodivá (izolant)

Elektricky nabitě částice se nemohou pohybovat na velké vzdálenosti (pouze posunout, stočit)

Pod vlivem vnějšího el. pole se vytvoří dipóly

Polovodič

Krystalické látky s nebo bez určité příměsové látky, která zvyšuje vodivost

Za nízkých teplot podobné izolantu

Náboje se přemísťují pomocí děrové resp. Elektronové vodivosti.

Izolant

Látka která nevede el proud

Neobsahuje volné náboje, nebo jen velmi málo

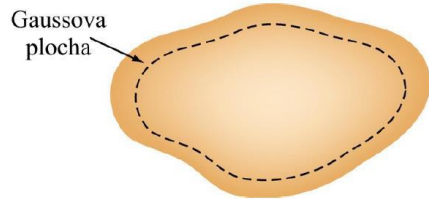
Rozdíl mezi izolantem a dielektrikem: Často se zaměňují pojmy izolant a [dielektrikum](#). Dielektrikum je materiál, který má schopnost [polarizace](#). Každý izolant je dielektrikem, ne každé dielektrikum je izolantem. Izolant je také dielektrikum, které je upravené pro účel průmyslové aplikace s cílem zamezit průchodu proudem. Vzhledem k [atomové](#) struktuře všech běžných látek a díky polarizovatelnosti atomu je (s výjimkou [vakua](#)) tento rozdíl spíše teoretický.

Elektrické pole ve vodiči - vodič v el. poli

Vnější elektrické pole způsobí pohyb volných nábojů dokud nenastane rovnovážný stav (intenzita vnějšího pole je uvnitř vodiče kompenzována rozložením volných nábojů na povrchu vodiče)

Elektrické pole uvnitř vodiče:

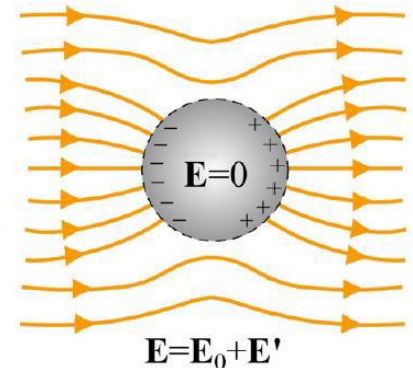
$$\vec{E} = \vec{E}_{in} + \vec{E}_{ext} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \varphi = konst.$$



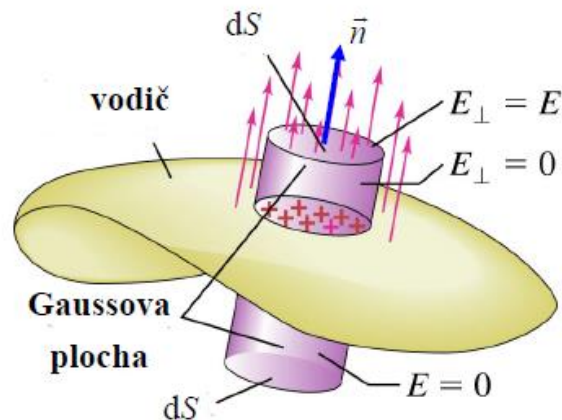
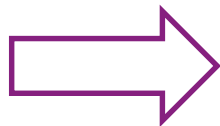
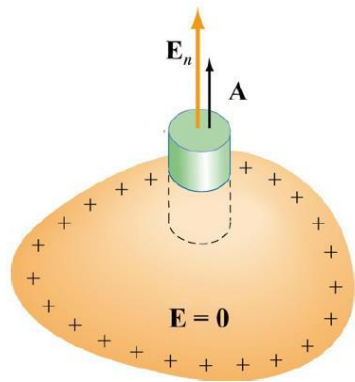
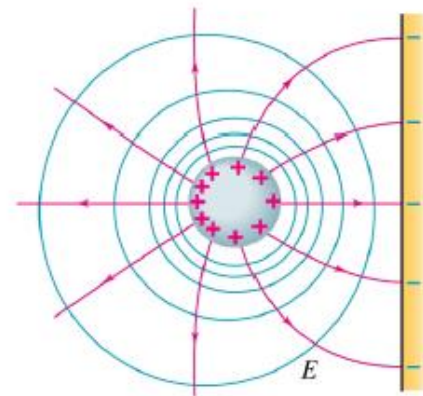
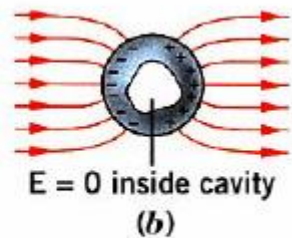
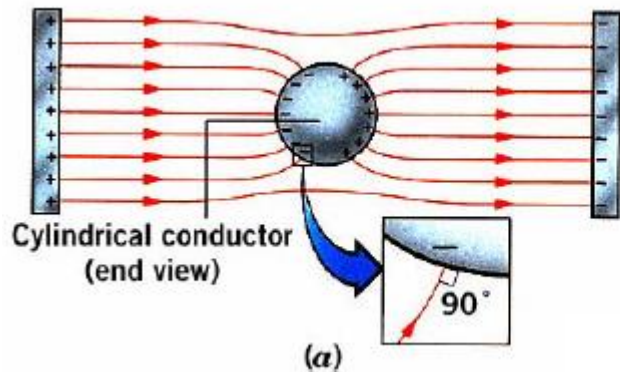
$$\oiint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{\sum Q_{in}}{\epsilon_0} = 0$$

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dQ}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\sigma dS}{r} \quad \sigma = \frac{dQ}{dS}$$

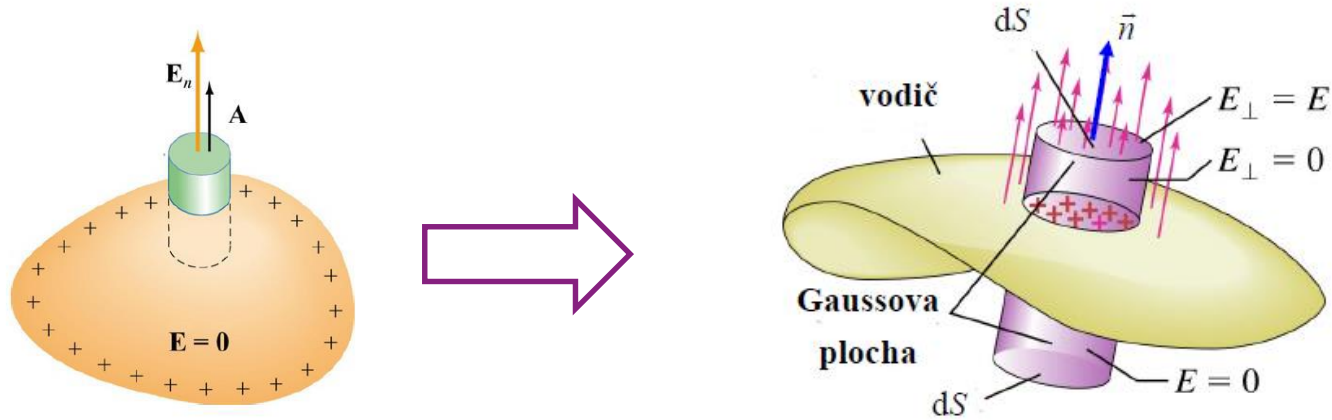
Volný náboj, jímž je vodič nabit, je rozložen na vnějším povrchu vodiče
Povrch vodiče je v elektrostatickém poli ekvipotenciální plochou
Směr intenzity vnějšího elektrického pole, které nabitý vodič budí je kolmý povrchu vodiče



Elektrické pole ve vodiči - vodič v el. poli

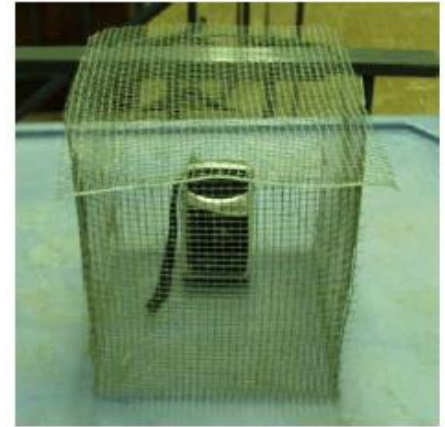


Elektrické pole ve vodiči - vodič v el. poli



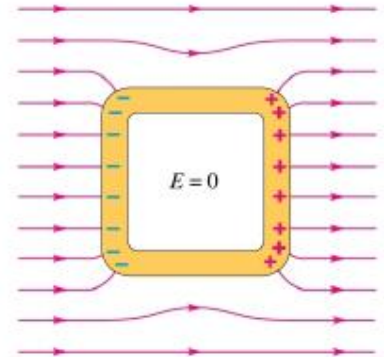
Příklad - výpočet intenzity na povrchu vodiče nabitého nábojem, který je na povrch vodiče rozprostřen S plošnou hustotou

Odstínění vnějšího Elmag. Pole. – Faradayova klec

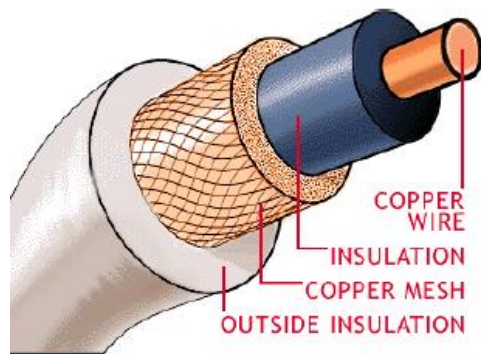
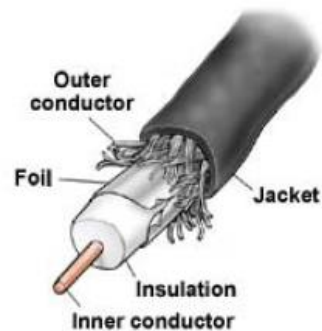


Video

<https://www.youtube.com/watch?v=Wqvlmbn9GG4>

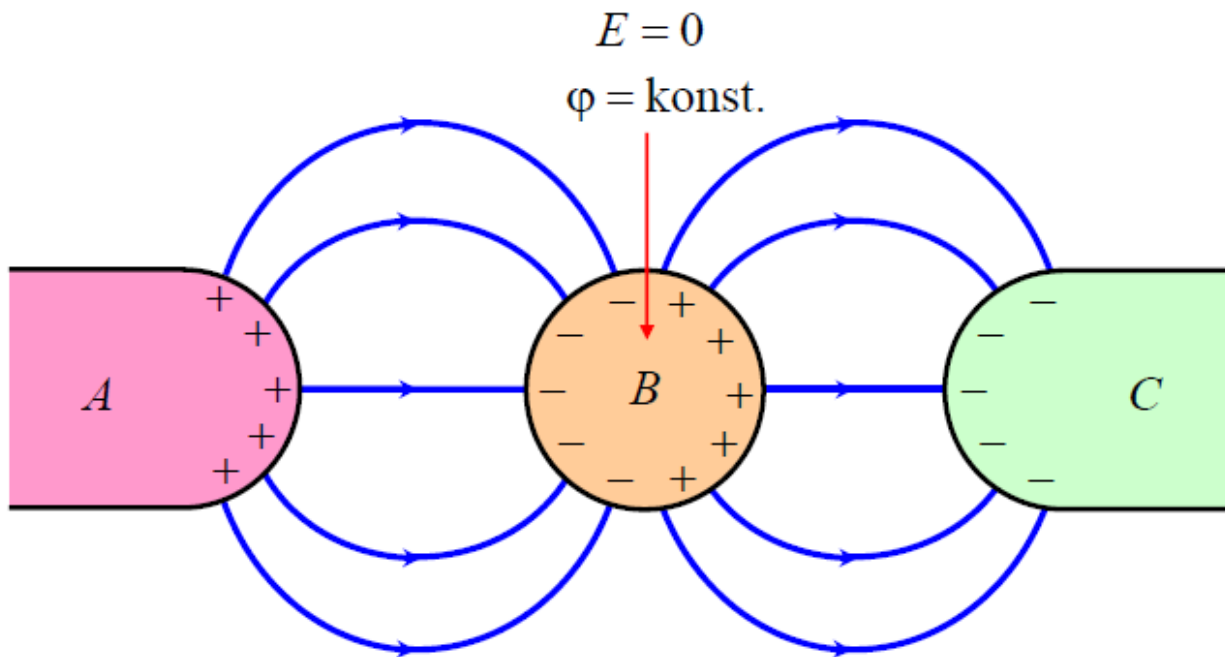


Odstínění vnějšího Elmag. Pole. – koaxiální kabel



Elektrostatická indukce

Při vložení nenabitého (neutrálního) vodiče do elektrostatického pole jiných vodičů se objeví povrchové rozložení náboje



Kapacita

Každý náboj na vodiči vytvoří ekvipotenciální plochu o určitém potenciálu, úměrném náboji na ploše. Konstanta úměrnosti závisí na geometrii vodiče a permitivitě okolí

$$\varphi(\vec{r}) = \iiint \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r} = \iiint \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\rho \cdot dV}{r}$$

Elektrická kapacita vyjadřuje schopnost vodiče vázatelektrický náboj. Čím větší kapacita, tím větší množství náboje může být na vodiči daného potenciálu

Kapacita vodiče závisí na jeho tvaru a je číselně rovna náboji Q, který změní potenciál vodiče o 1V

$$C = \frac{Q}{\varphi} [F]$$

Jednotka je Farad = 1F = 1C/V

Kapacita samotného vodiče je malá, např. země jako vodič

$$C = \frac{Q}{\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R_z}} = 4\pi\epsilon_0 R_z$$

Kapacita

Každý náboj na vodiči vytvoří ekvipotenciální plochu o určitém potenciálu, úměrném náboji na ploše. Konstanta úměrnosti závisí na geometrii vodiče a permitivitě okolí

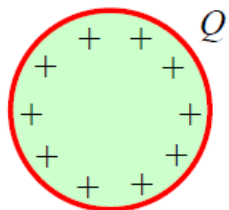
Elektrická kapacita vyjadřuje schopnost vodiče vázatelektrický náboj. Čím větší kapacita, tím větší množství náboje může být na vodiči daného potenciálu

Kapacita vodiče závisí na jeho tvaru a je číselně rovna náboji Q , který změní potenciál vodiče o 1V

$$C = \frac{Q}{\varphi} [F]$$

Jednotka je Farad = 1F = 1C/V

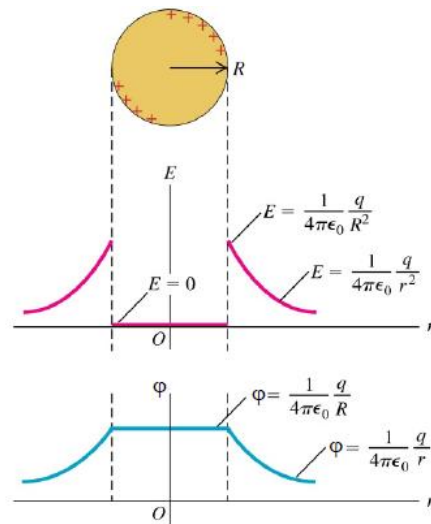
Kapacita samotného vodiče je malá, např. země jako vodič



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



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



Kondenzátor

Soustava dvou opačně nabitých vodičů se stejnou absolutní hodnotou náboje, kdy je elektrické pole soustředěno do prostoru mezi nimi a kdy je vliv jiných elektrických polí zanedbatelný

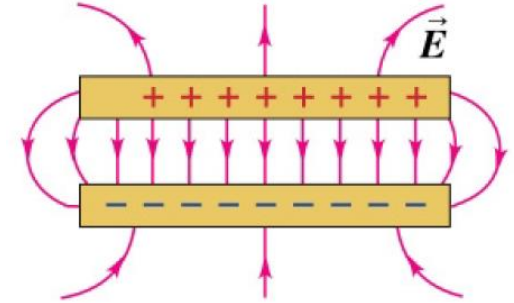
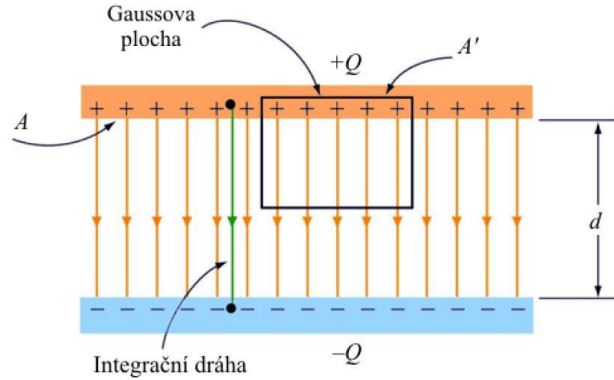
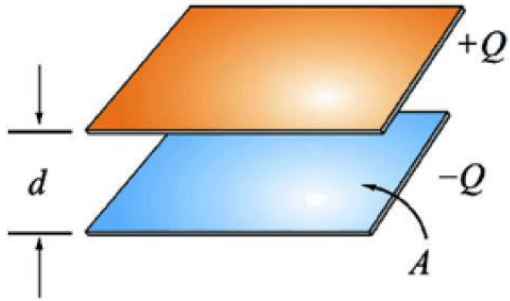
Kondenzátor je zařízení k ukládání elektrického náboje. Kondenzátory mohou mít různý tvar a velikost. Vždy se ale skládají ze dvou vodičů, na nichž je opačný náboj

Kapacita je definována jako množství náboje na deskách kondenzátoru, je-li mezi deskami jednotkové elektrické napětí

$$C = \frac{Q}{U} > 0 \quad U = \varphi_1 - \varphi_2$$



Deskový Kondenzátor

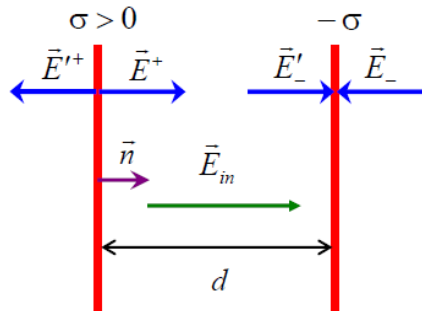


$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad \text{Pole nabité desky}$$



Pole mezi deskami:

$$\vec{E}_m = \vec{E}_+ + \vec{E}'_- = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \vec{n} + \left(-\frac{-\sigma}{2\epsilon_0} \vec{n} \right) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{n}$$



Napětí mezi deskami:

$$U = \int_0^d \vec{E}_m \cdot d\vec{r} = \vec{E}_m d = \frac{\sigma}{\epsilon_0} d = \frac{Q}{\epsilon_0 S} d$$

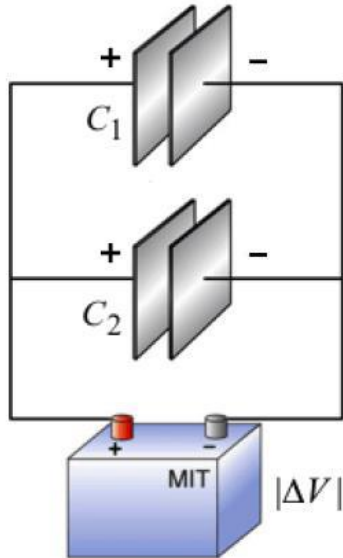
Kapacita kondenzátoru: $C = \frac{Q}{U} = \epsilon_0 \frac{S}{d}$

Spojování kondenzátorů - Paralelní

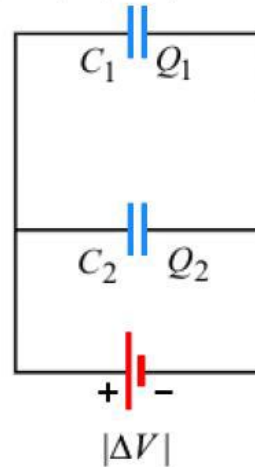
$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad Q_i = C_i U$$



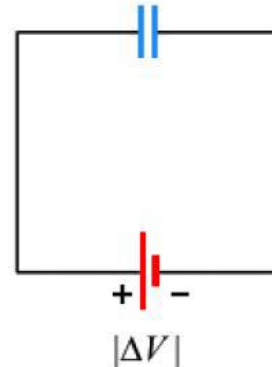
$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q_1}{U_1} + \frac{Q_2}{U_2} = C_1 + C_2$$



$$|\Delta V_1| = |\Delta V_2| = |\Delta V|$$

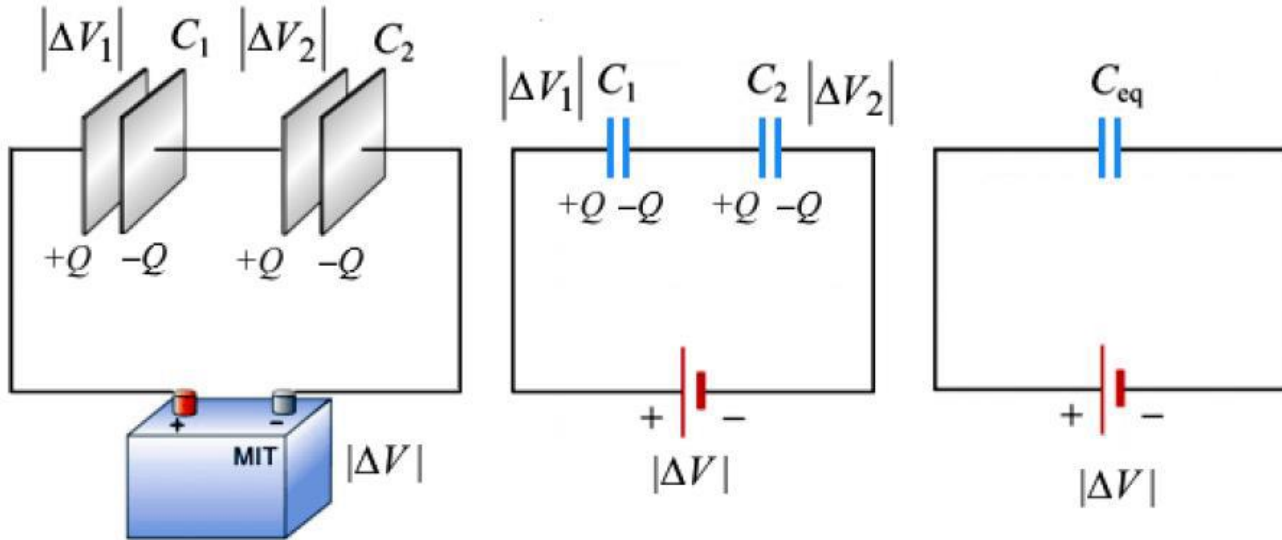


$$C_{\text{eq}} = C_1 + C_2$$



Spojování kondenzátorů - Sériové

$$U = \sum_{i=1}^n U_i \quad U_i = \frac{Q}{C_i} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{C} = \frac{U}{Q} = \frac{U_1}{Q_1} + \frac{U_2}{Q_2} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$



Aplety elmag. polí

<https://www.falstad.com/mathphysics.html>