



Elektrostatika 1 – FYZ2

2023 FS

Ing. Štěpán Kunc, Ph.D.

stepan.kunc@tul.cz

Elektřina a magnetismus

Oblast fyziky která zkoumá **elektrické a magnetické jevy v prostředí a jejich vzájemnou souvislost**.

klasickou makroskopickou teorií elektřiny a magnetismu je možno popsat pomocí **Maxwellových rovnic a materiálových vlastností prostředí** kde probíhají elektromagnetické procesy.

Elektromagnetická interakce: Jedna ze 4 základních interakcí

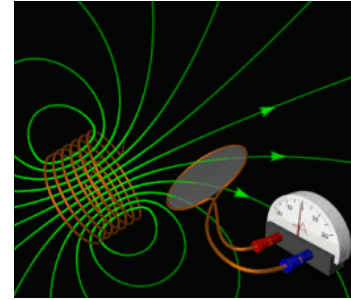
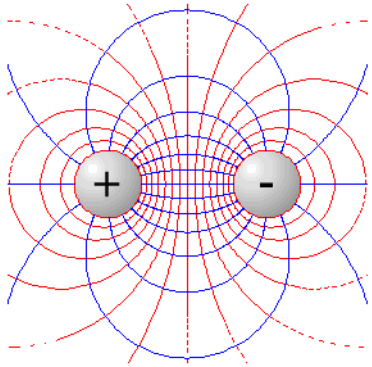
Nastává mezi náboji - nabitými objekty

Přitažlivá i odpudivá

Dalekodosahová

Zprostředkovaná elmag. polem

částice pole - fotony



The Electromagnetic Force in Forming Matter

<p>protons repel</p> <p>electrons repel</p> <p>opposite charges attract</p>	<p>Hydrogen 1 proton 1 electron</p>	<p>Iron</p>
<p>Coulomb's Law Like charges repel, unlike charges attract. Protons repel each other, and the same is true for electrons, but the electromagnetic force attracts electrons to protons.</p>	<p>Electron Capture The electromagnetic force pulls electrons into orbit around positively charged atomic nuclei. The larger the nuclei, the more electrons are pulled in.</p>	<p>Atoms & Molecules The electromagnetic force holds atoms and molecules together. Electrons occupy energy levels around atomic nuclei balancing out positive and negative charges.</p>

<https://www.aldebaran.cz/elmg/kurz.php>

Výborný kurz Elektřina a magnetismu, vytvořený na MIT, Přeložený na ČVUT

Elektrický náboj

Elektrický náboj $Q \longrightarrow$ [C] Jednotkou elektrického náboje je jeden Coulomb (C).

Náboj je vlastnost mikročástic látky, která se projevuje silovými účinky na podobné mikročástice v jejím okolí

Souvisí vždy s hmotou částicí, která vytváří kolem se elektrické pole, jež zprostředkovává silové působení mezi nabitými částicemi na dálku

Existují dva druhy náboje, které v přírodě pozorujeme. Označujeme je jako **kladné a záporné** a držíme se konvence, kterou při svých experimentech zavedl Benjamin Franklin. Při tření skleněné tyče hedvábím vznikl na tyči náboj, který označil jako kladný, naopak náboj, který vznikl na pečetním vosku při tření kožešinou, označil jako záporný

Souhlasné náboje se navzájem odpuzují, opačné náboje se naopak přitahují.

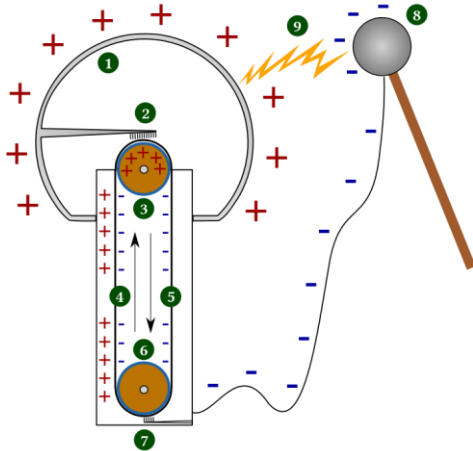
Silové účinky mezi částicemi závisí na jejich vzájemném pohybu:

Pole elektrostatické - náboj v klidu - elektrostatické síly

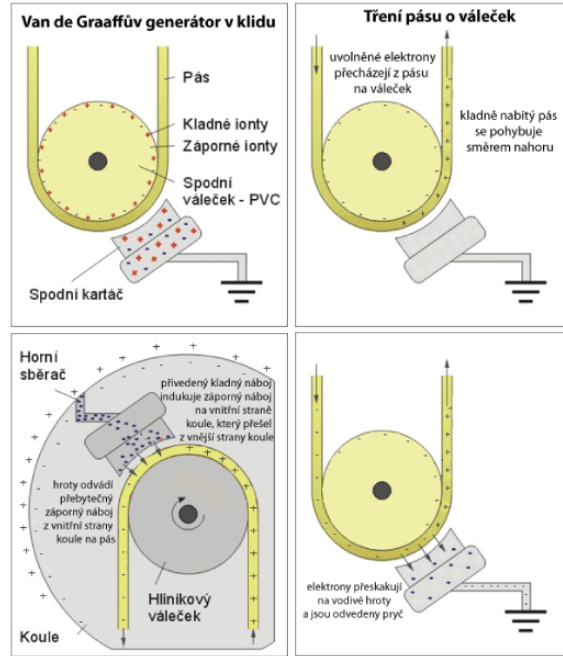
Pole elektrodynamické - náboj v pohybu – elektrické a magnetické síly

Van der Graaff generator

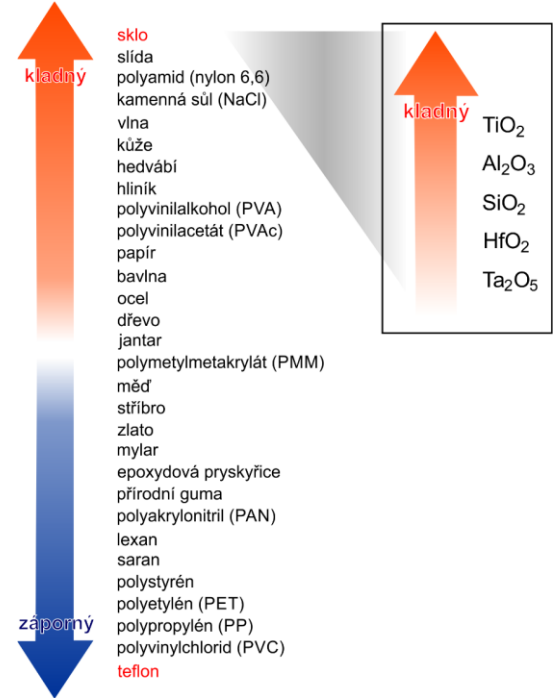
Van de Graaff Generator



1. hollow metal sphere
2. upper electrode
3. upper roller (for example an acrylic glass)
4. side of the belt with positive charges
5. opposite side of belt, with negative charges
6. lower roller (metal)
7. lower electrode (ground)
8. spherical device with negative charges
9. spark produced by the difference of potentials



Triboelektrická řada



https://www.youtube.com/watch?v=1jP_D0S2CtY

<https://www.youtube.com/watch?v=-bYJ4-XyQWU>

<https://www.limex-technik.cz/blog/154-triboelektricka-rada-a-priciny-vzniku-statickeho-naboje>

Elektrostatické pole

Zákon zachování náboje : Náboj je nevytvořitelný a nezničitelný

$$\sum Q = konst.$$

Zákon superpozice: při současném působení několika nábojů je účinek každého náboje týž, jako by náboj působil sám

Zákon invariantnosti náboje: náboj je při všech transformacích vztažné soustavy invariantní
Velikost elektrického náboje se při pohybu nemění.

Zákon kvantování náboje: všechny náboje – kladné i záporné – jsou celistvým násobkem elementárního (nedělitelného) náboje ($e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Nejmenší jednotkou „volného“ náboje, který se vyskytuje v přírodě, je náboj elektronu a nebo protonu, který má velikost

Elektrostatické pole

Náboj jakéhokoli tělesa je možné vyjádřit v násobcích náboje e . **Elektron nese zápornou hodnotu náboje ($-e$), zatímco proton je nositelem kladného náboje ($+e$).**

V izolované soustavě zůstává celkové množství náboje zachováno, z čehož plyne, zákon zachování náboje.

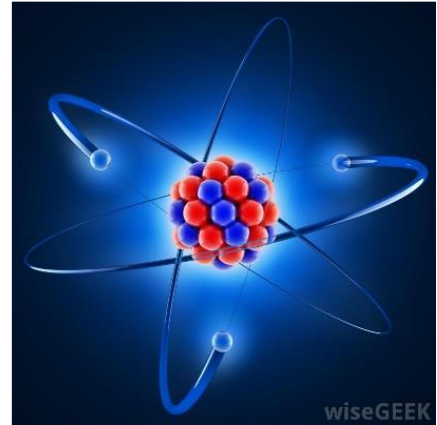
Vesmír je elektricky neutrální

Elektrický náboj: Atomy

Proton: $m_p = 1,67265 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ $Q = e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Neutron: $m_n = 1,67495 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Elektron: $m_e = 9,10953 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ $Q = -e = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$



V 1 kg elektricky neutrální látky je obsaženo přibližně $5 \cdot 10^7 \text{ C}$ kladného i záporného náboje

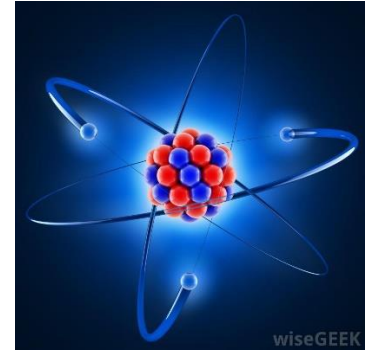
Elektrostatické pole

Elektrický náboj: Atomy

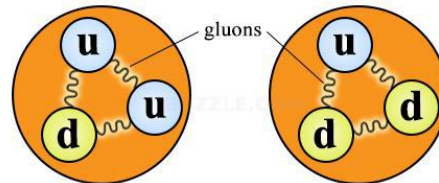
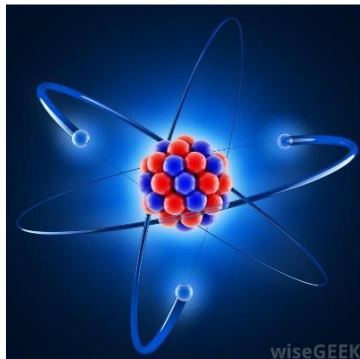
Proton: $m_p = 1,67265 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ $Q = e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Neutron: $m_n = 1,67495 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Elektron: $m_e = 9,10953 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ $Q = -e = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$



Kvarky



Proton

Charge on the proton
 $= 2(2/3) + (-1/3)$
 $= 1$

© Buzzle.com

Neutron

Charge on a neutron
 $= 2/3 + (-1/3 - 1/3)$
 $= 0$

	Flavor	Mass (GeV/c ²)	Electric Charge (e)
u	up	0.004	+2/3
d	down	0.008	-1/3
c	charm	1.5	+2/3
s	strange	0.15	-1/3
t	top	176	+2/3
b	bottom	4.7	-1/3

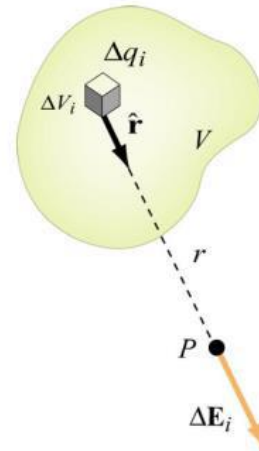
Elektrostatické pole

V makroskopických rozměrech nemusíme přihlížet k mikrostruktuře látky a můžeme předpokládat, že náboj je rozložen spojitě s hustotou konečné velikosti, která se spojitě mění v prostoru

Objemová hustota náboje $\rho(\vec{r}) = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta V} = \frac{dq}{dV}$

Plošná hustota náboje $\sigma(\vec{r}) = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta S} = \frac{dq}{dS}$

Lineární hustota náboje $\tau(\vec{r}) = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta l} = \frac{dq}{dl}$



Elektromagnetické pole, aktivní a pasivní úloha elektrického náboje.

Elektrický náboj působí silou na náboje v okolí –vytváří silové, pole (vektorové) a potenciální (skalární) pole – **aktivní role náboje**

Pokud se náboj pohybuje (teče proud) vytváří kolem sebe i magnetické pole

Protože pohyb je vždy relativní, záleží na soustavě souřadnic, vůči které popisujeme pohyb –zda uvidíme elektrické pole, magnetické pole, nebo oboje – popis pomoci speciální teorie relativity

Elektrické pole působí na náboj –**pasivní role náboje**

Magnetické pole působí pouze na pohybující se náboj.

Působení není okamžité, informace o změně polohy náboje se ve vakuu šíří konečnou rychlostí světla (elektromagnetické vlny) ve vakuu

[Moving Charge Electromagnetic Wave Visualization \(iwant2study.org\)](http://iwant2study.org)

Elektrostatické pole

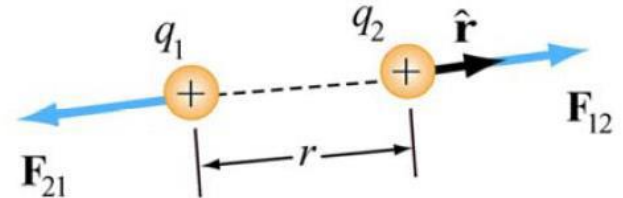
Coulombův zákon: Velikost elektrické síly, kterou na sebe působí dvě tělesa s elektrickým nábojem, je přímo úměrná velikosti nábojů q_1 , q_2 a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti r .

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}$$

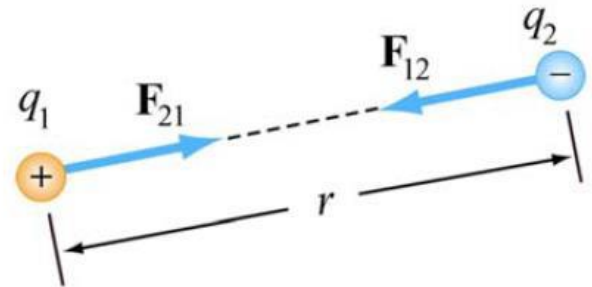
$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,9875 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_0 & - \text{permitivita vakua} \\ \epsilon_0 & = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ N}^{-1}\text{m}^{-2}\text{C}^2 \\ \epsilon_0 & = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \end{aligned}$$

Odpudivá síla



Přitažlivá síla



Elektrostatické pole

Coulombův zákon

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{r}^0$$

- Přitažlivá nebo odpudivá
- Klesá s faktorem $1/r^2$
- Velmi silné působení
- Důležitá na malých měřítcích
- Neumožňuje shlukovat náboje
Stejného znaménka a tak
vytvářet silné působení

Newtonův zákon

$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \vec{r}^0$$

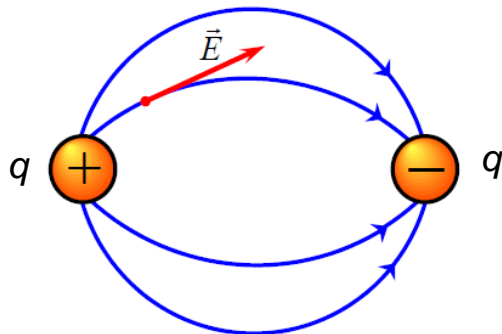
- Vždy Přitažlivá
- Klesá s faktorem $1/r^2$
- Velmi slabé působení
- Důležitá ve velkých měřítcích
- Umožňuje shlukovat velkou hmotu

Elektrostatické pole

Intenzita elektrického pole

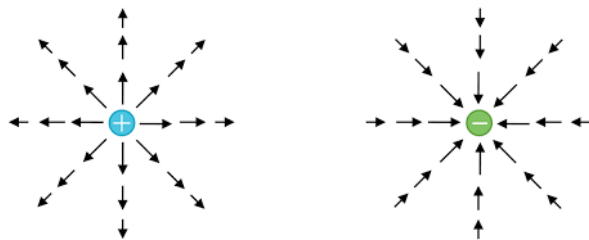
Elektrostatické silové pole :

vektorové pole – charakterizované intenzitou pole (intenzitou síly)



Pro bodový náboj q

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{r}^0$$



Coulombův zákon

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{r}^0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^3} \vec{r}$$

Intenzita elektrického pole

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad [\text{V/m}]$$

Intenzita elektrického pole je síla, působící na kladný náboj 1C

Siločára:

Tečna v daném bodě má směr vektoru intenzity pole

Siločáry se neprotínají

Znakují velikost intenzity pole

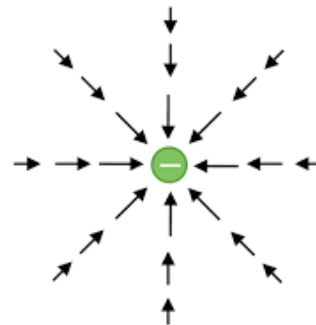
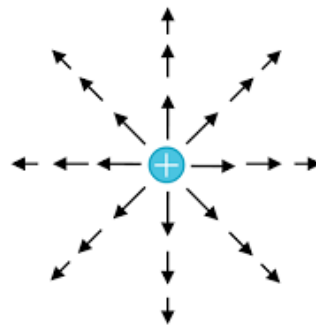
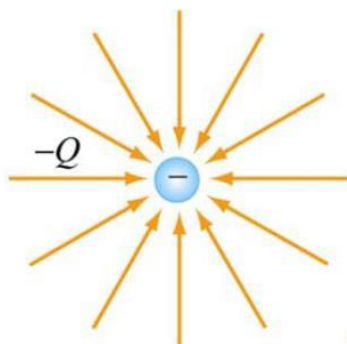
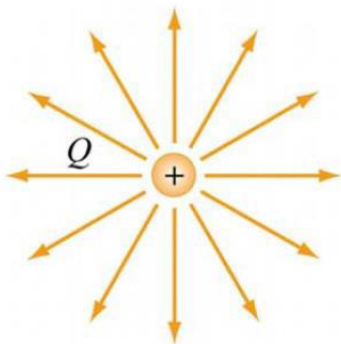
Z kladného do záporného náboje

Elektrostatické pole bodového náboje

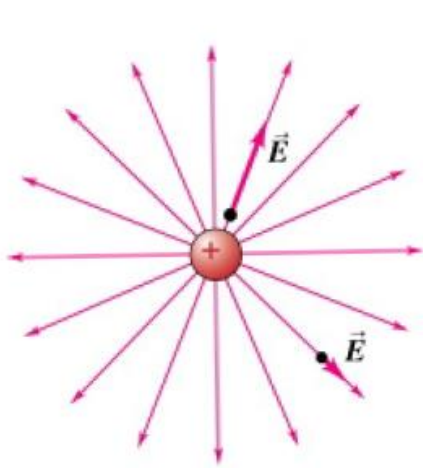
Siločáry silového pole jsou myšlené čáry, které představují směr silového působení v různých bodech prostoru. Siločára je taková křivka, že je k ní v každém jejím bodě vektor intenzity daného pole tečný. Siločára je orientovaná křivka, a to tak, že má stejnou orientaci se směrem intenzity daného pole.

Pro bodový náboj q

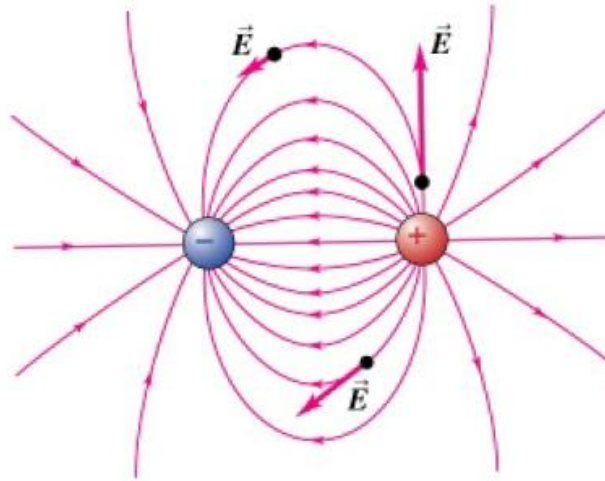
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{r}^0$$



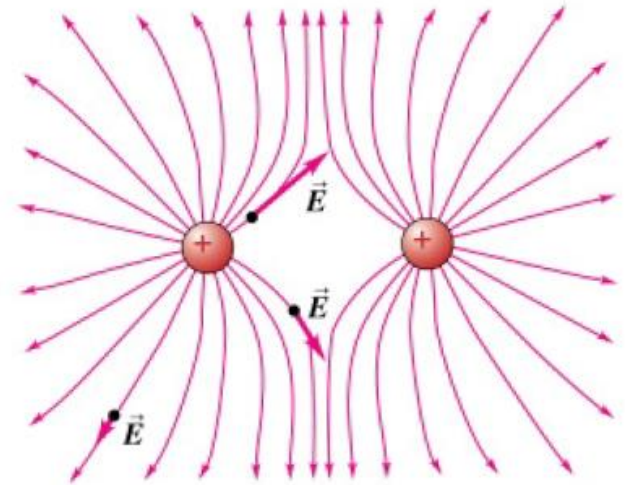
Elektrostatické pole - příklady



Osamocný náboj



Elektrický dipól

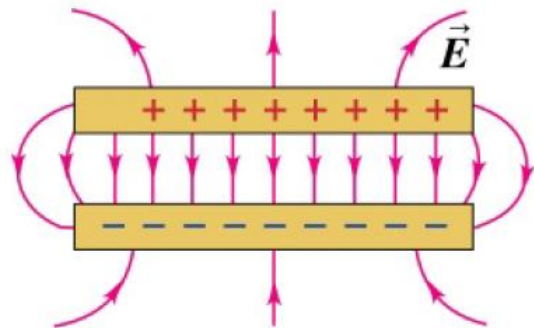


Souhlasné náboje

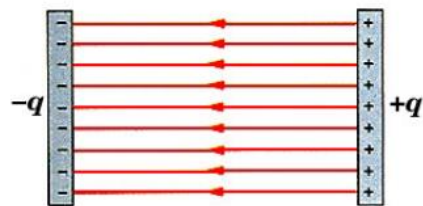
Elektrostatické pole

Homogenní elektrické pole

$$E(\vec{r}) = \textit{konst.}$$

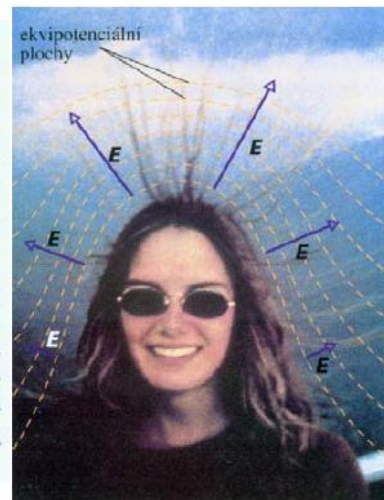
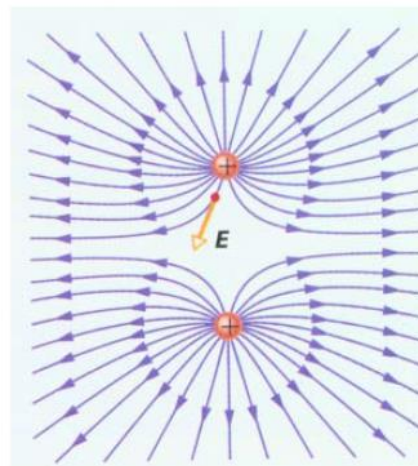


Deskový kondenzátor



Nehomogenní elektrické pole

$$E(\vec{r}) \neq \textit{konst.}$$



Elektrostatické pole - využití

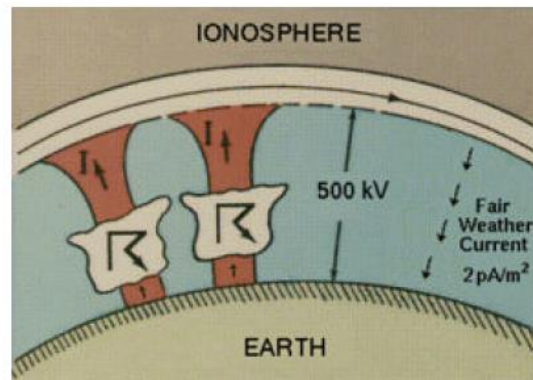
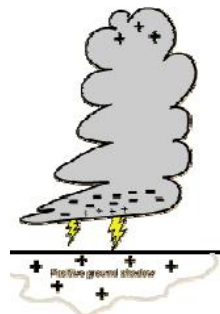
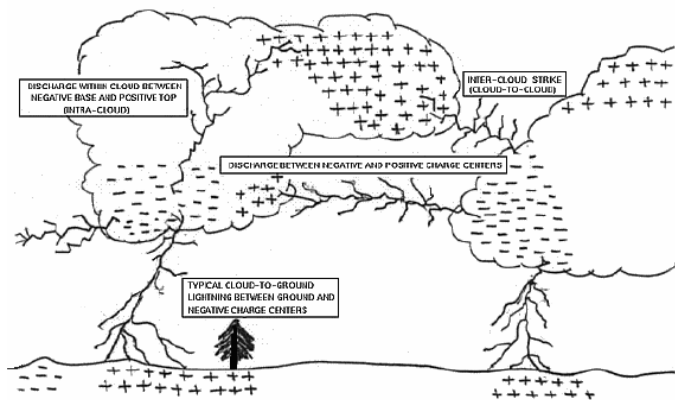
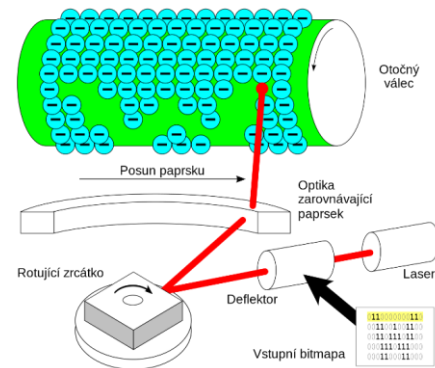
Laserová tiskárna – elektrostatické nanášení toneru

Inkoustová tiskárna – elektrostatický princip nanášení toneru

Odlučovače popílku

Čističe vzduchu

Blesk – průraz vzduchu $E > 3 \cdot 10^6$ V/m



Elektrostatické pole – více nábojů

Pole bodových nábojů

Podle zákona superpozice

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \vec{r}_i^0 \quad \Rightarrow \quad \vec{F} = q\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

