

ELEKTRICKÝ NÁBOJ

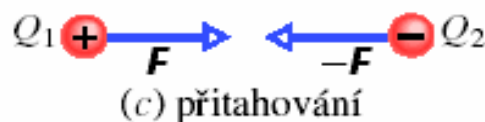
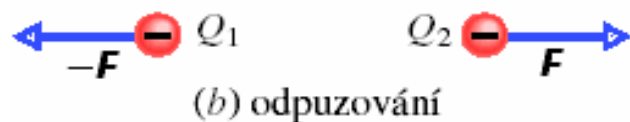
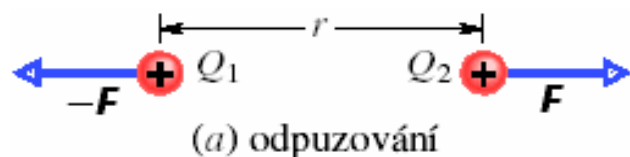
COULOMBŮV ZÁKON

INTENZITA ELEKTRICKÉHO POLE

ELEKTRICKÝ NÁBOJ

Elektrický náboj – základní vlastnost některých elementárních částic (první elektrické jevy pozorovány již ve starověku – jantar (řecky elektrón) třený vlněnou látkou přitahoval drobné předměty).

Experimentálně zjištěno: **existují 2 druhy náboje** + – (konvence)



silové působení: + + odpuzují se

- - odpuzují se

+ - přitahují se

Elektrický náboj má vždy svůj nosič – nabitě těleso,
elementární částice proton (p) +, elektron (e) – ,
existence samotných elektrických nábojů nebyla prokázána.

Elektrický náboj je základní fyzikální veličina.

Jednotka náboje coulomb (C) však není jednotkou základní,
ale odvozenou z jednotky el. proudu což je ampér(A):

*1 coulomb je množství náboje,
které projde průřezem vodiče za 1 sekundu, protéká-li jím proud 1 ampér.*

Poznámka

Kvazineutralita vesmíru: V dostatečně velkých objemech látky se celkový počet kladných a záporných nábojů vyrovnává – látky se jeví jako elektricky neutrální.

Základní vlastnosti elektrických nábojů popisují:

1. Zákon zachování elektrického náboje

Hodnota celkového elektrického náboje v elektricky izolované soustavě je rovna algebraickému součtu všech nábojů v soustavě a je neměnná.

Náboje se třením nevytvářejí, jen přemísťují.

2. Zákon kvantování elektrického náboje

Libovolný náboj: $Q = n \times e$, $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C, kde $[Q] = \text{C}$ (coulomb)
 e - **elementární náboj**: náboj 1 elektronu ($-e$) nebo 1 protonu ($+e$),
 n – **přírozené číslo**.

3. Zákon invariantnosti elektrického náboje

Hodnota elektrického náboje se při pohybu nemění. Velikost náboje je nezávislá (invariantní) na rychlosti, jíž se pohybuje nosič náboje.

Tělesa jsou většinou **elektricky neutrální**

(obsahují stejné množství kladného a záporného náboje).

Elektrické náboje v látkách:

- **vodiče** (část nábojů se pohybuje značně volně: kov, pitná voda, živý organismus)
- **nevodiče** (volně se nepohybuje prakticky žádný náboj: sklo, ebonit, destilovaná voda, dielektrika)
- **polovodiče** (mezi vodiči a izolátory – liší se schopností uvolnit elektrony z atomů: křemík, germanium)
- **supravodiče** (nulový odpor).

Vlastnosti vodičů a nevodičů

jsou dány strukturou látek – atomy, atom = jádro + elektronový obal
– elektrony se mohou z atomu uvolnit a volně se pohybovat).

Ze elektrování těles – přenos elektronů z jednoho tělesa na druhé

Dotyk nabitých těles \Rightarrow vyrovnání náboje – **neutralizace**

COULOMBŮV ZÁKON

Základním projevem elektrických nábojů je silové působení.

Bodový náboj: rozměry nabitého tělesa jsou zanedbatelné vzhledem k jejich vzdálenostem (analogie **hmotný bod**).

V letech 1784 -1785 Coulomb na základě měření dospěl k závěru:

Velikost síly, kterou na sebe působí dva bodové náboje, je přímo úměrná součinu obou nábojů a nepřímo úměrná čtverci jejich vzdálenosti.

$$F_{21} = F_{12} = k \frac{|Q_1| |Q_2|}{r^2}$$

Mají-li oba náboje **stejná znaménka**, vzniklá **síla je odpudivá**.
Jestliže oba náboje mají **opačná znaménka**, je **přitažlivá**.

Analogie – Newtonův gravitační zákon
(gravitační síla je však **vždy přitažlivá**).

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

$$F_{21} = F_{12} = k \frac{|Q_1| |Q_2|}{r^2}$$

Coulombův zákon z předešlé stránky

Konstanta

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2},$$

ε je **permitivita prostředí**. Lze ji vyjádřit vztahem

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0,$$

kde

$$\varepsilon_0 \doteq 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

je **permitivita vakua**, a ε_r je **relativní permitivita**.

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty relativní permitivity pro různá prostředí

vakuum	1
vzduch	1,000 54
slída	5,4
olej silikonový	2,7
voda (20 °C)	80,4
plexisklo	3,7
parafin	1,7-2,3
papír kondenzátorový	3,5

Vektorové vyjádření Coulombova zákona

Vektory \vec{F} a \vec{r} leží ve stejné přímce

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \cdot \vec{r} = \left\langle \begin{aligned} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^3} \cdot \vec{r} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \cdot \vec{r}^0 \end{aligned} \right.$$

Platí princip superpozice: **silové účinky všech nábojů se vektorově sčítají.**

Mějme n nabitých částic – síla působící na libovolnou z nich
je součtem všech sil působících od ostatních částic.

Např. síla působící na částici **1** je $\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14} + \dots + \vec{F}_{1n} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{1i}$

Sečítat můžeme samozřejmě i síly různého původu,
např. síly elektrické ,gravitační, síly v magnetickém poli aj.

Příklad

Vzdálenost mezi elektronem a protonem v atomu vodíku je přibližně $0,53 \cdot 10^{-10}$ m. Jaká je velikost a) elektrostatické síly a b) gravitační síly působící mezi těmito dvěma částicemi?

Řešení:

Známy jsou tyto veličiny: $R = 0,53 \cdot 10^{-10}$ m , $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C , gravitační konstanta $\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11}$ N.m².kg⁻² , hmotnost elektr. a protonu $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27}$ kg.

a) Z Coulombova zákona vychází pro velikost elektrostatické síly hodnota

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{R^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot (5,3 \cdot 10^{-11})^{-2} \text{ N} = \underline{\underline{8,1 \cdot 10^{-8} \text{ N}}}$$

b) Z Newtonova gravitačního zákona je velikost gravitační síly

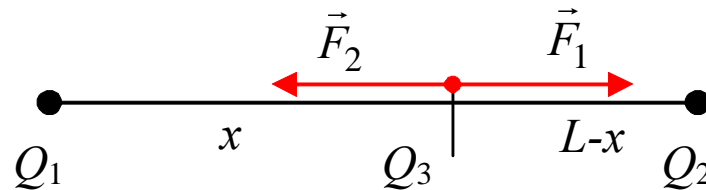
$$F_g = \kappa \frac{m_e m_p}{R^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,7 \cdot 10^{-27} \cdot (5,3 \cdot 10^{-11})^{-2} \text{ N} = \underline{\underline{3,7 \cdot 10^{-47} \text{ N}}}$$

Z uvedeného příkladu je vidět, že v tomto případě je velikost elektrostatické síly asi $2 \cdot 10^{39}$ krát větší než velikost síly gravitační.

Příklad

Ve vzdálenosti L od sebe se nacházejí dva pevně umístěné kladné bodové náboje Q_1 a Q_2 . Do kterého bodu na spojnici obou nábojů musíme umístit třetí bodový náboj Q_3 , aby výsledná elektrická síla na něj působící byla nulová?

Řešení:



Na náboj Q_3 (na obrázku je kladný) působí náboj Q_1 silou \vec{F}_1 a zároveň náboj Q_2 silou \vec{F}_2 . Má-li být výsledná síla nulová, musí mít tyto síly stejnou velikost: $F_1 = F_2$. Platí:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_3}{x^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_2 Q_3}{(L-x)^2}, \quad \text{odkud} \quad Q_1(L-x)^2 = Q_2 x^2.$$

Protože $L - x > 0$, můžeme rovnici odmocnit, takže obdržíme

$$\sqrt{Q_1}(L-x) = \sqrt{Q_2}x \Rightarrow x = L \frac{\sqrt{Q_1}}{\sqrt{Q_1} + \sqrt{Q_2}}$$

Náboj Q_3 musíme jej umístit do vzdálenosti x od náboje Q_1 . Na znaménku Q_3 nezáleží.

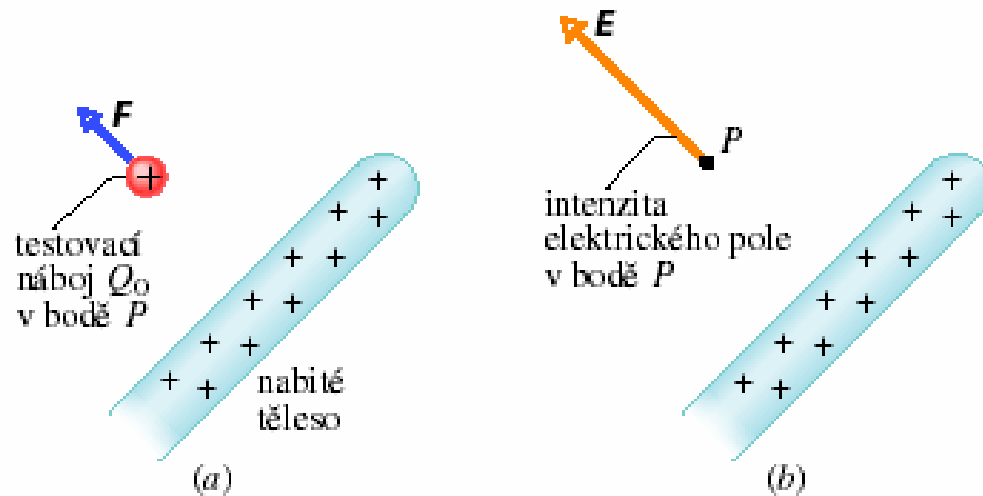
INTENZITA ELEKTRICKÉHO POLE

Vzájemné působení nábojů na dálku – prostřednictvím **elektrického pole**.

Důkaz existence pole – pomocí malého **kladného testovacího náboje** Q_0 .

Působí-li na něj **síla**, existuje v tomto místě elektrické pole.

Podílem této síly a náboje Q_0 je definována **intenzita elektrického pole**:



$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \vec{r}^0$$

Jednotka: $[\vec{E}] = \text{N} \cdot \text{C}^{-1}$

Jiný používaný název pro **intenzitu elektrického pole** je **elektrická intenzita**.

Je-li pole vybuzeáno více náboji,

určíme výslednou intenzitu pomocí **principu superpozice**.

Elektrické pole je **prostředníkem interakce** mezi nabitými tělesy.

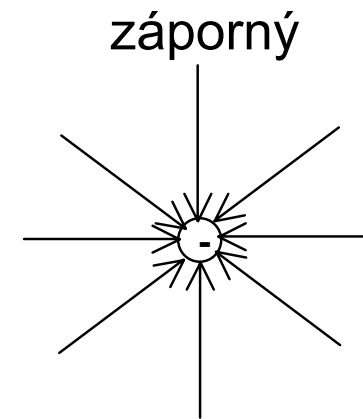
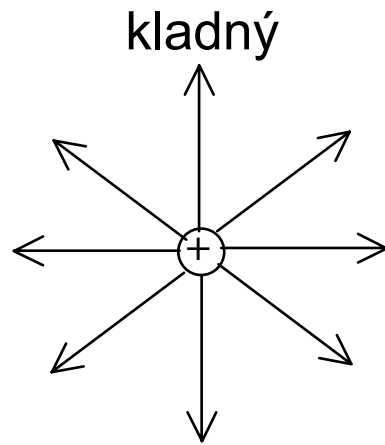
Změny v elektrickém poli způsobené pohybem nábojů se neprojeví okamžitě v celém prostoru, **šíří se rychlostí c** (rychlost šíření světla).

Grafické znázornění elektrického pole pomocí **elektrických siločar**.

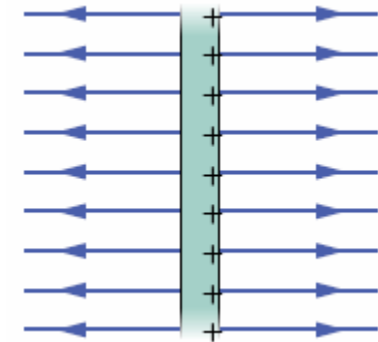
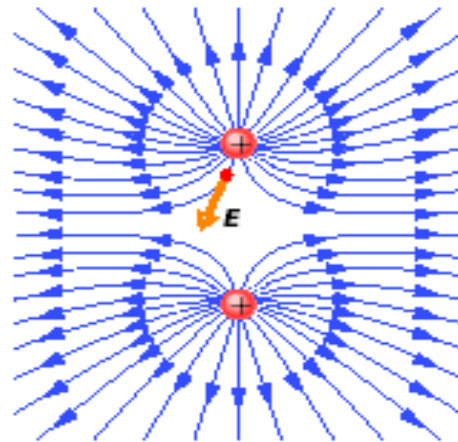
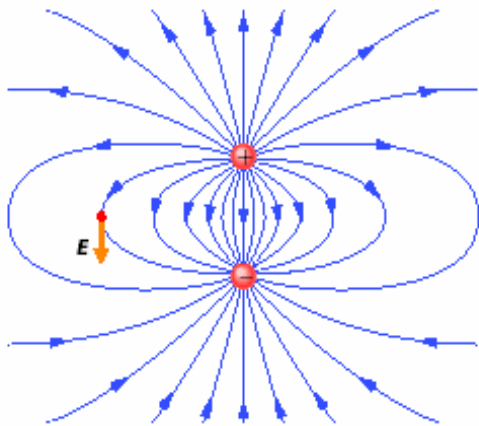
Elektrické siločáry jsou myšlené orientované křivky:

- ⇒ Každým místem (bodem) prostoru (mimo vlastní bodový náboj) prochází jediná siločára.
- ⇒ Orientovaná tečna každého bodu siločáry **je určena** směrem intenzity elektrického pole.
- ⇒ Siločáry vycházejí z kladných nábojů a vstupují do nábojů záporných.
- ⇒ Siločáry mohou také začínat a končit v nekonečnu.
- ⇒ Hustota siločar je úměrná velikosti intenzity elektrického pole \vec{E} .

Bodový náboj



Elektrický dipól 2 stejně velké bodové náboje stejného znaménka Homogenní pole



2 stejně velké bodové náboje
opačného znaménka

Dvě úlohy při studiu elektrického pole:

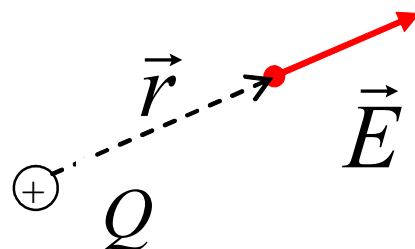
- Určit intenzitu pole vybuzeného daným rozložením nábojů
- Určit sílu, kterou působí dané pole na náboj umístěný v poli

Ad a)

Elektrické pole bodového náboje

skalárně

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q|}{r^2}$$



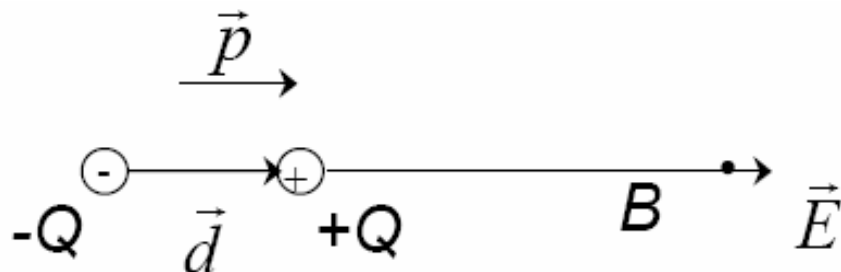
vektorově

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \vec{r}^0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{|\vec{r}|^3} \vec{r}$$

Pro soustavu bodových nábojů platí princip superpozice

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i$$

Elektrické pole dipólu



Elektrický dipól je soustava dvou stejně velkých bodových nábojů opačného znaménka, tj. $Q_1 = -Q$, $Q_2 = Q$.

Přímka procházející oběma náboji se nazývá **osa dipólu**.

Elektrický dipólový moment \vec{p} je součin kladného náboje dipólu a polohového vektoru \vec{d} kladného náboje vzhledem k náboji zápornému:

$$\vec{p} = Q\vec{d}$$

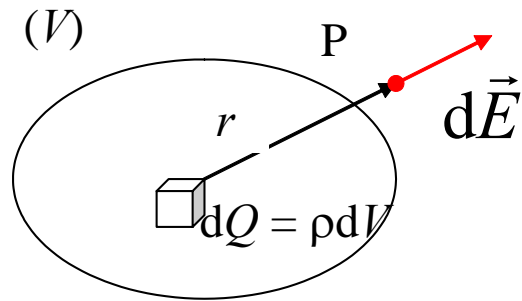
Na ose dipólu má intenzita elektrického pole velikost:

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3}$$

zde je r vzdálenost bodu B od středu dipólu.

Intenzita el. pole dipólu klesá se vzdáleností rychleji, než intenzita el. pole bodového náboje $E \sim \frac{1}{r^3}$.

Elektrické pole spojitě rozloženého náboje (nabitě těleso)



- těleso rozdělíme na elementární objemy dV
- každé dV obsahuje bodový náboj $dQ = \rho dV$ (ρ je objemová hustota náboje)
- dQ budí v bodě P intenzitu $d\vec{E}$
- platí princip superpozice pro spojitě prostředí

$$\sum_i \rightarrow \int_{(V)}$$

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

$$\vec{E} = \int_{(V)} d\vec{E}$$

POZOR – jedná se o sčítání vektorů. Nutno rozložit do složek.
Např. v kartézských souřadnicích:

$$E_x = \int_{(V)} dE_x \quad E_y = \int_{(V)} dE_y \quad E_z = \int_{(V)} dE_z$$

Různé typy rozložení náboje

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

Náboj v objemu → (objemová) hustota náboje
Integrace přes celý objem

$$dQ = \rho dV$$

Náboj na ploše → plošná hustota náboje
Integrace přes celou plochu

$$dQ = \sigma dS$$

Náboj na vlákně → lineární hustota náboje
Integrace přes celou délku vlákna

$$dQ = \tau dl$$

Ad b) Bodový náboj v elektrickém poli

Nabitá částice se ocitne v elektrostatickém poli – působí na ni síla

$$\vec{F} = Q\vec{E}$$

Q – náboj (včetně znaménka)

\vec{E} – intenzita **vnějšího el. pole** (nabitá částice není ovlivněna vlastním el. polem)

Síla má **směr intenzity** ($\vec{F} \uparrow\uparrow \vec{E}$), jestliže náboj částice je **kladný**.
Je-li náboj **záporný**, má **směr opačný** ($\vec{F} \uparrow\downarrow \vec{E}$).

Pro výpočet pohybu bodového náboje použijeme tedy pohybovou rovnici:

$$m\vec{a} = \vec{F} = Q\vec{E}$$

Působí-li na částici více sil, musíme tyto síly sečíst (**vektorově !!**)

Sečítat můžeme samozřejmě i síly různého původu,

např. síly elektrické a gravitační.

Příklad

Kulička o hmotnosti 10 g je elektricky nabitá nábojem $\frac{5}{3} \cdot 10^{-9}$ C. S jak velkým zrychlením se bude tato kulička pohybovat v homogenním elektrickém poli, jehož intenzita má velikost $300 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$?

Řešení:

Síla, která působí na kuličku v homogenním elektrickém poli, má velikost $F = EQ$

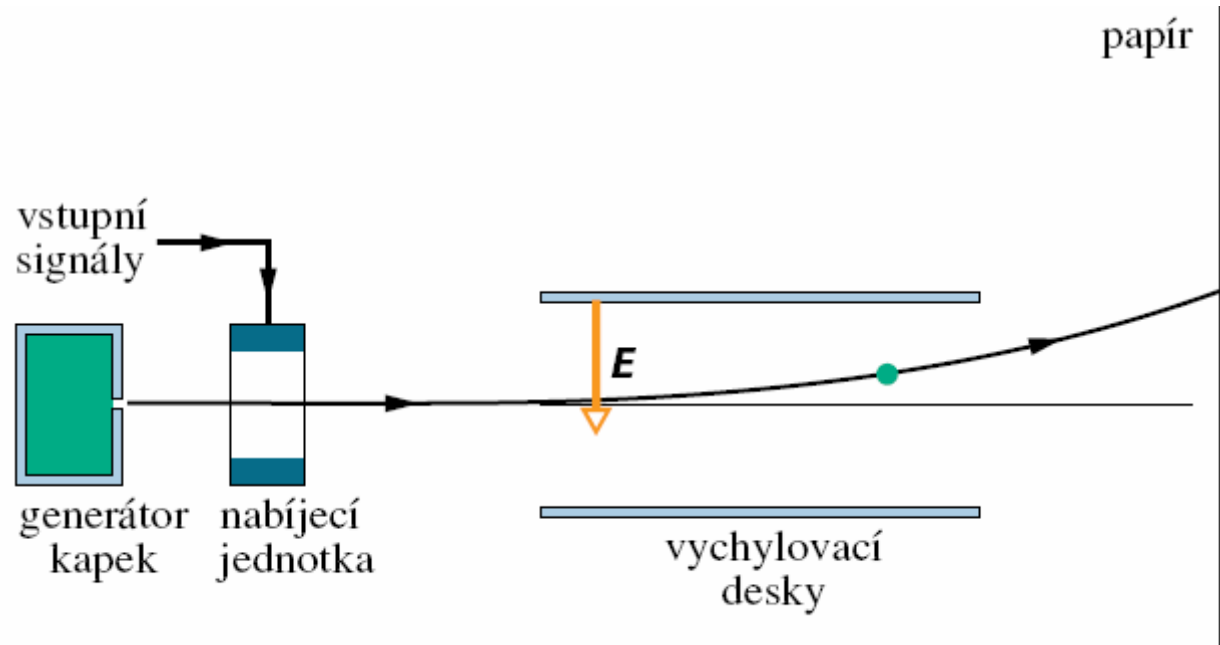
Tuto sílu můžeme vyjádřit z Newtonova pohybového zákona $F = ma$.

Porovnáním obou vztahů dostaneme $ma = EQ \Rightarrow a = \frac{EQ}{m}$

Po dosazení číselných hodnot obdržíme $a = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot \frac{5}{3} \cdot 10^{-9}}{10 \cdot 10^{-3}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Zrychlení kuličky v elektrickém poli je $5 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

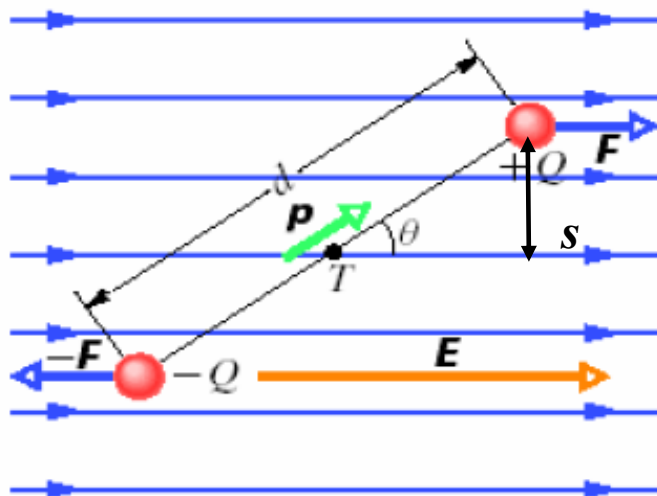
Základní princip inkoustové tiskárny



Vstupním signálem z počítače určujeme náboj (velikost i polaritu) předávaný v nabíjecí jednotce každé kapce.

Určujeme tím polohu na papíře, kam dopadne. K vytvoření jednoho znaku je potřeba asi 100 drobných kapek.

DIPÓL VE VNĚJŠÍM HOMOGENNÍM POLI



Na oba póly dipólu působí síly stejně velké ale opačného směru, takže výsledná síla je nulová. **Nenastane translační pohyb.**

Síly však tvoří **dvojici sil**, která působí na dipól otáčivými momenty sil (viz mech TT) a **natačí osu dipólu do směru vnějšího elektrického pole.**

$$M = 2.Fs = 2.F \underbrace{\frac{d}{2} \sin \theta}_s = \underbrace{F}_{QE} d \sin \theta = QEd \sin \theta = \underbrace{Qd}_p E \sin \theta = \underbrace{pE \sin \theta}$$



$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$$

\vec{M} má směr od nás.

Je-li $\vec{E} \uparrow\uparrow \vec{p}$, je dipól ve stabilní rovnovážné poloze,
pro $\vec{E} \uparrow\downarrow \vec{p}$ je jeho poloha labilní.