

Elektrostatika

- opar. vlastnosti
- pitové problémy - mezi náboji

El. náboj ozn. $Q \dots +, -$

elektroskop (elektrometr)

vediče - umožňují pohyb náboje

izolanty - neumožňují -||-

(pozn. - polovodiče se mohou - podle okolností - chovat jako vodiče, nebo jako izolanty)

Jednotka el. náboje coulomb ("kulom") ozn. C

$$1A = \frac{1C}{1s} \quad \dots \text{def} \quad I = \frac{Q}{t}$$

$$1C = 1A \cdot 1s \quad Q = I \cdot t$$

Náboj se dá dělit

nejmenší možný náboj - elementární náboj

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{náboj elektronu } -e)$$

(v izolované soust.) platí zákon zachování

elektrického náboje

Př: Kolik elektronů projde řávkou za 1 minutu při proudu 0,5 A?

$$I = 0,5 \text{ A}$$

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

$$t = 60 \text{ s}$$

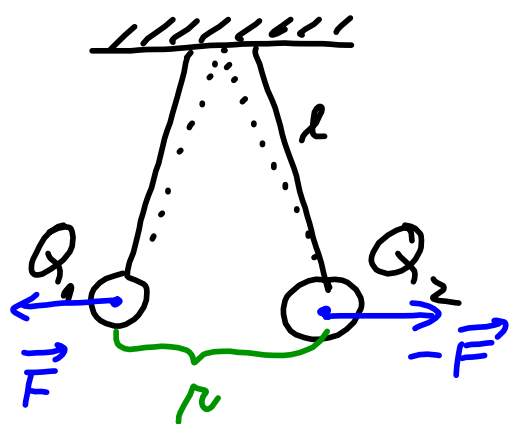
$$N = ?$$

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{I \cdot t}{e} = \frac{0,5 \cdot 60}{1,602 \cdot 10^{-19}} = \frac{30}{1,602} \cdot 10^{19} = 18,7 \cdot 10^{19} =$$

$$= 1,87 \cdot 10^{20} \text{ elektronů}$$

za minutu projde řávkou přibližně $1,87 \cdot 10^{20}$ elektronů.
(ok 2)

Coulombov zákon - síla mezi náboji



- síla mezi náboji (bodovými, nebo rovnoměrně rozloženými na povrchu koule)

$$\begin{aligned} F &\sim Q_1 \\ F &\sim Q_2 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} F &\sim Q_1 \\ F &\sim Q_2 \end{aligned}} \right\} F \sim Q_1 \cdot Q_2$$

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

$$F \sim \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

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

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

$$(Q_1 = Q_2 = 7,8 \text{ nC})$$

$$r = 4 \text{ cm}$$

$$l = 23 \text{ cm}$$

$$F = 0,35 \text{ mN} \quad (*)$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$$

$\epsilon \dots$ permitivita prostředí

* hodnoty přibližně odpovídají školnímu pokusu

Pr: Jak velká náboje se budou na vzdálenosti
0,1 m přitahovat silou 0,02 N?
(pro valouny)

$$Q_1 = Q_2 = Q$$

$$r = 0,1 \text{ m}$$

$$F = 0,02 \text{ N}$$

$$F = k \cdot \frac{Q \cdot Q}{r^2}$$

$$Q^2 = \frac{F \cdot r^2}{k} = \frac{0,02 \cdot 0,01}{9 \cdot 10^9} = \frac{2 \cdot 10^{-4-9}}{9} = \frac{20}{9} \cdot 10^{-14}$$

$$Q = \sqrt{\frac{20}{9}} \cdot 10^{-7} = 1,49 \cdot 10^{-7} \text{ C} = \underline{\underline{149 \text{ nC}}}$$

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

ϵ ... permitivita prostředí

ϵ_0 ... - " - vakua

ϵ_r ... relativní permitivita

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

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

1/6 15

např:	material	ϵ_r
	vzduch	1,0006
	petrolej	2,1
	sklo	5 - 16
	voda	81,6

20/21

ú 2

Dvě malé kuličky nesoucí náboje $Q_1 = +80 \text{ nC}$ a $Q_2 = -20 \text{ nC}$ jsou umístěny ve vakuu ve vzdálenosti 10 cm od sebe. Jak velkými silami se přitahují? Jakými silami na sebe budou působit, jestliže je nejprve přemístíme tak, aby se dotkly, a pak je vrátíme na původní místa?

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= 80 \text{ nC} = 80 \cdot 10^{-9} \text{ C} && \text{22/2 Dů } 30/4 \overline{17} \\
 r &= 0,1 \text{ m} && \text{23/4 } \overline{17} \\
 Q_2 &= -20 \text{ nC} = 20 \cdot 10^{-9} \text{ C} \\
 F &= ? && k = 9 \cdot 10^9 \text{ C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{k |Q_1 Q_2|}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 80 \cdot 10^{-9} \cdot 20 \cdot 10^{-9}}{0,1^2} = \\
 &= \frac{72 \cdot 10^{2-9-9}}{10^{-2}} = 144 \cdot 10^{2-9+2} = 144 \cdot 10^{-5} \text{ N} = \\
 &= 1,44 \cdot 10^{-3} \text{ N} = \underline{1,44 \text{ mN}}
 \end{aligned}$$

po vyrovnání nábojů $\left(\frac{80 + (-20)}{2} \right)$ budou mít oba náboje velikost 30 nC.

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= Q_2 = 30 \text{ nC} = 30 \cdot 10^{-9} \text{ C} \\
 r &= 0,1 \text{ m} \\
 F &= \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 30 \cdot 10^{-9} \cdot 30 \cdot 10^{-9}}{10^{-2}} = 8100 \cdot 10^{9-9-9+2} = 8100 \cdot 10^{-7} \text{ N} = \\
 &= 0,81 \cdot 10^{-3} \text{ N} = \underline{0,81 \text{ mN}} \quad (8,1 \cdot 10^{-4} \text{ N})
 \end{aligned}$$

nejprve se budou náboje přitahovat silou 1,44 mN a po vyrovnání nábojů se budou odpuzovat silou 0,81 mN.

Intenzita el. pole ozn \vec{E}

- sila, akva' by v danem mieste pole
působila na bodový náboj, rozdelená
týmto nábojem

$$\left(\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q} \right) \quad \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \dots \quad \vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Q

⊕

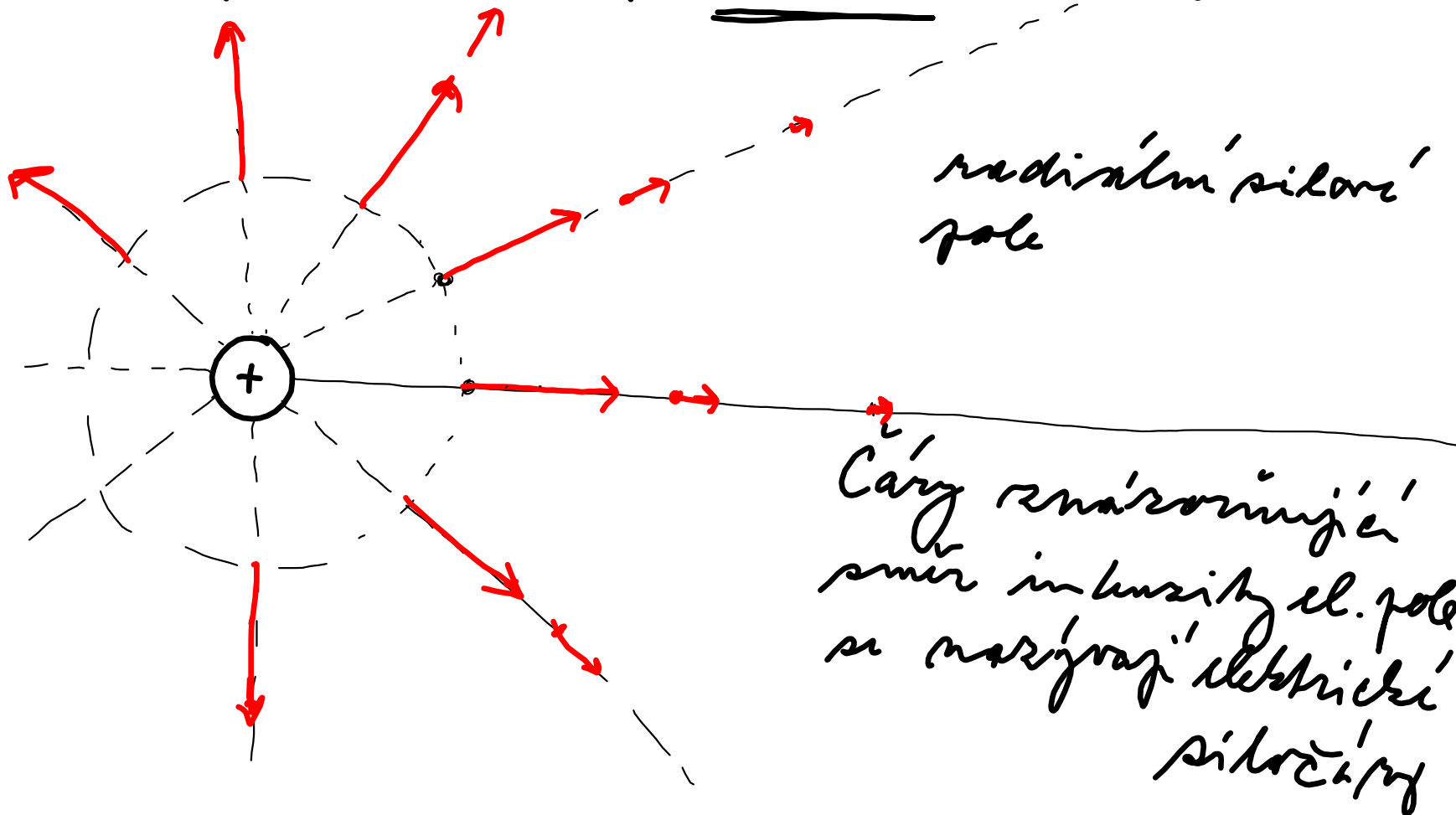


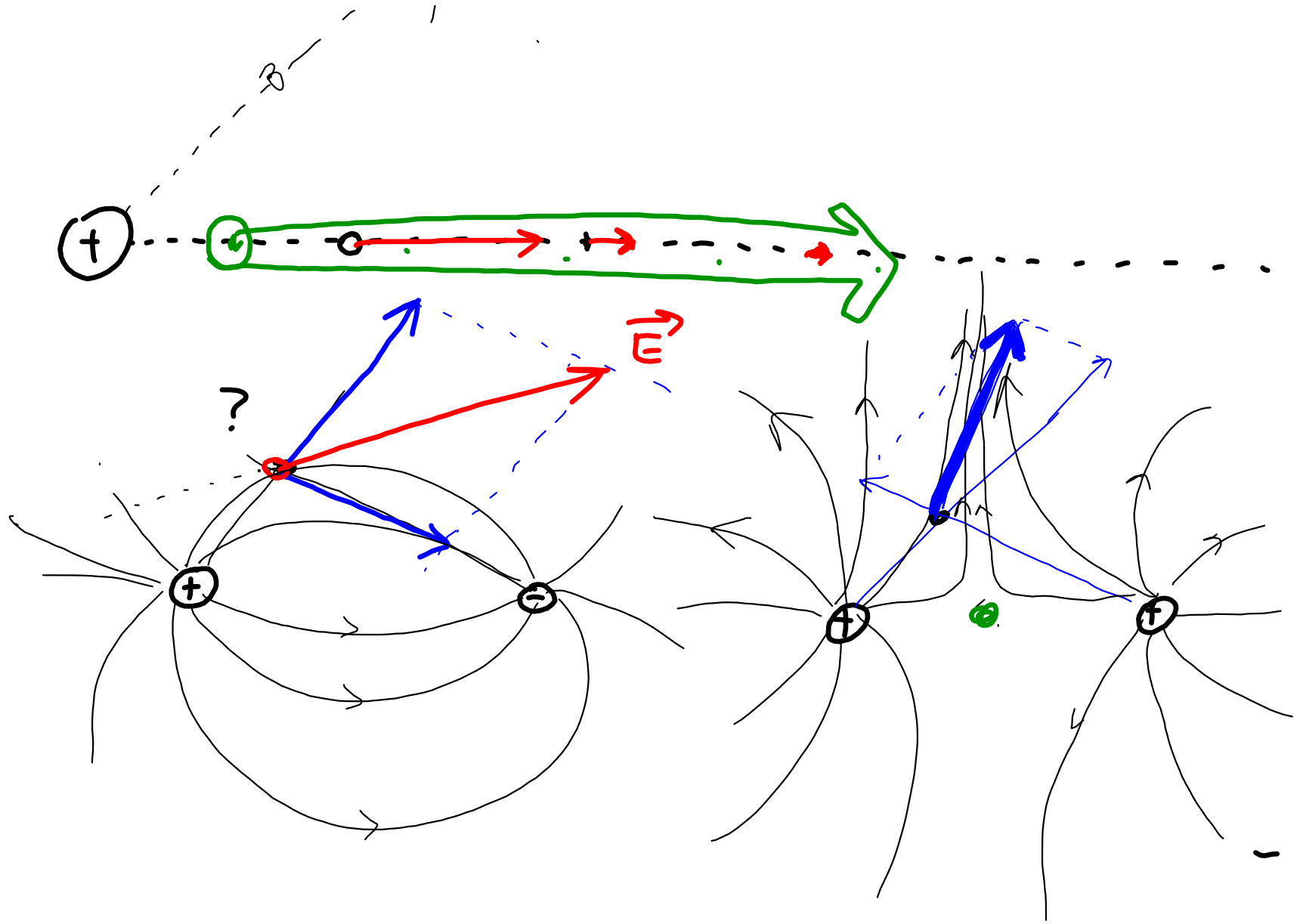
např. $q = 0,5C$

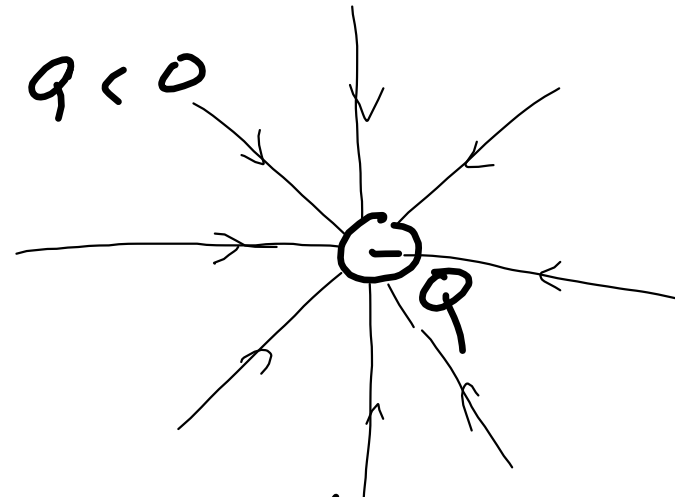
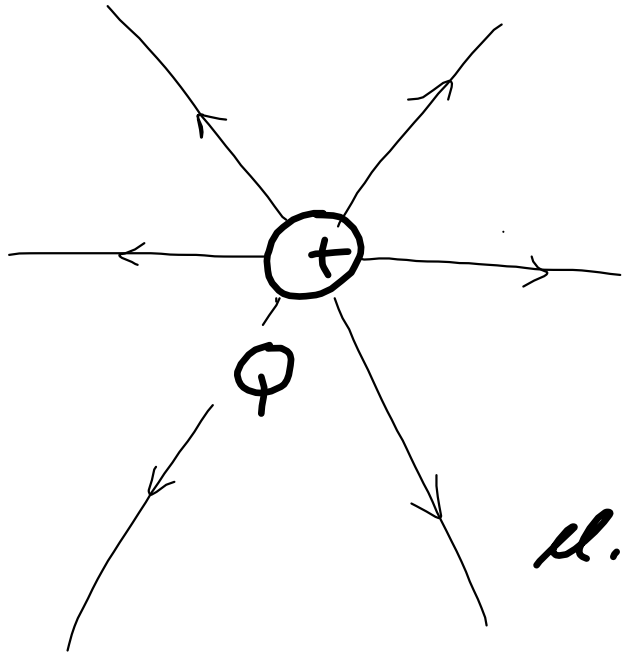
$$E = \frac{F}{0,5} = 2 \cdot F$$

Intenzita ve vzdal. r od náboje Q

$$E = \frac{F}{q} = k \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2} \cdot \frac{1}{q} = k \cdot \frac{Q}{r^2} \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

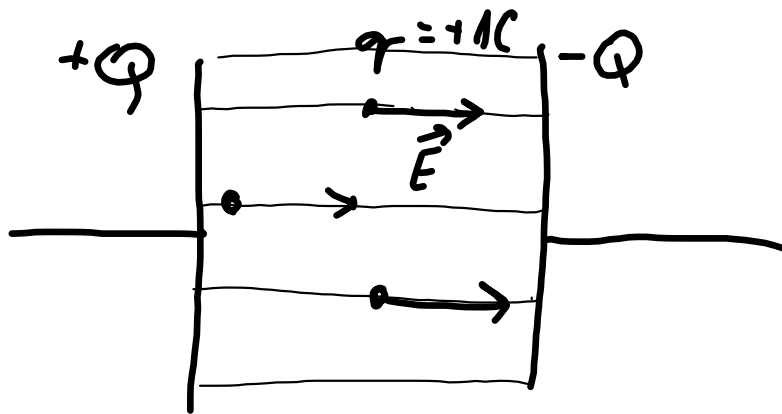




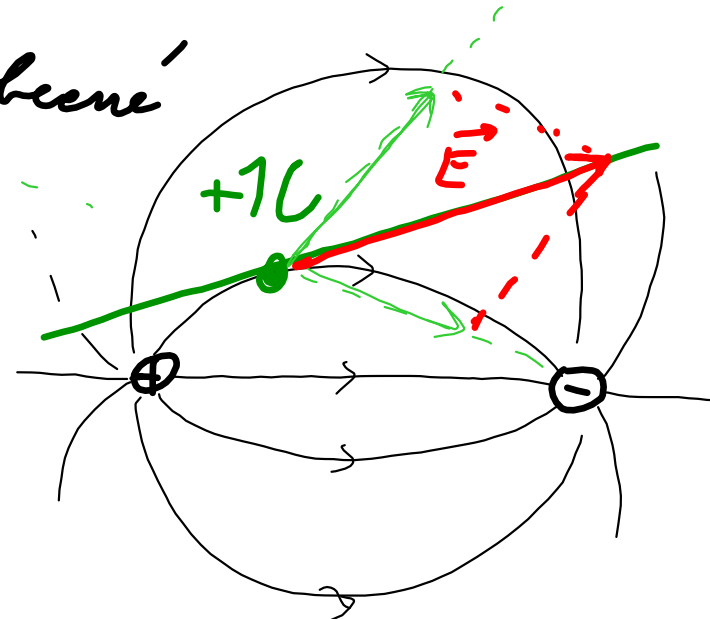


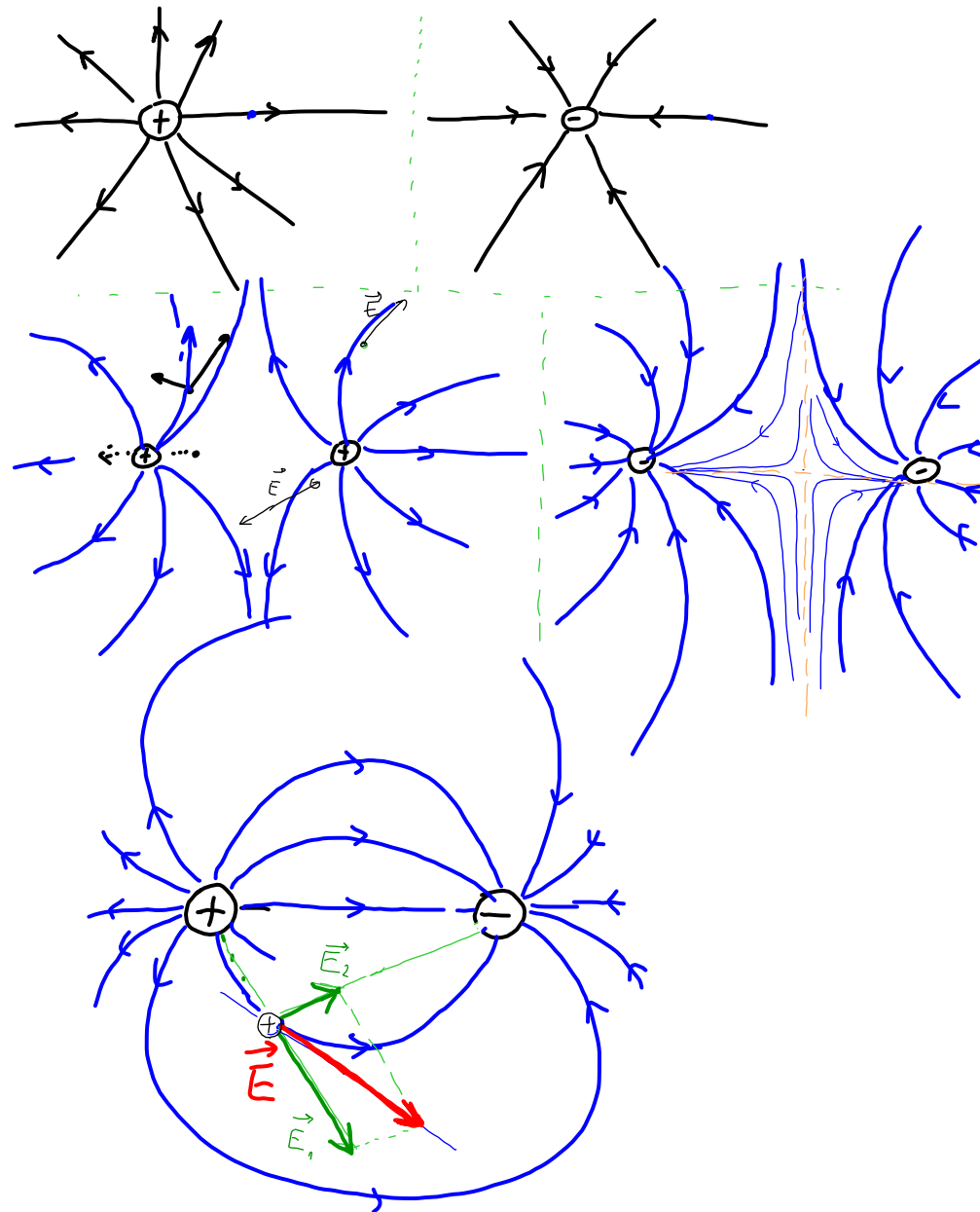
el. pole nemusí být pouze radiální

homogenní

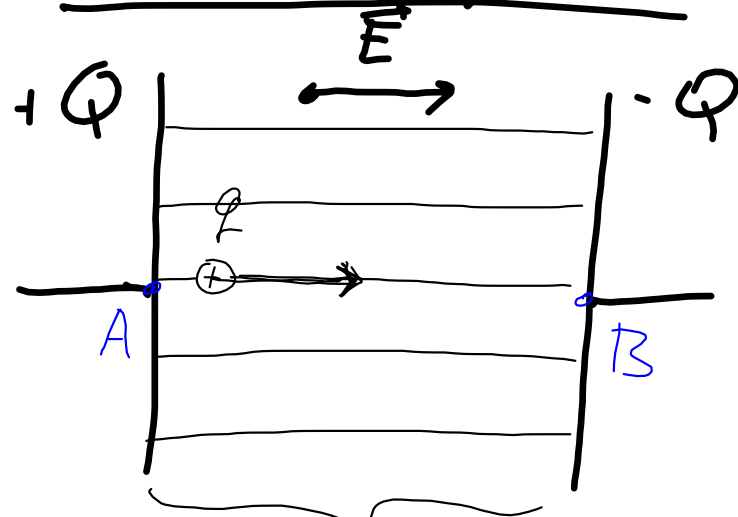


obecně

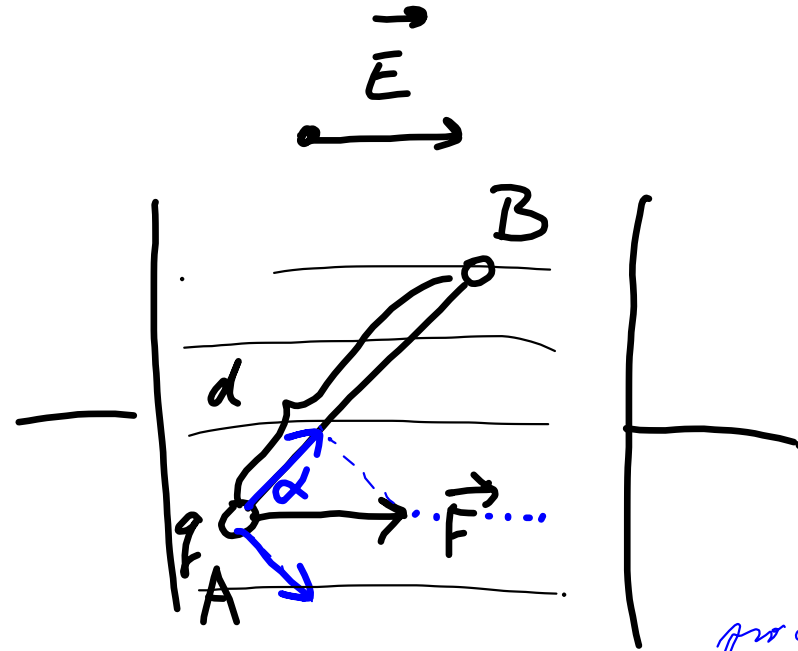




Práca a el. potenci



$$W_{AB} = F \cdot d = q \cdot \underbrace{E \cdot d}_{U_{AB}}$$



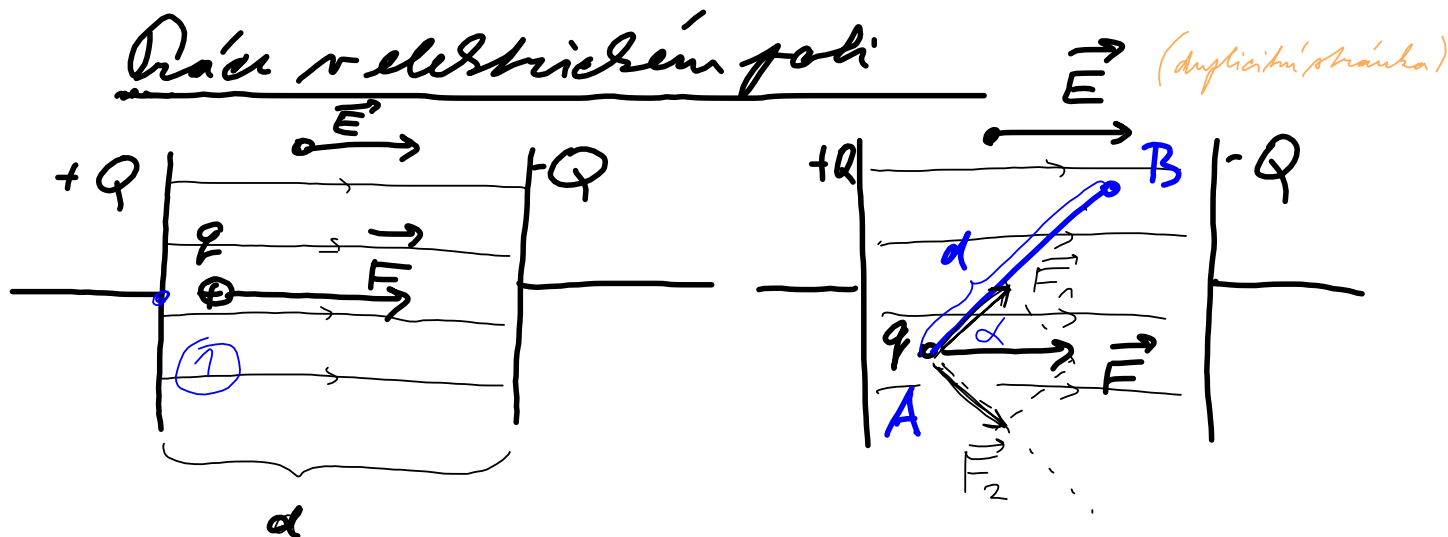
$$W_{AB} = q \cdot E \cdot d \cdot \cos \alpha$$

$\cos \alpha = 1$

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

poten U_{AB} ... el. napětí mezi body A a B

Práce v elektrickém poli



$$W = F \cdot d = q \cdot \underbrace{E \cdot d}_U$$

$$(F = q \cdot E)$$

$$(U = E \cdot d)$$

$$W_{AB} = F_1 \cdot d = q \cdot E \cdot d \cdot \cos \alpha$$

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

U_{AB} je elektrické napětí mezi body A a B.

proč. náboj q má v el. poli v místě ① potenciální energii

Potenciální energie

- el. pole má schopnost konat (na náboji q) práci

$$W_{AB} = q \cdot U_{AB} = E_{PA} - E_{PB}$$

potenciální energie

rozdíl potenciální energie

$$q \cdot U_{AB} = E_{PA} - E_{PB} \quad | \cdot \frac{1}{q}$$

$$U_{AB} = \frac{E_{PA}}{q} - \frac{E_{PB}}{q}$$

$$\varphi_A - \varphi_B$$

potenciál v bodě A potenciál v bodě B
pozn.: najít jeho rozdíl potenciálů

Elektrický potenciál φ

- rozdíl potenciální energie E_p bodového náboje v daném místě pole a bodového náboje:

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

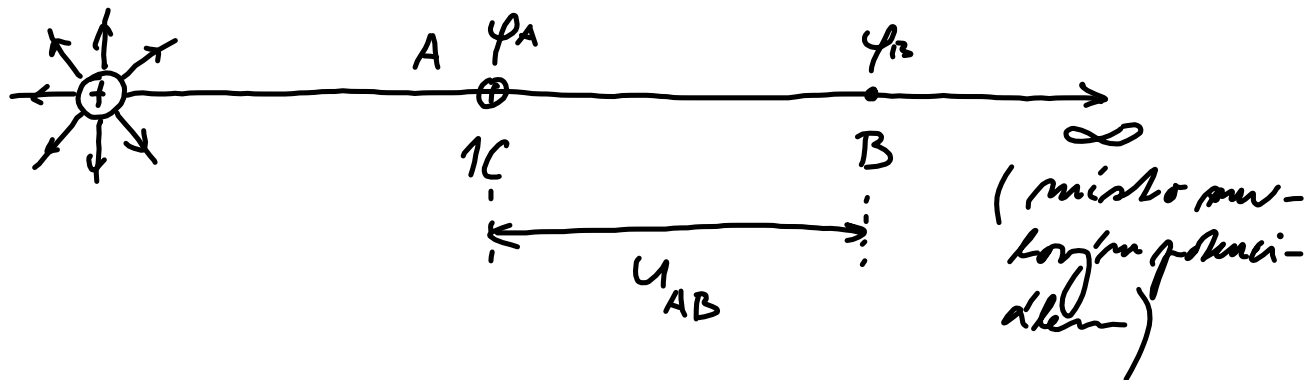
$$q \cdot U_{AB} = E_{PA} - E_{PB} \quad / : q$$

$$\underline{U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B} \quad \dots \text{elektrická napětí}$$

(mezi místy A a B) je rozdíl potenciálů

místo s nulovým potenciálem obvykle spojujeme: s povrchem země

nebo s místem s nekonečnou vzdáleností



DÚ: Spočítajte el. napätí medzi body A, B
 vzdialenosťami 5 a 10 cm od bodového náboja 10 nC.
 $Q = 10 \text{ nC} = 10 \cdot 10^{-9} = 10^{-8} \text{ C}$

№1 DÚ 7/5 2019 ↓
 №2 DÚ 14/5 2019 ↓

dále - ekvipotenc. hladiny



$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r_A} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r_B} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

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

bez odrazení

$$U_{AB} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) = 10^{-8} \cdot 9 \cdot 10^9 \left(\frac{1}{0,05} - \frac{1}{0,1} \right) =$$

$$= 90 \cdot (20 - 10) = \underline{\underline{900 \text{ V}}}$$

$$r_A = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

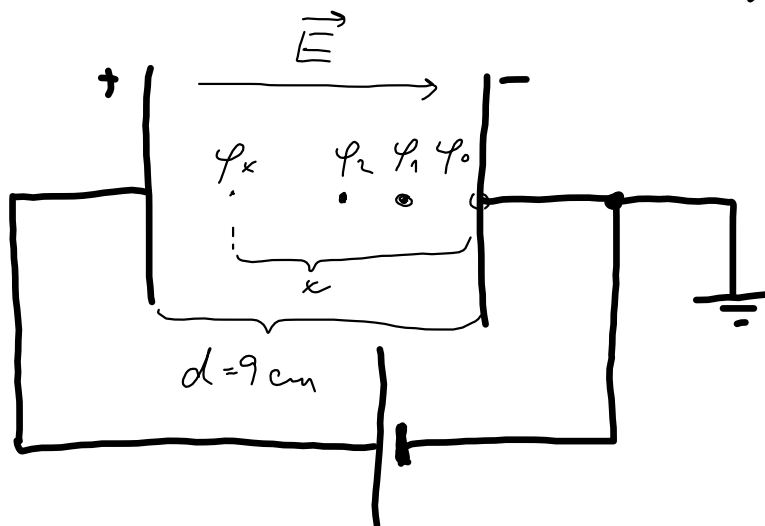
$$r_B = 0,1 \text{ m}$$

$$Q = 10^{-8} \text{ C}$$

$$k = 9 \cdot 10^9$$

Mezi body A a B bude
elektrická napětí přibližně
900 V.

PF: Spočítate el. potenciál ve vzdáhl. 0,1 a 2 cm od směru desky připojené na záporný pól baterie. Klady pól 4,5 V baterie připojíme na druhou desku vzdálenou 9 cm.



$$\varphi_0 = 0$$

$$\varphi_x - \varphi_0 = U_k$$

$$\varphi_x - \varphi_0 = E \cdot x$$

$$0 = E \cdot x$$

$$\varphi_1 = 50 \cdot 0,01 = \underline{0,5V}$$

$$x = 1 \text{ cm}$$

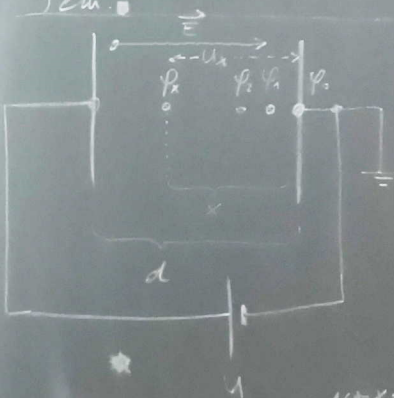
$$x = 2 \text{ cm} \quad \underline{\varphi_2 = 1V}$$

$$U = E \cdot x$$

$$E = \frac{U}{d} = \frac{4,5}{0,09} = 50 \text{ V/m}$$

Pr: $\varphi = ?$ v vzdálk. 0, 1 a 2 cm od neem. desky (slepá póla) Klasič. gól 4,5 V baterie púžijeme na odmeranie vzdálek.

9 cm



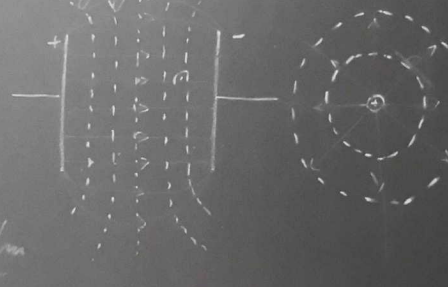
$x_1 = 0,01 \text{ m}$
 $x_2 = 0,02 \text{ m}$
 $d = 9 \text{ cm} = 0,09 \text{ m}$
 $U = 4,5 \text{ V}$

Rozdelenie od desky x
 $x=0 \quad \varphi_0 = 0 \text{ V}$


$$E = \frac{U}{d} = \frac{4,5}{0,09} = 50 \text{ V/m}$$

pr vzdálek x
 $(\varphi_x - \varphi_0 = U_x = E \cdot x)$
 $\varphi_x = E \cdot x$

pr $x=1 \text{ cm} \quad \varphi_1 = E \cdot 0,01 = 50 \cdot 0,01 = 0,5 \text{ V}$
 pr $x=2 \text{ cm} \quad \varphi_2 = 50 \cdot 0,02 = 1 \text{ V}$

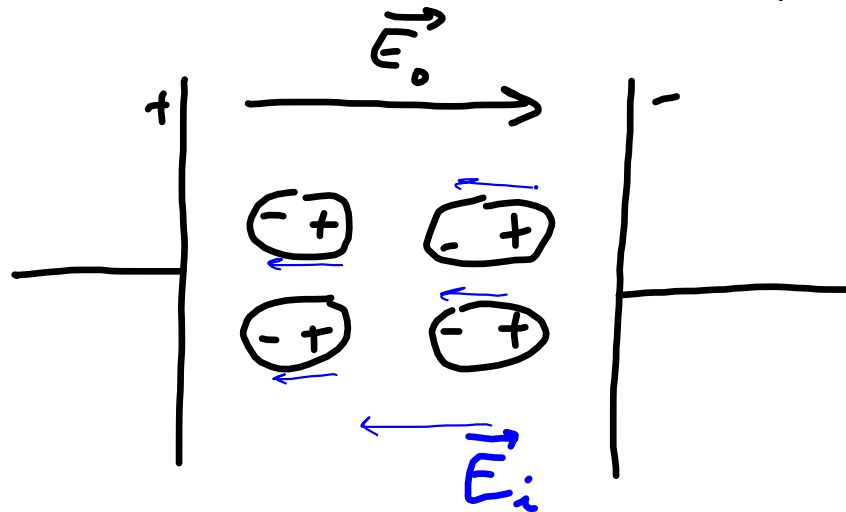
Elektrická bládina
 - plochy, spojitel'ná látka a sklenený prístroj.


Nadice a izolovaná v. d. póla



rodie
 rodie s izoláciou

Isolant (rel. pol.)



E_i ... intenzita indukovaného
el. pole

E_0 ... intenzita el. pole
bez izolantu

- dochádza k polarizácii
dielektrika

vyšš. intenzita

$$E = E_0 - E_i$$

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

Intenzita el. pole kline nad povrchem koule
o poloměru R (nebo ve vzdálenosti R od bodového)
s nábojem Q

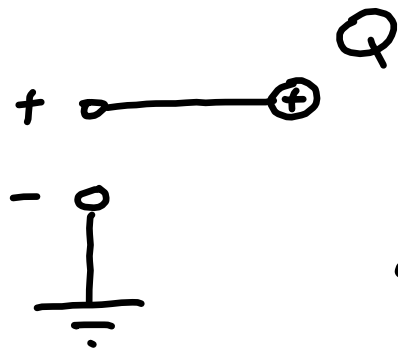
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{|Q|}{R^2} = \frac{|Q|}{S \cdot \epsilon} = \frac{|\sigma|}{\epsilon}$$

σ ... plošná hustota
náboje

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

výšší plošná hustota se vytváří na hranách
a na hrotích (viz učení kromosvodu)

Kapacita a kondenzátor



rodič křída
 rozdělí náboj Q
 a křída potenciál
 φ

$$Q \sim \varphi$$

$$Q = C \cdot \varphi$$

$C = \frac{Q}{\varphi}$... kapacita vodiče (míči kříví)
 jedn. F (farad)

$$1 \text{ F} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ V}}$$

2. sk. 2815 ↓ 2019 6B8
 1. sk. 416 ↓ 2019 6B8

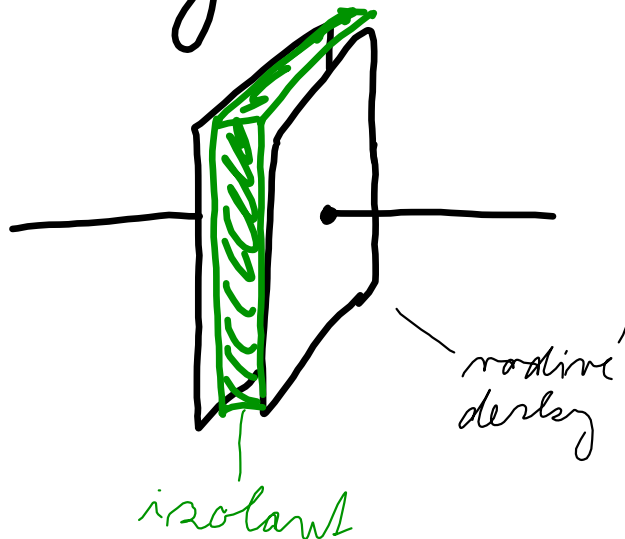
pro kapacitu kulové vodiče vychází:

$$C = 4\pi\epsilon \cdot R \quad (R \dots \text{poloměr koule - kulového povrchu})$$

kondenzátor - dvojice odizolovaných vodičů kapacitofu

značka 

deskový kondenzátor



$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon \cdot S}{d}$$

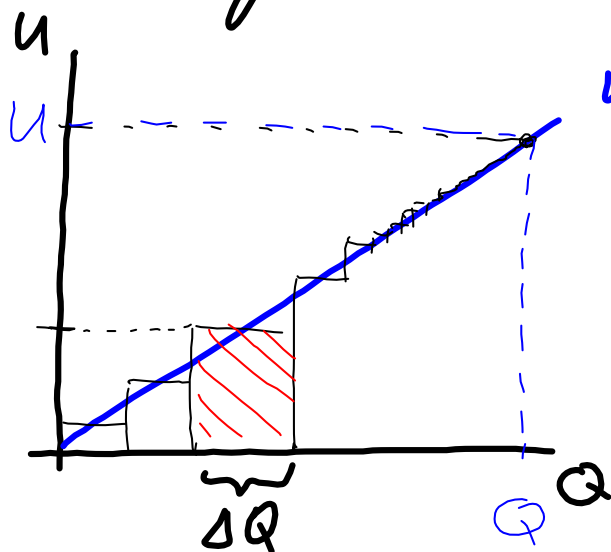
ϵ ... permitivita dielektrika (izolantu)

S ... výměrná plocha desek

d ... vzdálenost desek

Energie nabíječného kondenzátoru

$$\left(C = \frac{Q}{U} \Rightarrow U = \frac{1}{C} \cdot Q \right)$$



$$U = \frac{1}{C} \cdot Q$$

$$\Delta W = U \cdot \Delta Q$$

$$W = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \dots$$

číselní plocha trojúhelníka

$\left(S = \frac{Q \cdot U}{2} \right)$ základna je číselně rovná náboji na kondenzátoru
 výška je číselně rovná napětí

$$W = \frac{Q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U \cdot U}{2} = \frac{1}{2} C U^2$$

$$E_c = W$$

$E_c = \frac{1}{2} C U^2$... energie kondenz. o kapacitě C
 nabíječného na napětí U

Pr: Jakou energii pojme kondenzátor při napětí 4,5 V? Dvouj' kondenzátor má plochu desek 0,1 m², vzdálenost 12 μm a relativní permitivita kondenzátorového papíru je 2,5.

$$U = 4,5 \text{ V}$$

$$S = 0,1 \text{ m}^2$$

$$d = 12 \text{ μm} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$\epsilon_r = 2,5$$

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

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

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d}$$

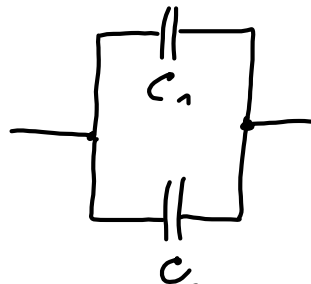
$$E_c = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot S \cdot U^2}{d} = \frac{2,5 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4,5^2}{2 \cdot 12 \cdot 10^{-6}} =$$

$$= 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

$$\underline{\underline{E_c = 1,8 \text{ μJ}}}$$

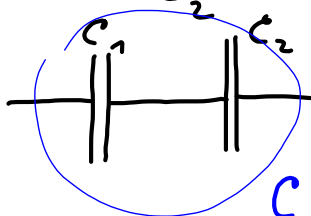
Řazení kondenzátorů

paralelní



$$C = C_1 + C_2$$

řídné



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

Pr: $20 \mu\text{F}$ $30 \mu\text{F}$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{3+2}{60} = \frac{5}{60} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{12} \Rightarrow C = 12 \mu\text{F}$$

2. ř. 11/6 ↓ 2019 6B8
1. ř. 18/6 ↓ 2019 6B8

