

Elektrické pole v látkách.

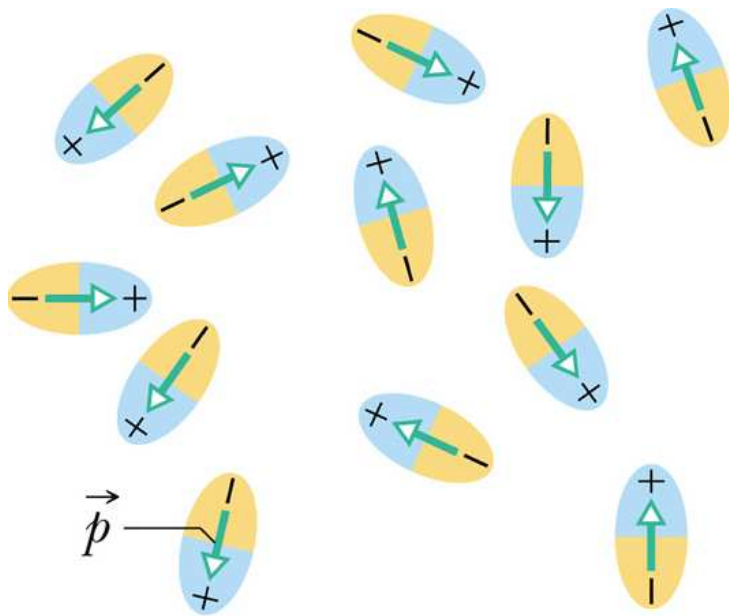


Dielektrika.

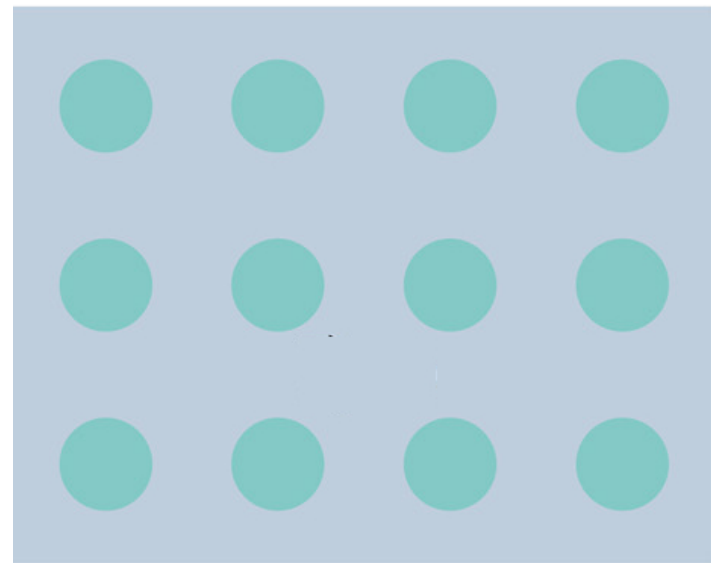
Dielektrika (izolanty) neobsahují volné elektrony a tedy nevedou elektrický proud. Příkladem dielektrik jsou plasty, sklo atd.

Dielektrika polární - molekuly dielektrika nesou permanentní dipolový moment. Vektory elektrických dipolových momentů molekul dielektrika jsou v náhodně orientovány, obrázek (a).

Dielektrika nepolární - molekuly dielektrika jsou elektricky neutrální, obrázek (b).



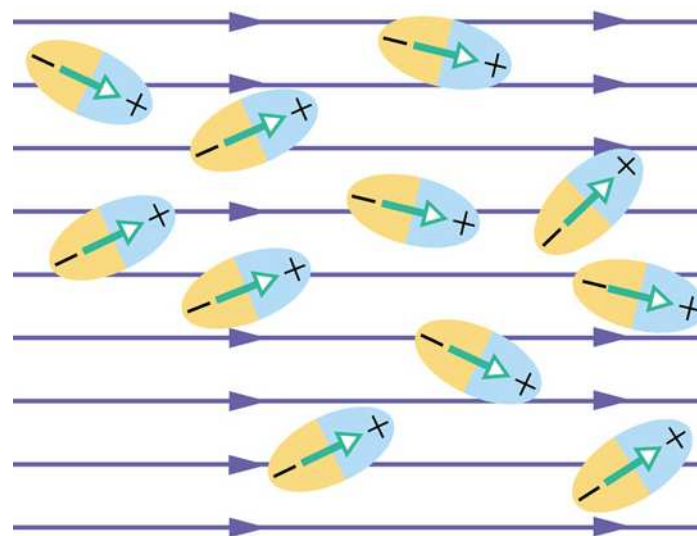
(a)



(b)

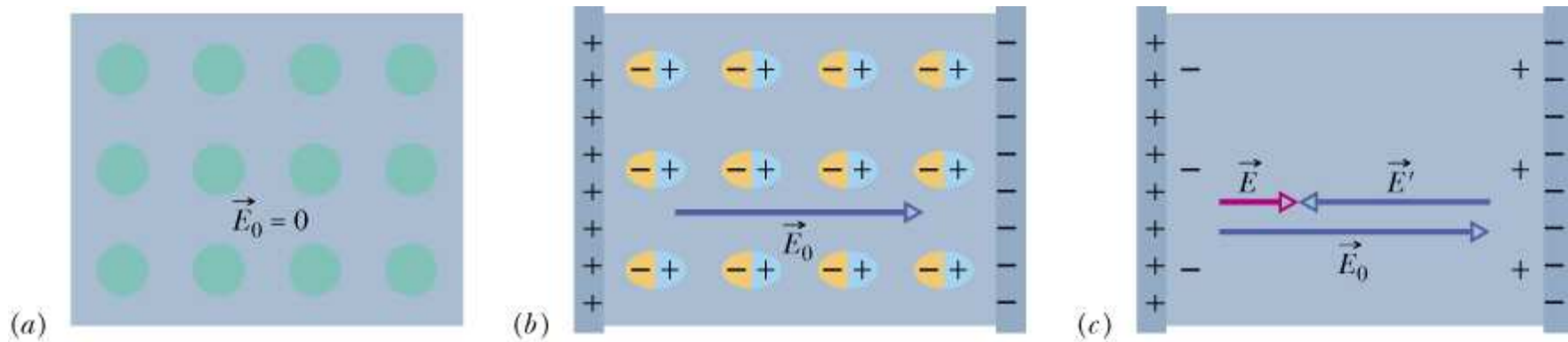
Dielektrika ve vnějším elektrickém poli.

Molekuly polárního dielektrika vložené do vnější elektrické pole intenzity $\mathbf{E}_0$ se zorientují ve směru vektoru intenzity elektrického pole, tak, aby potenciální energie U elektrického dipólu molekul dielektrika ve vnějším poli byla minimální. Orientace dipólu je částečná a to v důsledku tepelných pohybů a vzájemného působení molekul dielektrika. Zorientované dipólové momenty pak uvnitř dielektrika vytváří elektrické pole $\mathbf{E}$ působící proti vnějšímu elektrickému poli. Výsledná intenzita elektrického pole uvnitř dielektrika je tedy menší než intenzita vnějšího elektrického pole $\mathbf{E}_0$.



$$U = -pE \cos \theta$$

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



Molekuly nepolárních dielektrik nemají žádný vlastní dipólový moment (a). Ve vnějším elektrickém pole intenzity $\mathbf{E}_0$ se v molekulách nepolárního dielektrika vzájemně posunou kladné a záporné náboje a molekuly se zpolarizují, indukuje se tak elektrický dipól. Elektrické pole indukovaných elektrických dipólů míří proti změně, která vyvolala posun kladných a záporných nábojů, tedy proti vnějšímu poli. Pole v dielektriku bude tedy menší než vnější pole.

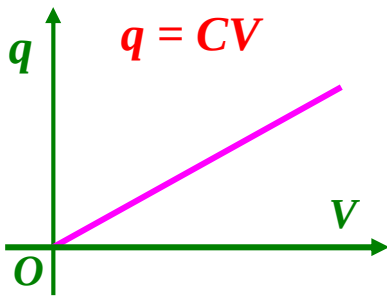
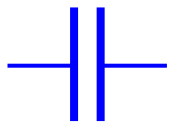
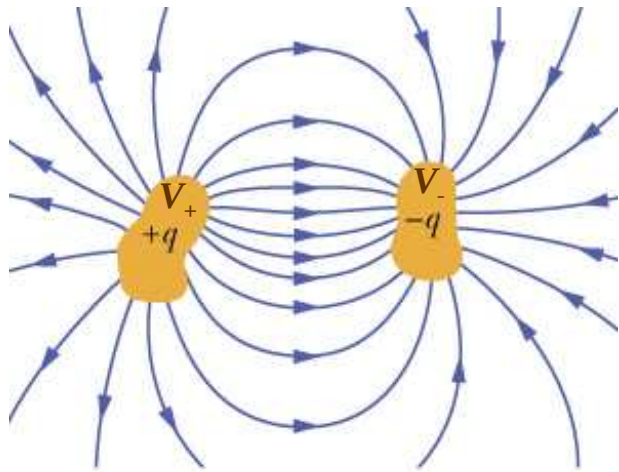
Celkovou (makroskopickou) polarizaci $\mathbf{P}_{\Delta V}$ dielektrika objemu ΔV lze vyjádřit jako součet dipólových momentů všech molekul dielektrika v tomto objemu.

$$\mathbf{P}_{\Delta V} = \sum_{i=1}^{N_{\Delta V}} \mathbf{p}_i$$

Zavedeme-li vektor hustoty elektrické polarizace $\rho_p(\mathbf{r})$, pak celkový elektrický dipólový moment objemu V je dán integrálem přes daný objem.

$$\vec{P}_{dV}(\vec{r}) = \int_V \vec{\rho}_P(\vec{r}) dV$$

Kondenzátor.



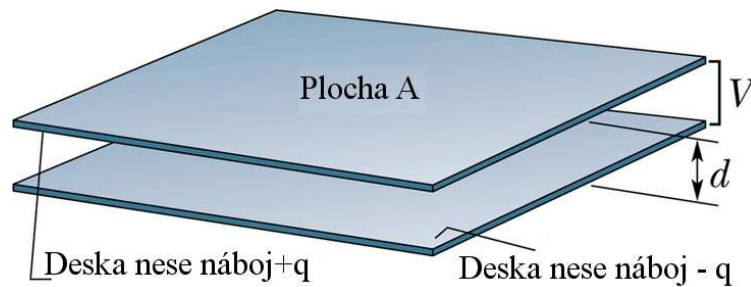
Kondenzátor je soustava dvou vzájemně izolovaných vodičů nesoucích opačné náboje. Vodiče kondenzátoru obvykle nazýváme **desky kondenzátoru**.i když jejich tvar nemusí být nutně rovinný (deskový, válcový kondenzátor atd.). Nabité desky kondenzátoru vytváří v bezprostředním okolí elektrické pole. Potenciály kladně a záporně nabité desky jsou V^+ a V^- . Rozdíl $V = \Delta V = V^+ - V^-$ je potenciálový rozdíl mezi oběma deskami kondenzátoru.

Velikost potenciálového rozdílu (napětí) mezi deskami kondenzátoru je přímo úměrná množství náboje, které desky nesou. Konstantou úměrnosti je **kapacita kondenzátoru C** , která je charakteristikou kondenzátoru a určuje množství náboje, které může kondenzátor v daném geometrickém uspořádání nést, aniž by došlo k elektrickému výboji mezi deskami.

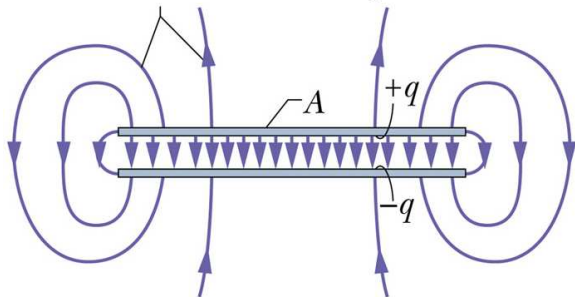
$$q = CV$$

SI jednotkou kapacity 1 Farad, $1 \text{ F} = 1 \text{ CV}^{-1}$.

Deskový kondenzátor



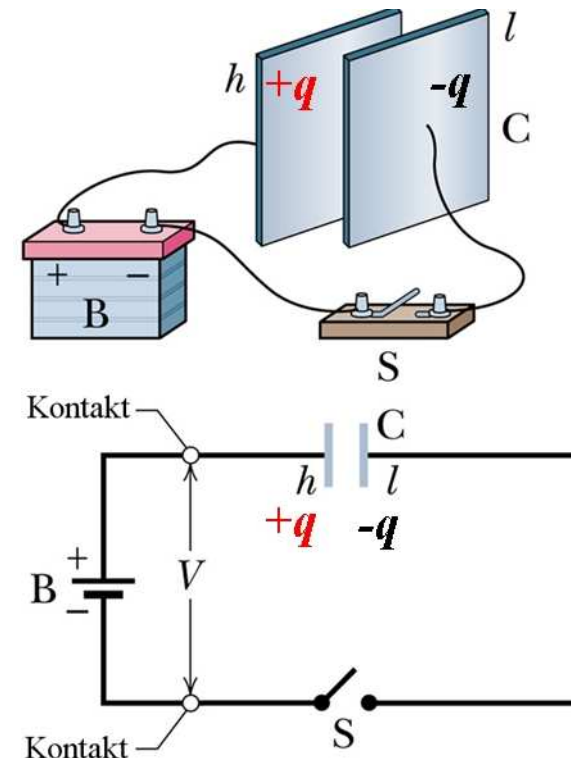
Elektrické siločáry



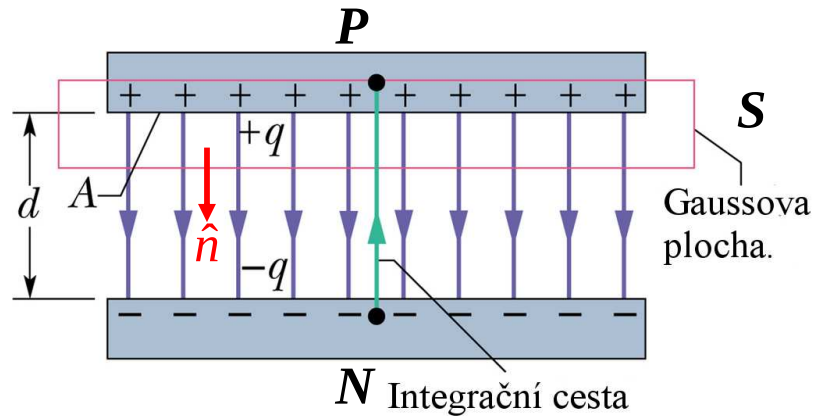
Nejjednodušším způsobem nabití kondensátoru je připojit jej na zdroj elektromotorického napětí – baterii.

Deskový kondenzátor tvoří dvě rovnoběžné desky plochy A , vzájemně oddělené vzdáleností d . Prostor mezi deskami je vyplněn buď vzduchem, nebo izolantem vhodných vlastností – **dielektrikem**.

Elektrické pole mezi deskami je homogenní, na okrajích desek je nehomogenní.



Kapacita deskového kondenzátoru



Desky kondensátoru mají plochu A , jsou vzdáleny d . Horní deska nese náboj $+q$, spodní deska $-q$.

Tok vektoru elektrické intenzity plochou A :

$$\Phi = EA \cos 0 = EA$$

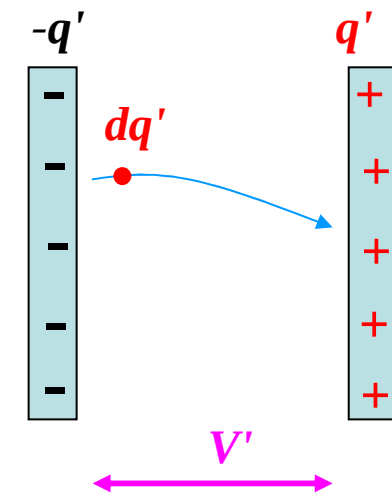
Z Gaussova zákona elektrostatiky plyne: $\Phi = \frac{q}{\epsilon_0} \rightarrow EA = \frac{q}{\epsilon_0} \rightarrow E = \frac{q}{A\epsilon_0}$

Rozdíl potenciálů mezi deskami (+, -): $V = \int_{-}^{+} E ds \cos 0 = E \int_{-}^{+} ds = Ed = \frac{qd}{A\epsilon_0}$

Po dosazení pak dostaneme pro kapacitu deskového kondensátoru vztah:

$$C = \frac{q}{V} = \frac{q}{qd / A\epsilon_0} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$



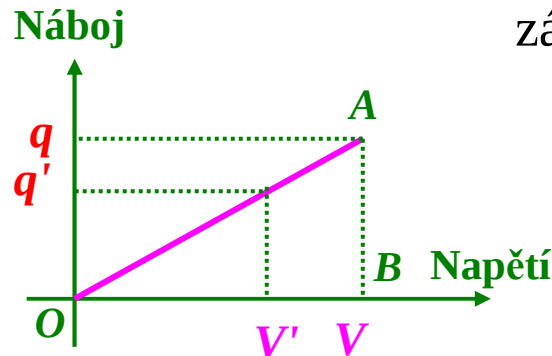
Práce vykonaná při nabíjení kondensátoru.

Uvažujme kondensátor kapacity C , jehož desky nesou náboj velikosti q' mezi nimiž je potenciálový rozdíl V' .

Jakou práci je třeba vykonat, abychom desky kondensátoru nabili nábojem q ?

Práce dW vykonaná přenesením elementu náboje dq' ze záporně nabité desky na kladně nabitou desku je rovna:

$$dW = V'dq' = \frac{q'}{C} dq'$$



Celková práce je pak dána rovnicí:

$$W = \int V'dq' = \frac{1}{C} \int_0^q q' dq' \rightarrow W = \frac{1}{C} \left[\frac{q'^2}{2} \right]_0^q \rightarrow \boxed{W = \frac{q^2}{2C}}$$

Dosazením za q z rovnice $q = CV$ dostaneme vztahy:

$$\boxed{W = \frac{CV^2}{2}, \quad W = \frac{qV}{2}}$$

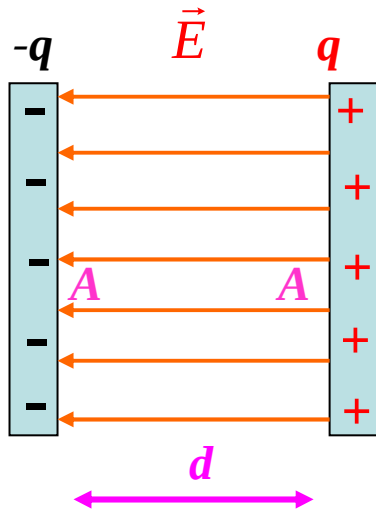
Práce W vykonaná při nabití kondensátoru nábojem q je rovna ploše trojúhelníku S_{OAB} .

$$\boxed{S_{OAB} = W = \frac{Vq}{2}}$$

Potenciální energie nabitého kondensátoru.

Práce W vykonaná při nabití kondensátoru je v kondensátoru uložena ve formě potenciální energie U . Tedy platí vztahy:

$$U = \frac{q^2}{2C} = \frac{CV^2}{2} = \frac{qV}{2} = W$$

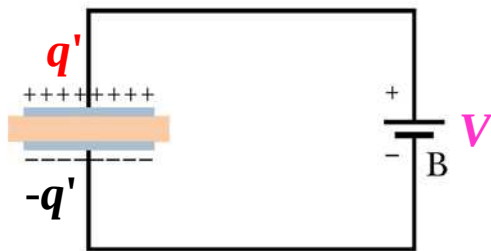
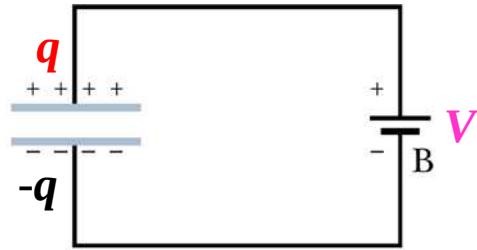


Kde je potenciální energie nabitého kondensátoru uložena?

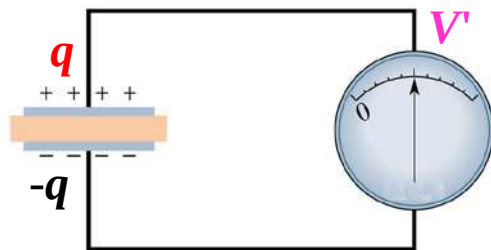
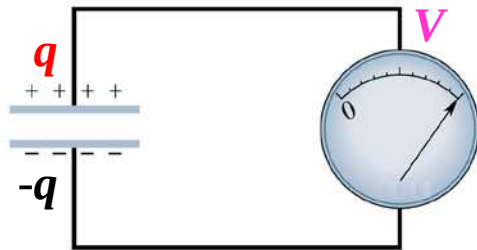
Náboje na deskách kondensátoru vytváří v prostoru mezi deskami elektrické pole intenzity $E = V/d$, tedy práce, kterou bylo třeba vynaložit k nabití kondensátoru je práce vynaložená na vznik tohoto pole a můžeme tedy předpokládat, že potenciální energie je uložena v prostoru mezi deskami. Mají-li desky plochu A a jsou vzájemně vzdáleny d , pak objem V prostoru mezi deskami je roven $V = Ad$. Můžeme pak zavést veličinu **hustota energie** $u = U/V$.

$$u = \frac{U}{Ad} = \frac{CV^2}{2Ad} = \frac{V^2}{2Ad} = \frac{\epsilon_0}{2} \left(\frac{V}{d} \right)^2 \rightarrow \boxed{u = \frac{\epsilon_0 E^2}{2}}$$

Vztah pro hustotu elektrické energie u platí i v obecném případě.



$V = \text{konstanta}$



$q = \text{konstanta}$

Kondenzátor s dielektrikem.

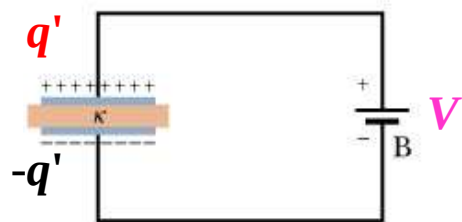
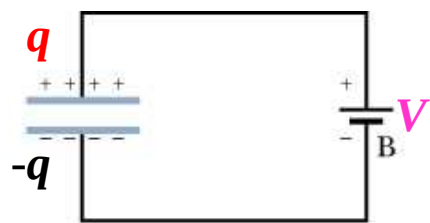
Experimenty M. Faradaye s kondensátory bez a s dielektrikem ukázaly, že kapacita kondensátoru se vložením dielektrika mezi desky kondensátoru změní a to přímo úměrně s konstantou úměrnosti ϵ_r :

$$C = \epsilon_r C_{\text{vzduch}}$$

Konstantu ϵ_r nazýváme **relativní permitivita**. Relativní permitivita je materiálovou konstantou.

Faradayovy experimenty:

1. Desky kondensátoru jsou připojeny ke zdroji nábojů, na jehož svorkách je konstantní napětí V . Desky kondensátoru po vložení dielektrika nesou větší náboj.
2. Kondensátor nese konstantní množství náboje, po vložení dielektrika mezi jeho desky pak pozorujeme pokles napětí mezi deskami kondensátoru.

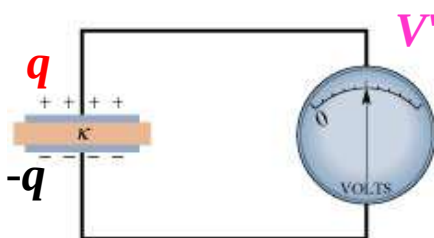
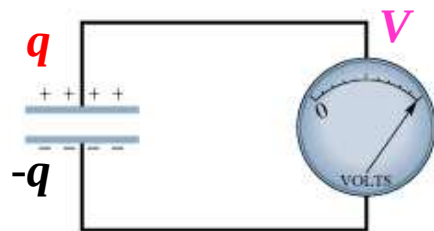


$V = \text{a constant}$

(a)

Obrázek (a): Ke svorkám kondensátoru je připojen zdroj konstantního napětí V . Po vložení dielektrika mezi desky kondensátoru se změní množství náboje na deskách kondensátoru z q na $q' = \epsilon_r q$. Kapacita kondensátoru se pak změní:

$$C = \frac{q'}{V} = \frac{\epsilon_r q}{V} = \epsilon_r \frac{q}{V} = \epsilon_r C_{\text{vzduch}}$$

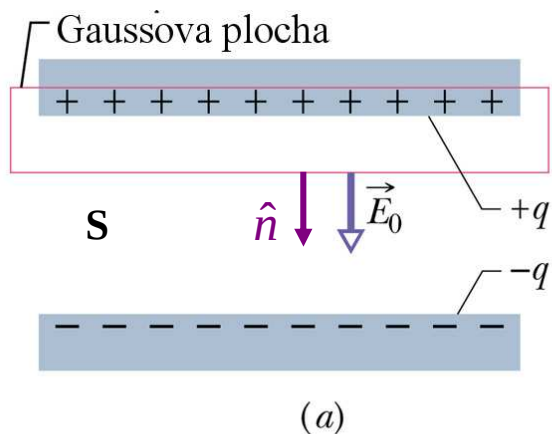


$q = \text{a constant}$

(b)

Obrázek (b): Ke svorkám nabitého kondensátoru je připojen voltmetr. Jelikož jsou desky kondensátoru izolovány, je na nich konstantní množství elektrického náboje q . Po vložení dielektrika mezi desky kondensátoru se změní hodnota napětí mezi deskami z V na $V' = V/\epsilon_r$. Kapacita kondensátoru se pak změní:

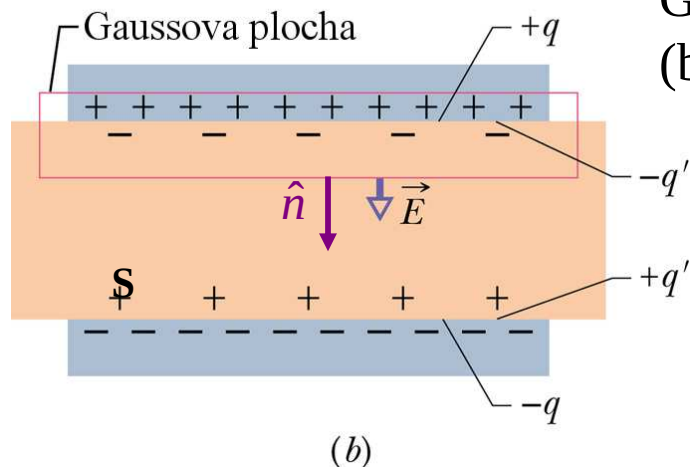
$$C = \frac{q}{V'} = \frac{q}{V/\epsilon_r} = \epsilon_r \frac{q}{V} = \epsilon_r C_{\text{vzduch}}$$



Gaussův zákon v prostředí s dielektrikem.

Gaussův zákon v prostředí bez dielektrika (vakuum, vzduch), obrázek (a):

$$\int_S \vec{E}_0 \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0} \rightarrow E_0 = \frac{q}{\epsilon_0 S}$$



Gaussův zákon v prostředí s dielektrikem, obrázek (b):

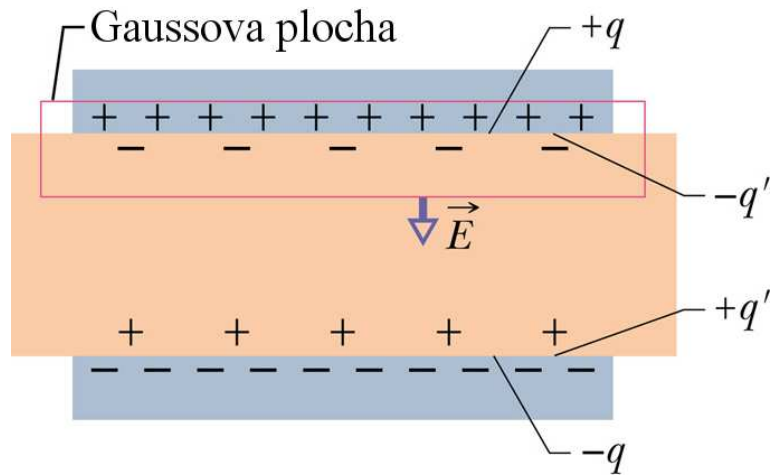
$$\epsilon_0 \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = q - q' \rightarrow E = \frac{q - q'}{\epsilon_0 S} \quad (1)$$

$$E = \frac{E_0}{\epsilon_r} = \frac{q}{\epsilon_r \epsilon_0 S} \rightarrow q - q' = \frac{q}{\epsilon_r} \quad (2)$$

Z rovnic (1) a (2) vyplývá pro Gaussův zákon v prostředí s dielektrikem (jsou přítomny volné a vázané náboje) vztah:

$$\epsilon_0 \int_S \epsilon_r \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$$

Gaussův zákon v prostředí s dielektrikem.



Vztah: $\oint \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$ můžeme přepsat po

zavedení vektorové veličiny $\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E}$ –
vektor elektrické indukce - na tvaru:

$$\oint_S \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = q$$

Elektrický náboj q na pravé straně rovnice je volný náboj, to znamená, že náboje vázané v dielektriku nebereme v úvahu, na druhou stranu však musíme počítat tok vektoru intenzity elektrického pole násobený relativní permitivitou dielektrika, neboli tok vektoru elektrické indukce $\mathbf{D}$.

Součin $\epsilon_0 \epsilon_r$ označujeme jako permitivitu dielektrika ϵ a obecně ji není možné vytknout před integrační znamení, neboť její hodnota se může na Gaussově ploše měnit.