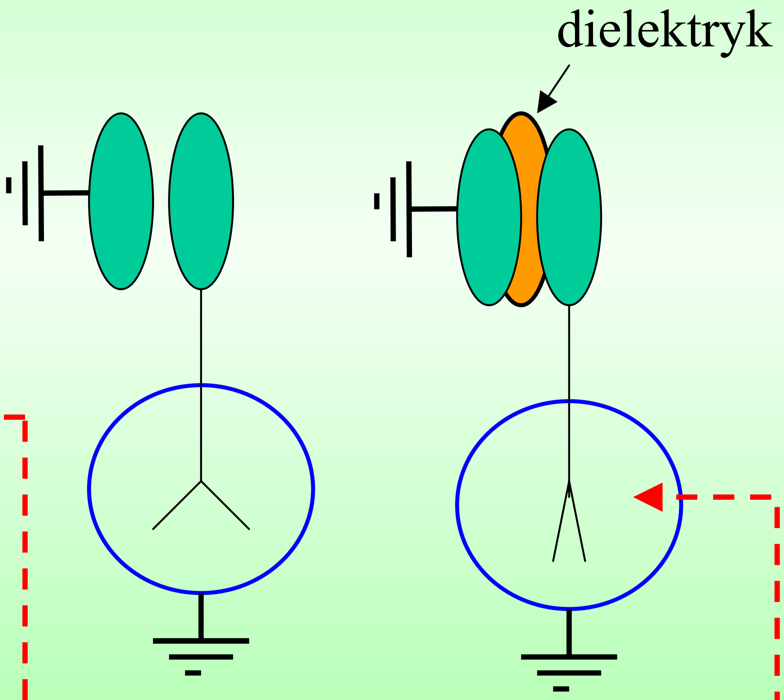
Dielektryki

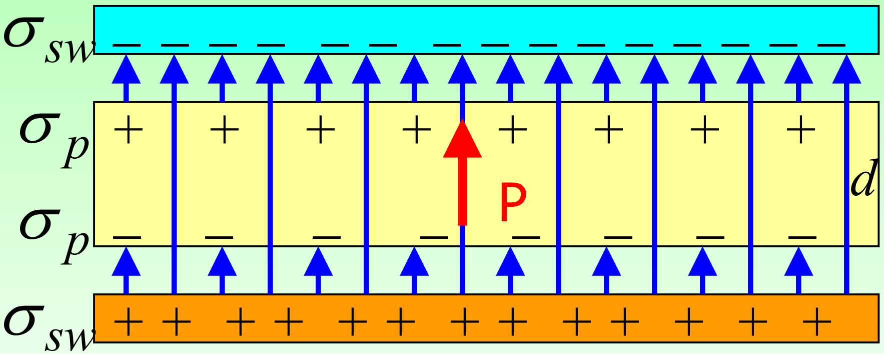
Doświadczenie Faradaya



Wprowadzenie do pola elektrycznego dielektryka modyfikuje to pole – wychylenie listków elektroskopu połączonego z jedną z okładek kondensatora płaskiego maleje po umieszczeniu między płytki dielektryka (pojemność kondensatora rośnie)

Kondensator płaski z dielektrykiem

Pole w kondensatorze bez dielektryka:

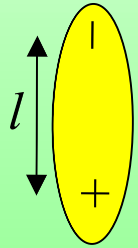


$$E = \frac{\sigma_{sw}}{\varepsilon_0}$$

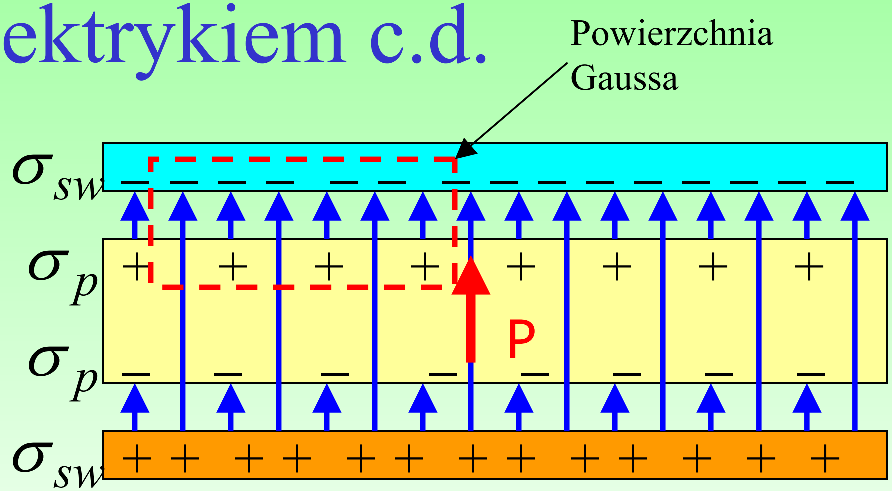
Po wsunięciu dielektryka następuje w nim polaryzacja ładunku opisywana wektorem polaryzacji ***P***. Ponieważ ***E*** = const, to ***P*** = const. Oznacza to, że przestrzenna gęstość ładunku (+) i (-) jest taka sama.

Wniosek – wewnątrz dielektryka nie ma lokalnych zagęszczeń ładunku (+) i (-). Zatem istotny jest jedynie rozkład ładunku na powierzchni dielektryka.

Na powierzchniach dielektryka tworzą się warstwy z nadmiarem i niedoborem elektronów przesunięte względem warstwy z niedoborem i nadmiarem ładunku dodatniego o ***l***.



Kondensator płaski z dielektrykiem c.d.



Gęstość powierzchniowa ładunku polaryzacyjnego w dielektryku:

$$\sigma_p = \frac{NelA}{A} = Nel = P$$

Korzystając z prawa Gaussa obliczmy pole wewnątrz dielektryka:

$$E = \frac{\sigma_{sw} - \sigma_p}{\varepsilon_0}$$ lub $$E = \frac{\sigma_{sw} - P}{\varepsilon_0}$$ bo $\sigma_p = P$

Ograniczmy się do dielektryków, dla których polaryzacja jest proporcjonalna do natężenia zewnętrznego pola elektrycznego:

$$P = \chi \varepsilon_0 E$$

χ - podatność elektryczna

Kondensator płaski z dielektrykiem c.d.

$$E = \frac{\sigma_{sw} - \chi\varepsilon_0 E}{\varepsilon_0} \quad \Rightarrow \quad \boxed{E = \frac{\sigma_{sw}}{\varepsilon_0(1+\chi)}}$$

Napięcie między płytkami kondensatora (pole jednorodne między płytkami):

$$U = Ed = \frac{\sigma_{sw} d}{\varepsilon_0(1+\chi)}$$

d – odległość między płytkami

Pojemność kondensatora płaskiego z dielektrykiem:

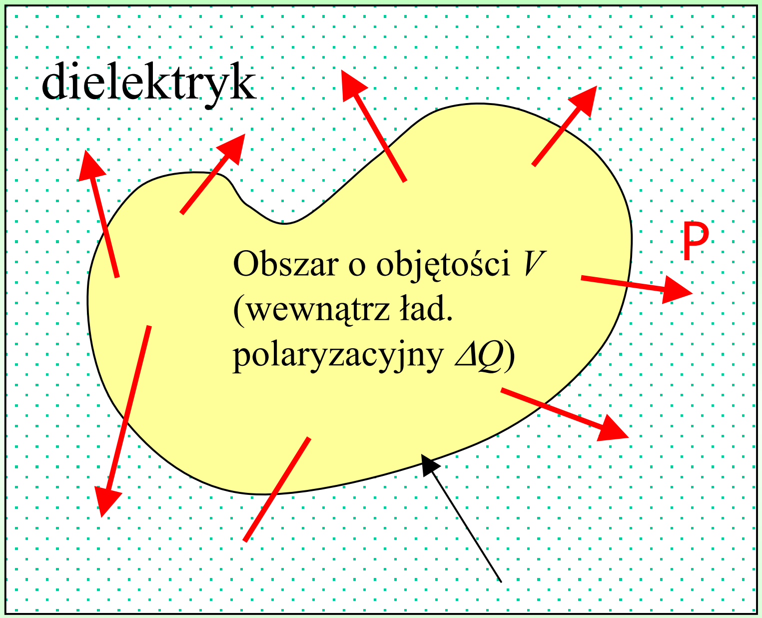
$$C = \frac{Q_{sw}}{U} = \frac{\sigma_{sw} S}{U} = \frac{\sigma_{sw} S}{\dfrac{\sigma_{sw} d}{\varepsilon_0(1+\chi)}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{C = \frac{(1+\chi)\varepsilon_0 S}{d}}$$

$(1+\chi) = \varepsilon_r$ - względna przenikalność elektryczna

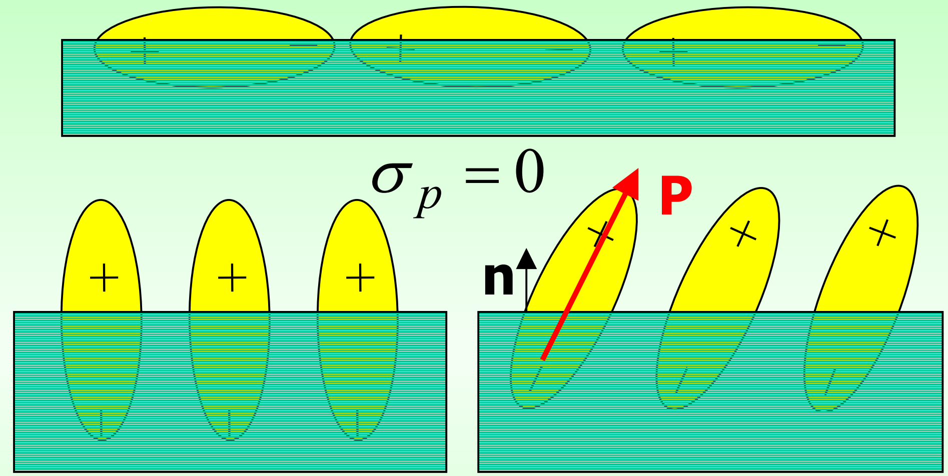
$$\boxed{C = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}{d}}$$

Polaryzacja a przestrzenna gęstość ładunku

$\vec{P} \neq const$



Gęstość powierzchniowa ładunku polaryzacyjnego a orientacja wektora polaryzacji



$\sigma_p = 0$

$\sigma_p = P$

$\sigma_p = \vec{P} \cdot \vec{n}$

Gęstość ładunku na powierzchni.

Całkowity ładunek przesunięty na zewnątrz obszaru V wskutek polaryzacji równy jest nadmiarowemu ładunkowi przeciwnego znaku pozostałemu wewnątrz tego obszaru.

Pod powierzchnią zostaje ładunek przeciwnego znaku.

Polaryzacja a przestrzenna gęstość ładunku

$$\boxed{\Delta Q_p = -\int_S \vec{P} \cdot \vec{n} da}$$

ale $$\Delta Q_p = \int_V \rho_p dV$$

ρ – gęstość objętościowa ładunku polaryzacyjnego

$$\boxed{\int_V \rho_p dV = -\int_S \vec{P} \cdot \vec{n} da}$$

ale $$\int_S \overline{P} \cdot \vec{n} da = \int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{P} dV$$ (tw. Gaussa)

$$\boxed{\rho_p = -\vec{\nabla} \cdot \vec{P}}$$

(porównaj – prawo Gaussa)

Równania elektrostatyki dla pól z dielektrykami

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$ prawo Gaussa

$$\rho = \rho_s + \rho_p$$ gęstość ładunków:

ρ_p - swobodnych

ρ_s - polaryzacyjnych

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho_s + \rho_p}{\varepsilon_0} = \frac{\rho_s - \vec{\nabla} \cdot \vec{P}}{\varepsilon_0}$$

$$\boxed{\vec{\nabla} \cdot \left(\vec{E} + \frac{\vec{P}}{\varepsilon_0} \right) = \frac{\rho_s}{\varepsilon_0}}$$

po podstawieniu $P = \chi \varepsilon_0 E$

$$\vec{\nabla} \cdot \left[(1 + \chi) \vec{E} \right] = \frac{\rho_s}{\varepsilon_0}$$

$$\boxed{\vec{\nabla} \cdot \left(\varepsilon_r \vec{E} \right) = \frac{\rho_s}{\varepsilon_0}}$$

ε_r – może mieć różną wartość w różnych punktach

prawo Gaussa dla pól w dielektrykach

Pola w dielektrykach

W próżni:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E}_0 = \frac{\rho_s}{\varepsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}_0 = 0$$

Wdielektryku:

$$\vec{\nabla} \cdot \left(\varepsilon_r \vec{E}\right) = \frac{\rho_s}{\varepsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0$$

Jeżeli ośrodek jest jednorodny:

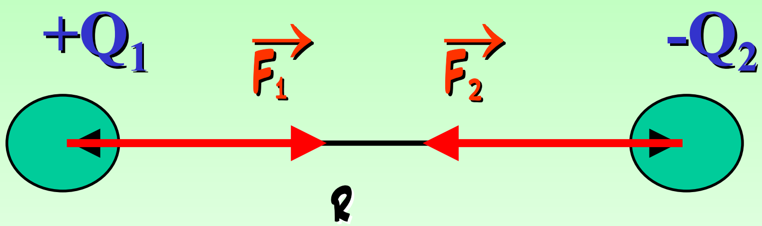
$$\vec{\nabla} \cdot \left(\varepsilon_r \vec{E}\right) = \frac{\rho_s}{\varepsilon_0}$$

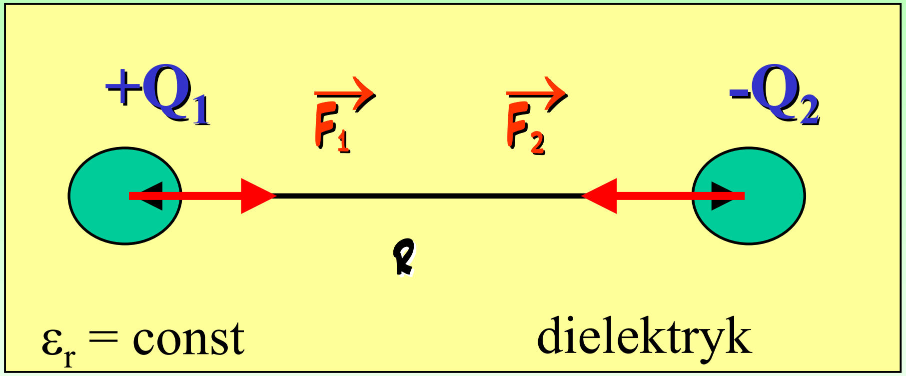
$$\vec{\nabla} \times \left(\varepsilon_r \vec{E}\right) = 0$$

$$(1 + \chi) = \varepsilon_r$$

Rozwiązaniem tego układu jest: $\chi \vec{E} = \vec{E}_0$

Siły w dielektrykach





Pole wytworzone przez ładunek Q_1:

$$\vec{E}_0$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon_r}$$

Siła z jaką ładunki oddziałują na siebie:

$$F = E_0 Q_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$F = E Q_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$