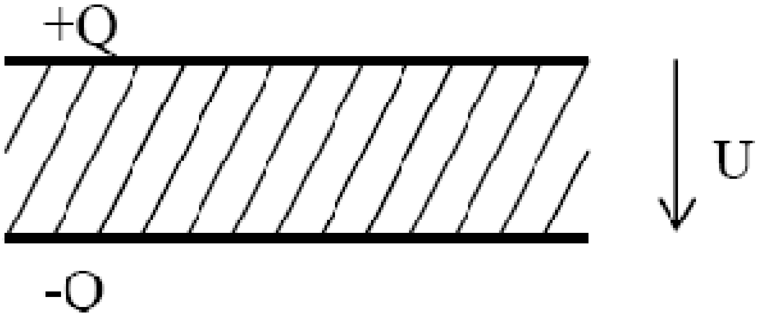
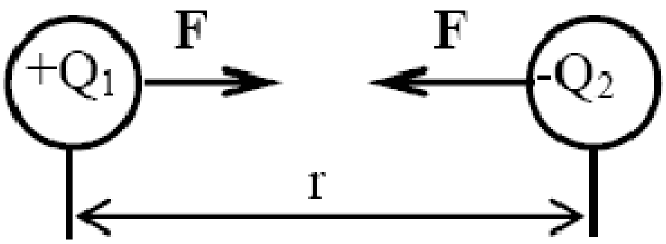
ELEKTROSTATICKÉ POLE



Znázornění elektrostatického pole

Coulombův zákon



$$F = k\frac{Q_1 Q_2}{r^2} \qquad (N; N\cdot m^2\cdot C^{-2}, C, C, m) \qquad k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi\cdot 10^9}\,\frac{A\cdot s}{V\cdot m} = 8{,}854\cdot 10^{-12}\ \frac{C}{V\cdot m} = 8{,}854\cdot 10^{-12}\ F\cdot m^{-1}$$

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

Příklad 1

Stanovte, jak velkou silou se odpuzují dva elektrony po výstupu z katody obrazovky. Elektrony jsou od sebe vzdáleny 1cm, ε_r=1. Podle Coulombova zákona bude

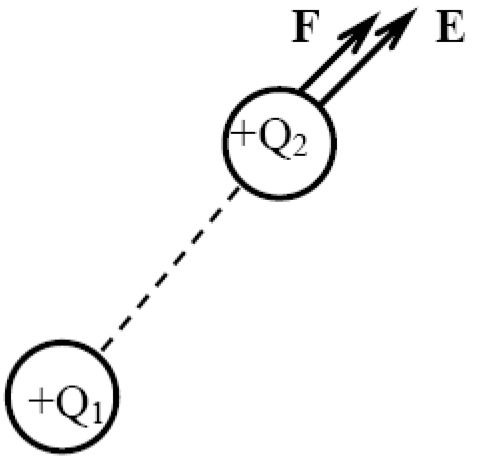
$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_e q_e}{r^2},$$

$$F = \frac{1}{4\pi\cdot 8{,}854\cdot 10^{-12}}\frac{1{,}602\cdot 10^{-19}\cdot 1{,}602\cdot 10^{-19}}{0{,}01^2}\ N = 2{,}3\cdot 10^{-24}\ N.$$

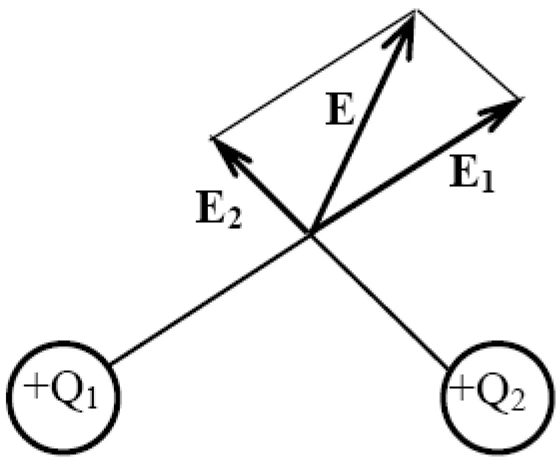
Veličiny elektrostatického pole

Intenzita elektrického pole

$$E = \frac{F}{Q} \qquad (N \cdot C^{-1}; N, C) \qquad E = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \cdot \frac{Q_1}{r^2}$$



Intenzita elektrického pole



Vektorový součet intenzit elektrického pole

$$\boxed{E = E_1 + E_2}$$

$$[E] = \frac{[F]}{[Q]} = \frac{N}{C} = \frac{\frac{VAs}{m}}{As} = \frac{V}{m}$$

$$E = \frac{U}{l} \qquad \left(V \cdot m^{-1}; V, m\right)$$

Příklad 2

Stanovte rozdíl napětí na dvou rovnoběžných deskách při vzdálenosti a=20mm, b=1,4cm. Elektrostatické pole, které vzniklo mezi deskami, má intenzitu elektrického pole 19kVm^{-1}.

Napětí při vzdálenosti a

$$U_a = Ea = 19 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-3} V = 380 V .$$

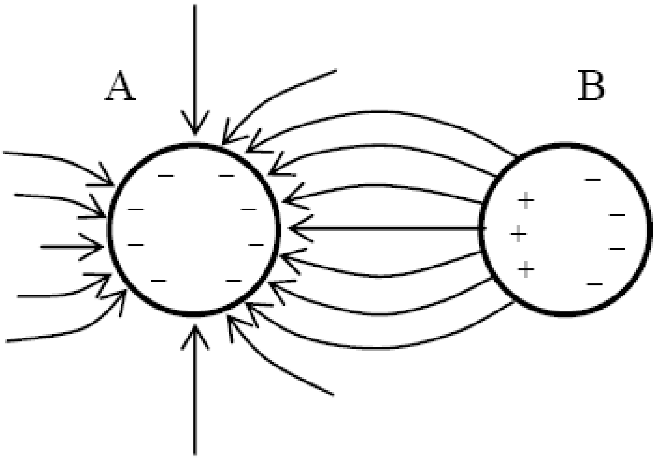
Napětí při vzdálenosti b

$$U_b = Eb = 19 \cdot 10^3 \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-2} V = 266 V .$$

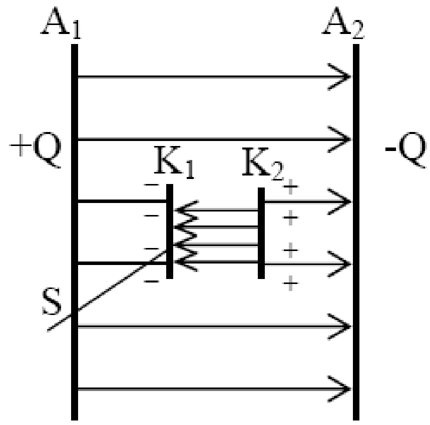
Rozdíl napětí

$$U = U_a - U_b = 380 - 226 = 114 V .$$

Elektrická indukce



Elektrostatická indukce



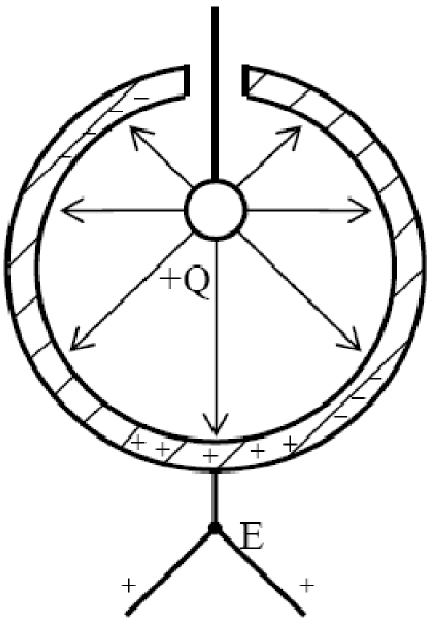
Indukovaný náboj

$$D = \frac{Q}{S} \qquad (C \cdot m^{-2}; C, m^2)$$

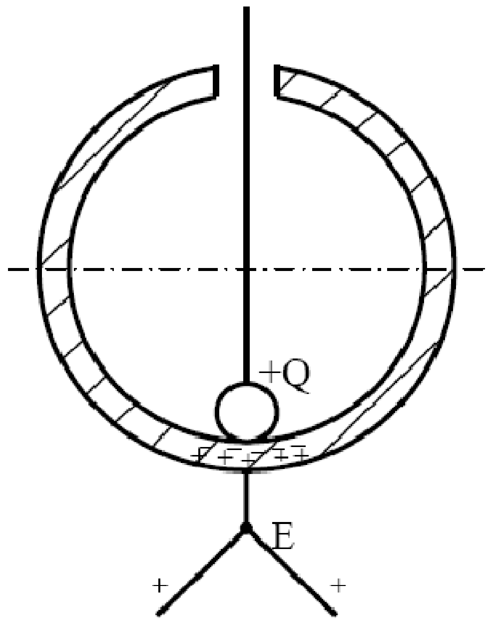
$$\boldsymbol{D} = \varepsilon \boldsymbol{E}\ (C.m^{-2}, F.m^{-1}, V.m^{-1})$$

Gaussova věta

$$\Psi = Q = DS$$



Obr. 120.: Gaussova věta



Obr. 121.: Velikost indukovaného náboje na ploše

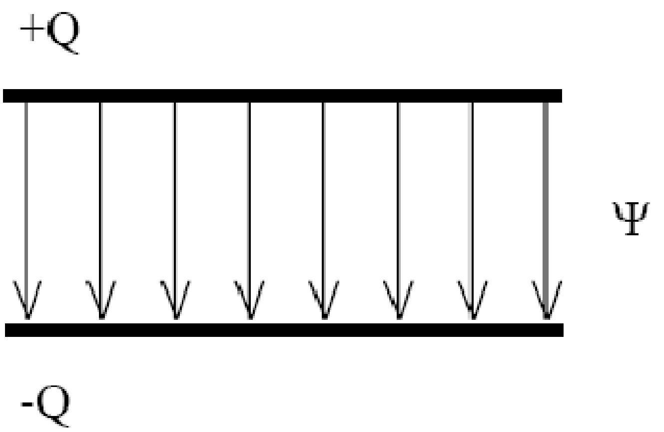
$$\Psi = \sum_{k=1}^{n} Q_k$$

Příklad 3

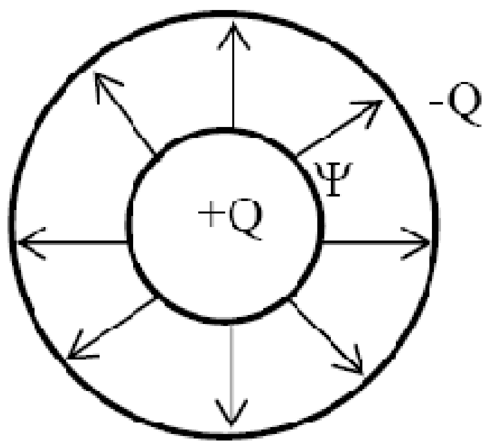
V prostoru mezi dvěma deskami je elektrická indukce $0{,}5\,\mathrm{Cm}^{-2}$. Vypočtěte, jaký je náboj na deskách, mají-li plochu $20\mathrm{cm}^2$. Celkový náboj je dán vztahem:

$$Q = DS = 0{,}5.20.10^{-4}\,C = 1.10^{-3}\,C.$$

<u>Zobrazování elektrostatických polí</u>

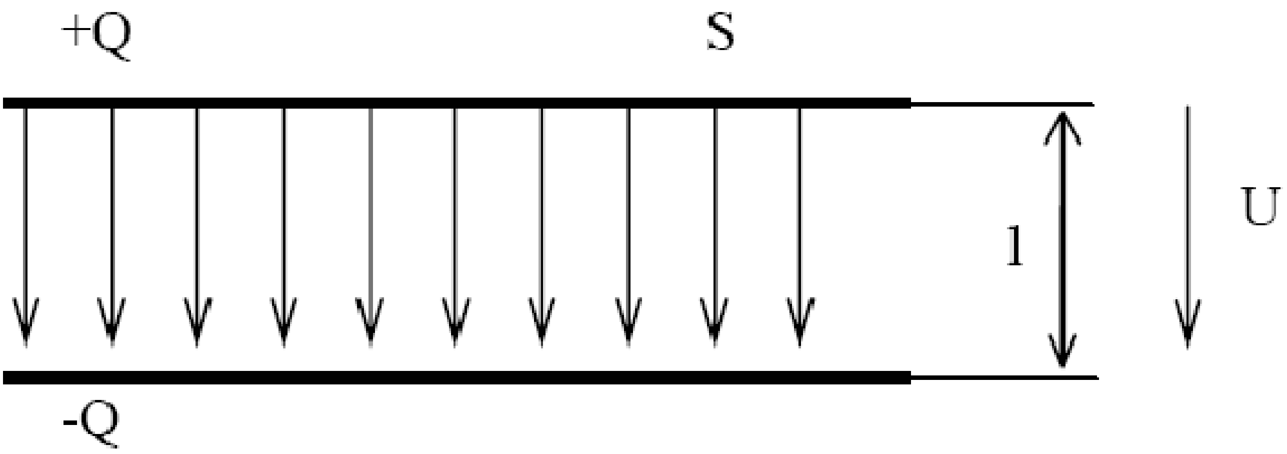


Homogenní pole



Nehomogenní pole

Homogenní elektrostatické pole
Kapacita, kondenzátor



$$Q = CU \qquad \text{(C; F, V)} \qquad [C] = \frac{[Q]}{[U]} = \frac{A \cdot s}{V} = F$$

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

C – kapacita kondenzátoru

Převrácená hodnota kapacity je tzv. dielektrický odpor

$$R_d = \frac{1}{C} = \frac{1}{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}$$

Poměrná permitivita ε_r a elektrická pevnost E_p izolantů

Materiál	ε_r	E_p (kW.mm^{-1})
Vzduch	1,0006	2 až 3
minerální olej	2,2 až 2,4	20 až 30
parafín	1,9 až 2,2	20 až 30
ceresín	2,3	20
kondenzátorový papír	2 až 5	30 až 58
kabelový papír	2,5 až 4	7 až 10
polyetylén	2,2 až 2,3	45 až 60
polystyrén	2,5 až 2,9	50 až 80
slída – muskovit	6 až 7	40 až 80
sklo – křemenné	3,5 až 4	20 až50
stealit	6 až 7	20 až45

Příklad 4

Stanovte kapacitu rovinného kondenzátoru. Plocha elektrod je $4 \cdot 10^4 \text{cm}^2$ (svitkové uspořádání), dielektrikem je kondenzátorový papír s poměrnou permitivitou 3, jehož tloušťka je 0,1mm.

Kapacita kondenzátoru je dána vztahem

$$C = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}{l},$$

$$C = \frac{3 \cdot 8{,}854 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^4 \cdot 10^{-4}}{0{,}1 \cdot 10^{-3}} F = 1{,}06 \cdot 10^{-6}\ F = 1{,}06\ \mu F .$$

Příklad 5

Vypočtěte indukční tok ve skleněné desce tloušťky 2mm, která tvoří dielektrikum deskového kondenzátoru. Plocha desek je 150cm^2. Na desky je připojeno napětí 2kV. Poměrná permitivita skla je 4.

Kapacita kondenzátoru

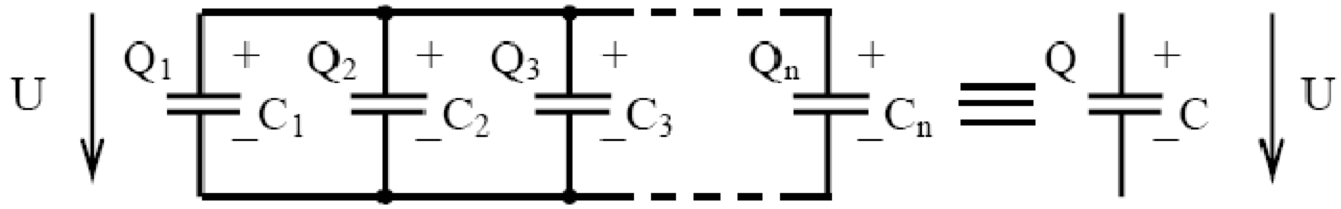
$$C = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}{l} = \frac{4 \cdot 8{,}854 \cdot 10^{-12} \cdot 150 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-3}} \; F = 2{,}65 \cdot 10^{-10} \; F \, .$$

Indukční tok

$$\Psi = Q = CU = 2{,}65 \cdot 10^{-10} \cdot 2 \cdot 10^{3} = 5{,}31 \cdot 10^{-7} \; C \, .$$

Spojování kondenzátorů

Spojení paralelní – vedle sebe



Celkový náboj

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots.. + Q_n$$

Dosadíme za náboje

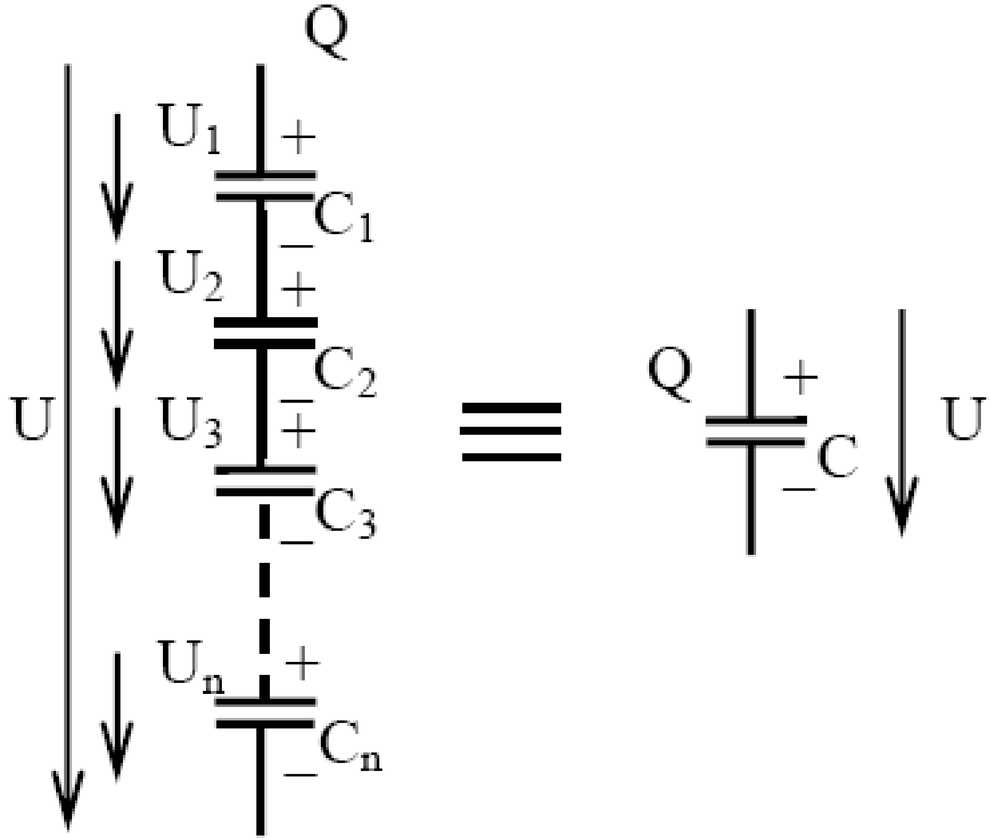
$$CU = C_1 U + C_2 U + C_3 U + \ldots.. + C_n U$$

Získáme

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots.. + C_n$$

$$C = \sum_{k=1}^{n} C_k$$

Spojení sériové – za sebou



$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots.. + U_n$$

Pro výpočet napětí platí

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{Q}{C_2}, \quad U_3 = \frac{Q}{C_3}, \quad \ldots.., \quad U_n = \frac{Q}{C_n}$$

Po dosazení

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} + \ldots.. + \frac{Q}{C_n}$$

Dělením rovnice nábojem Q dostaneme

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

$$\frac{1}{C} = \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{C_k}$$

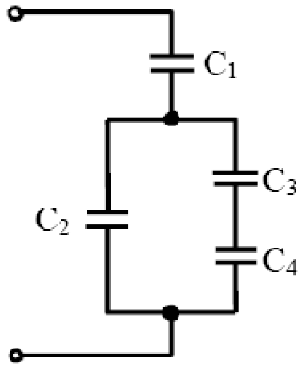
Pro dva sériově zapojené kondenzátory lze užít vztah

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

Příklad 6

Stanovte výslednou kapacitu spojení podle obr. 133. Kapacity kondenzátorů jsou C_1=6μF, C_2=1,5μF, C_3=2μF a C_4=6μF. Kondenzátory C_3 a C_4 jsou zapojeny do série a jejich výsledná kapacita je

$$C_{34} = \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-6} + 6 \cdot 10^{-6}}\ F = 1{,}5 \cdot 10^{\;6}\ F = 1{,}5\ \mu F\ .$$



Obr. 133. Výsledná kapacita spojení

Kondenzátory C_{34} a C_2 jsou spojeny paralelně, výsledná kapacita je

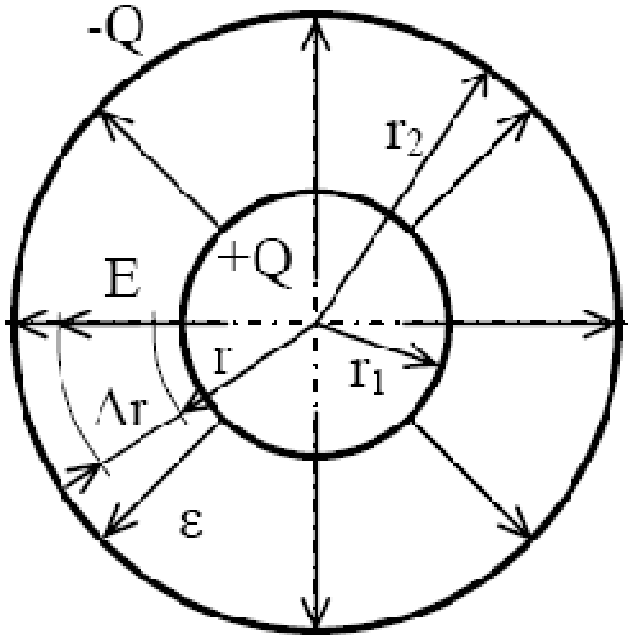
$$C_{234} = C_{34} + C_2 = (1{,}5 + 1{,}5)\ \mu F = 3\ \mu F\ .$$

Pak C_1 a C_{234} tvoří sériové spojení a výsledná kapacita je

$$C = \frac{C_1 C_{234}}{C_1 + C_{234}} = \frac{6 \cdot 3}{6 + 3}\ \mu F = 2\ \mu F\ .$$

Nehomogenní elektrostatické pole

Kapacita dvou soustředných kulových ploch



Kapacita dvou soustředných ploch

$$C = \frac{Q}{U} = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r \cdot \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1}$$

Za předpokladu, že poloměry obou elektrod jsou velké, jejich rozdíl je malý, pak $r_1 = r_2 = r$, $r_2 - r_1 = d$. Přibližný vztah:

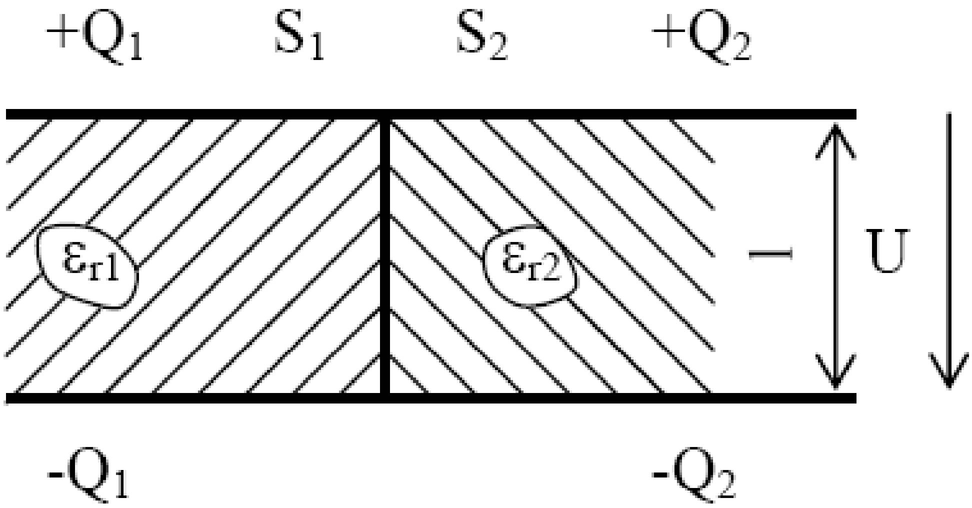
$$C = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 4\pi r^2}{d} = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}{d}$$

Příklad 7

Vypočítejte kapacitu zeměkoule, poloměr r=6371km, permitivita prostředí ε_r=1.

$$C = 4\pi\varepsilon_0 r = 4\pi \ .\ 8{,}854\ .\ 10^{-12}\ .\ 6{,}371\ .\ 10^{6}\ F = 708{,}854\ .\ 10^{-6}\ F = 708{,}854\ \mu F.$$

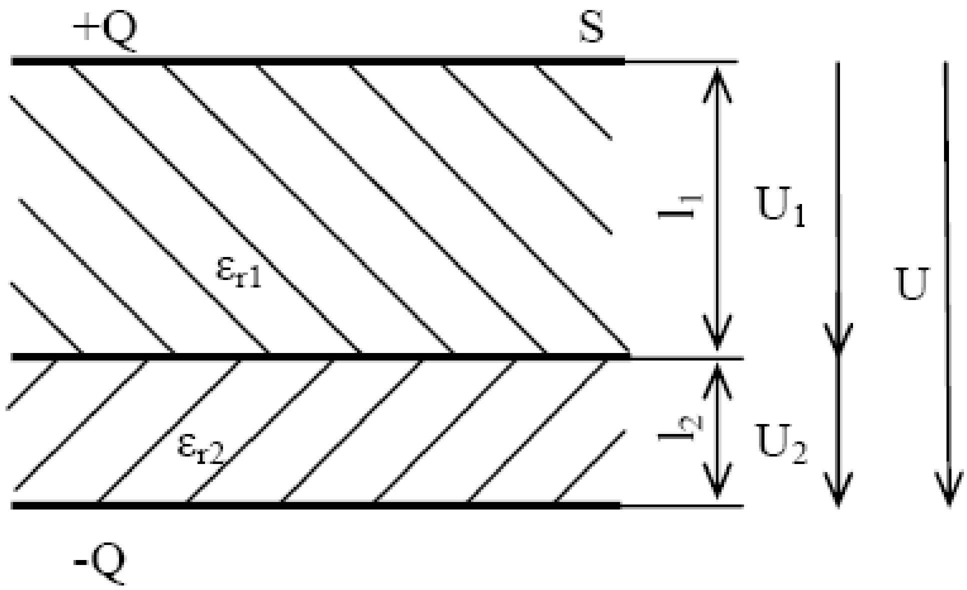
Složená dielektrika
Dielektrika vedle sebe



Uspořádání se chová jako dva kondenzátory spojené vedle sebe. Elektrická pevnost této izolace je dána dielektrikem s menší elektrickou pevností.

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

Dielektrika za sebou



Celková izolace se chová jako dva kondenzátory spojené do série.

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