



# Elektrické pole.

**Přednášející:**

**RNDr. František Adamec, CSc.**

**Ústav fyziky a biofyziky JČU v Českých Budějovicích**

**Na základě učebnic:**

**Halliday, Resnick**

**Fundamentals of Physics 8<sup>th</sup> Edition, Wiley 2005**

**Feynman, Leighton, Snads**

**Feynmanovy přednášky z fyziky**

**Fragment 2000**

## Elektrický náboj.

Elektrický náboj je jedna z vlastností hmoty, projevující se navenek vzájemným silovým působením mezi jejími nositeli. Existují dvě formy této vlastnosti, historicky označované jako **kladná (+) a záporná forma (-)**.

Elektrický náboj je **kvantován**, to znamená, že existuje jisté nejmenší množství náboje, které nazýváme **elementární náboj**, velikost tohoto elementárního náboje je  $1,602\ 176\ 487 \times 10^{-19}\ \text{C}$ . Náboj větší než je elementární je pak jeho celočíselným násobkem.

Náboj **elektronu** je  $e = -1,602\ 176\ 487 \times 10^{-19}\ \text{C}$ , náboj **protonu** je  $p = +1,602\ 176\ 487 \times 10^{-19}\ \text{C}$ . Vedle nabitých částic existují částice nesoucí nulový náboj například neutron.

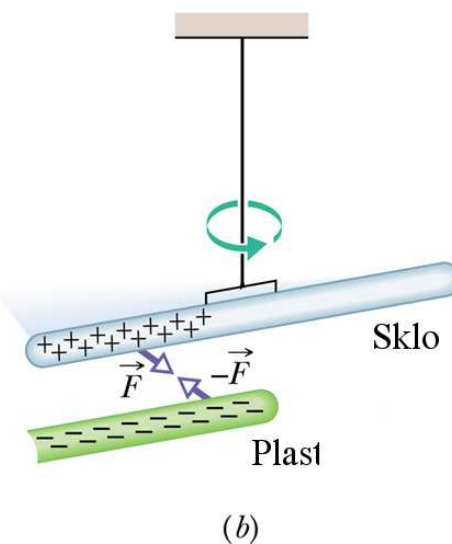
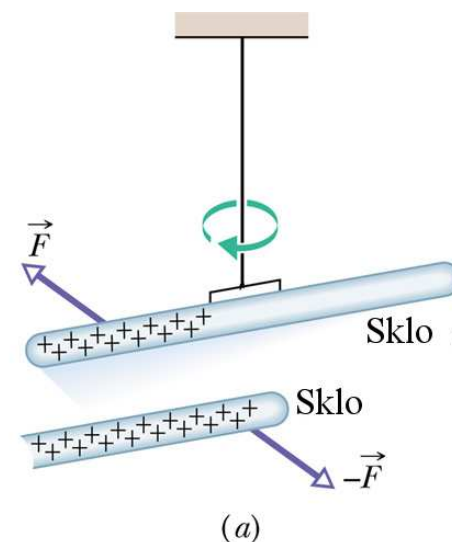
Elektrický náboj **se zachovává**, to znamená, že není možné, aby náboj zanikl, aniž by stejné množství náboje vzniklo.

## Elektrický náboj – experimenty I.

V běžném životě, jsou tělesa **elektricky neutrální**, to znamená, že množství kladných a záporných nábojů je v nich stejné, kladné a záporné náboje se navzájem vykompenzují. Těleso se stane nabitým, je-li rovnováha v počtu kladných a záporných nábojů porušena nebo jsou kladné a záporné náboje vzájemně prostorově odděleny.

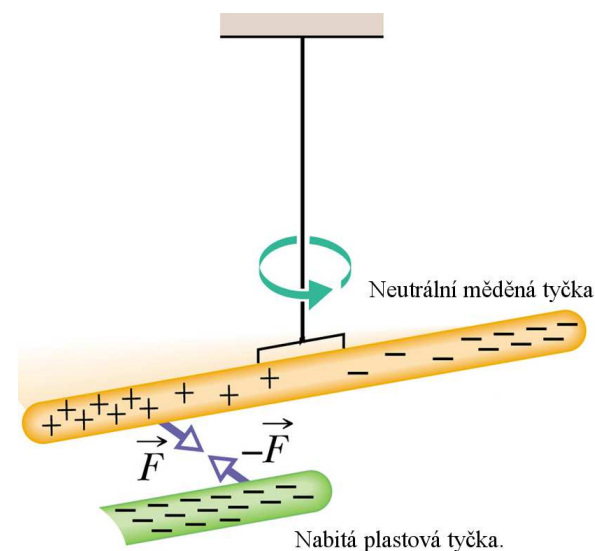
Příkladem je vytvoření **lokálního kladného náboje** ve skleněných tyčích mechanickým třením konců tyčí kusem hedvábné látky. Přiložíme-li kladně nabitě tyče k sobě, budou se **vzájemně odpuzovat**, obrázek (a).

Naopak lokální **záporný náboj** vytvoříme v plastové tyči kusem kůže z baziliška. Přiložíme-li plastovou tyč nesoucí záporný náboj ke skleněné kladně nabitě tyči, budou se **vzájemně přitahovat**, obrázek (b).



## Elektrická indukce.

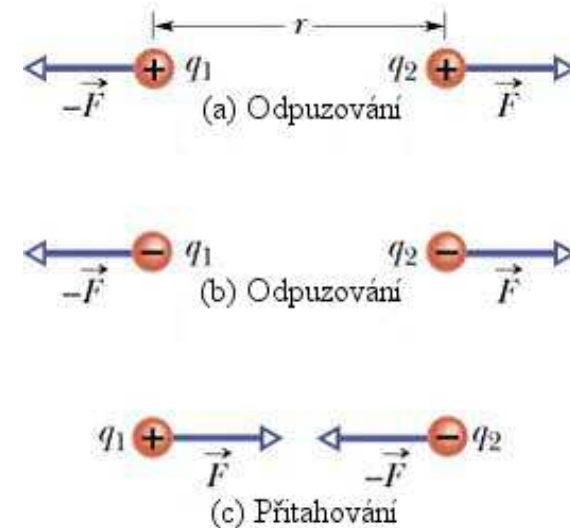
Máme měděnou tyčku zavěšenou na niti, tyčka nenese žádný náboj. Přiložíme-li do těsné blízkosti měděné tyčky záporně nabitou plastovou tyčku pozorujeme, že měděná tyčka, která původně nenesla žádný náboj je plastovou tyčkou přitahována. To znamená, že v měděné tyčce se musel vytvořit makroskopický kladný náboj. Záporný náboj plastové tyčky způsobil v důsledku vzájemného odpuzování záporných nábojů odtlačení záporných nosičů náboje-elektronů-na druhý konec měděné tyčky. Z experimentu také vyplývá, že nosiče záporného náboje v kovové měděné tyčce jsou volné a mohou se tedy pohybovat, na rozdíl od kladně nabitých atomů v mříži měděné tyčky. Záporné nosiče náboje v plastové tyčce však svou polohu nezměnily a tyčka zůstává stále záporně nabitá. Tomuto jevu se říká **elektrická indukce**.



## Silové působení mezi náboji.

Náboje stejného znaménka (++, --) se odpuzují, naopak náboje rozdílných znamének (+-) se přitahují. Vzájemné silové působení mezi náboji popisuje Coulombův zákon:

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



Konstanta  $\epsilon$  je konstantou charakterizující prostředí mezi působícími náboji, označujeme ji permitivita. Permitivitu vakua označujeme  $\epsilon_0$ .

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

Podobnost s Newtonovým gravitačním zákonem je pouze formální. Gravitační síla je na rozdíl od síly působící mezi náboji vždy přitažlivá. Poměr elektrostatické odpudivé síly mezi dvěma elektrony k jejich vzájemné gravitační přitažlivosti je:

$$\frac{\text{elektrostatická odpudivost dvojice elektronů}}{\text{gravitační přitažlivost dvojice elektronů}} = 4,17 \cdot 10^{42}$$

## Jednotka elektrického náboje.

SI jednotkou náboje je 1 Coulomb, [1C]. Při definování jednotky náboje můžeme vycházet ze vzájemného silového působení mezi dvěma náboji o jednotkové velikosti, vzdálenými v dohodnuté vzdálenosti, například 1 metr. Potom z Coulombova zákona za předpokladu,  $r = 1$ ,  $q = 1\text{C}$  vyplývá pro velikost síly jíž na sebe vzájemně působí dva náboje o velikosti 1 C:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2} \rightarrow F = \frac{1}{4 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12}} \frac{1^2}{1^2} = 8.99 \cdot 10^9 \text{ N}$$

Tedy řekneme, že dvě nabitá tělesa vzdálená jeden metr nesou každé náboj jednoho Coulombu jestliže na sebe působí silou  $8.99 \cdot 10^9 \text{N}$ .

Stanovení velikosti náboje podle takto zavedené definice však není příliš přesné. Proto se zavádí definice založená na definici jednotky elektrického proudu, tj. množství elektrického proudu procházejícího za jednotku času jednotkovou plochou. Jednotkou elektrického proudu je 1 Ampér, [1A]. 1 Coulomb pak lze na základě definice jednotky elektrického proudu definovat s výrazně větší přesností.

Pozn.: Zavedu později.

## Coulombův zákon a princip superpozice.

Síla, kterou působí na daný náboj ostatní náboje v jeho okolí je dána vektorovým součtem sil působících mezi vybraným nábojem a každým jednotlivým nábojem zvlášť.

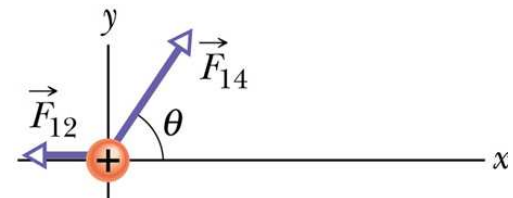
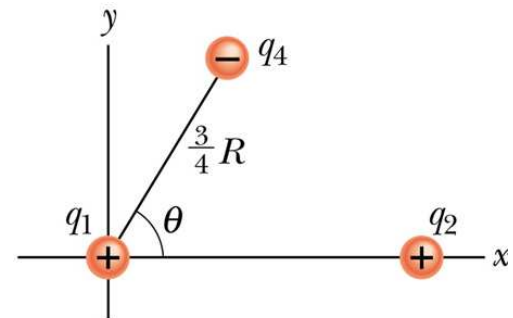
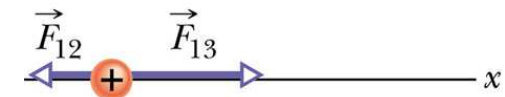
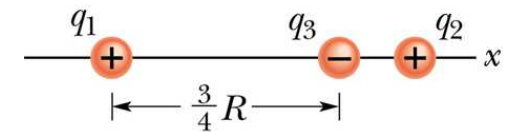
$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \dots + \vec{F}_{1n} = \sum_{i=2}^n \vec{F}_{1i}$$

Síla, působící od obou nábojů  $q_2$  a  $q_3$  na náboj  $q_1$  je vektorovým součtem sil  $\vec{F}_{12}$  a  $\vec{F}_{13}$ .

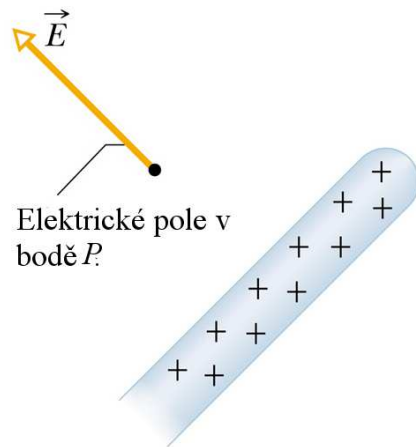
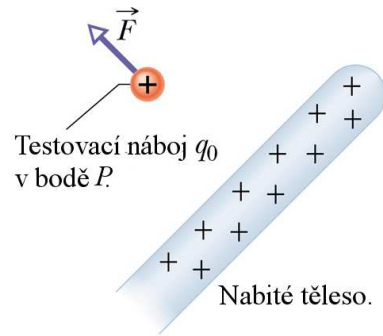
$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13}$$

Síla, působící od obou nábojů  $q_2$  a  $q_4$  na náboj  $q_1$  je vektorovým součtem sil  $\vec{F}_{12}$  a  $\vec{F}_{14}$ .

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{14}$$



## Elektrické pole.



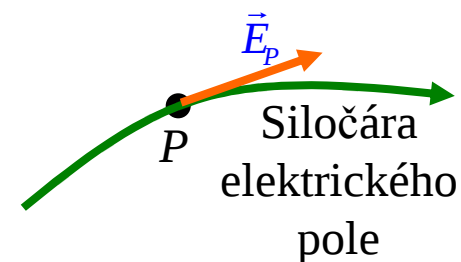
Vezměme velmi malý kladně nabitý náboj velikosti  $q_0$  - **testovací náboj**, který budeme klást do různých míst v okolí kladně nabitého tělesa. Síla, která působí na testovací náboj je v různých místech  $P$  v okolí nabitého tělesa různě veliká a různého směru, je dána Coulombovým zákonem. Z pokusu vyplývá, že v okolí nabitých těles existuje oblast v níž na nabitá tělesa působ síla. Toto silové působení vysvětlujeme existencí **elektrické pole** obklopujícího nabitá tělesa. **Elektrické pole** je charakterizováno **vektorem elektrické intenzity  $\vec{E}$** . Směr vektoru **intenzity elektrické pole** je stejný jako vektor síly dané Coulombovým zákonem.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

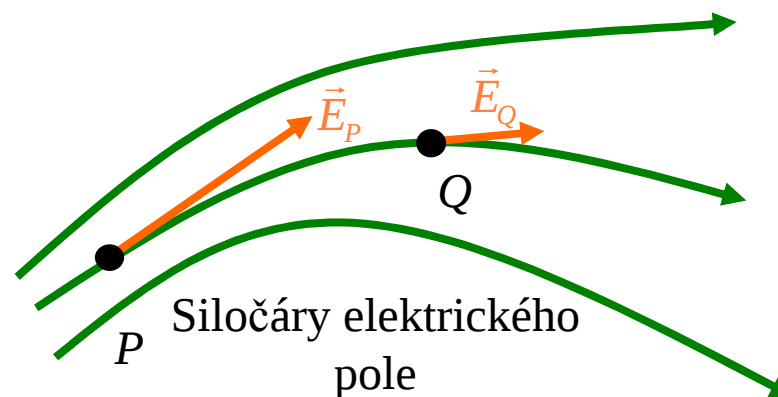
Velikost testovacího náboje musí být taková, aby jeho pole neovlivňovalo rozložení náboje v tělese, jehož elektrické pole měříme. SI jednotkou vektoru elektrické intenzity je  $\text{NC}^{-1}$ .

## Grafické znázornění elektrického pole - siločáry.

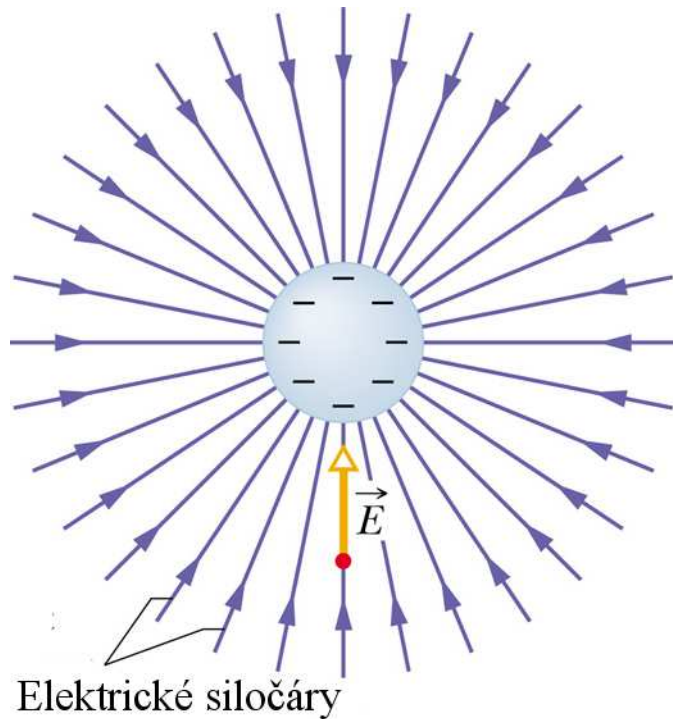
V 19. století Michael Faraday zavedl pojem elektrické siločáry, jako pomůcku k znázornění elektrického pole. Počátek elektrické siločáry leží v kladném náboji konec v záporném náboji. Vektor elektrické intenzity  $\mathbf{E}$  je tečný k siločáře v každém bodě siločáry.



V místech s vyšší intenzitou  $\mathbf{E}_P$  elektrického pole jsou siločáry hustější a blízko sebe, v místech s menší intenzitou  $\mathbf{E}_Q$  jsou naopak řidší a dále od sebe. Pro velikosti vektorů elektrické intenzity platí tedy nerovnost  $E_P > E_Q$



## Elektrické pole a elektrické siločáry v okolí záporného bodového náboje.

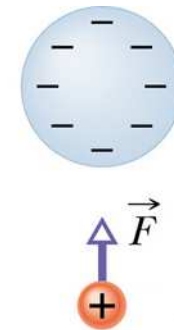


Silocháry elektrického pole **záporného bodového náboje** jsou orientovány ve směru k zápornému náboji.

Orientace siločar určuje orientaci vektoru elektrické intenzity.

Hustota siločar na jednotkovou plochu vzrůstá se zmenšující se vzdáleností od náboje.

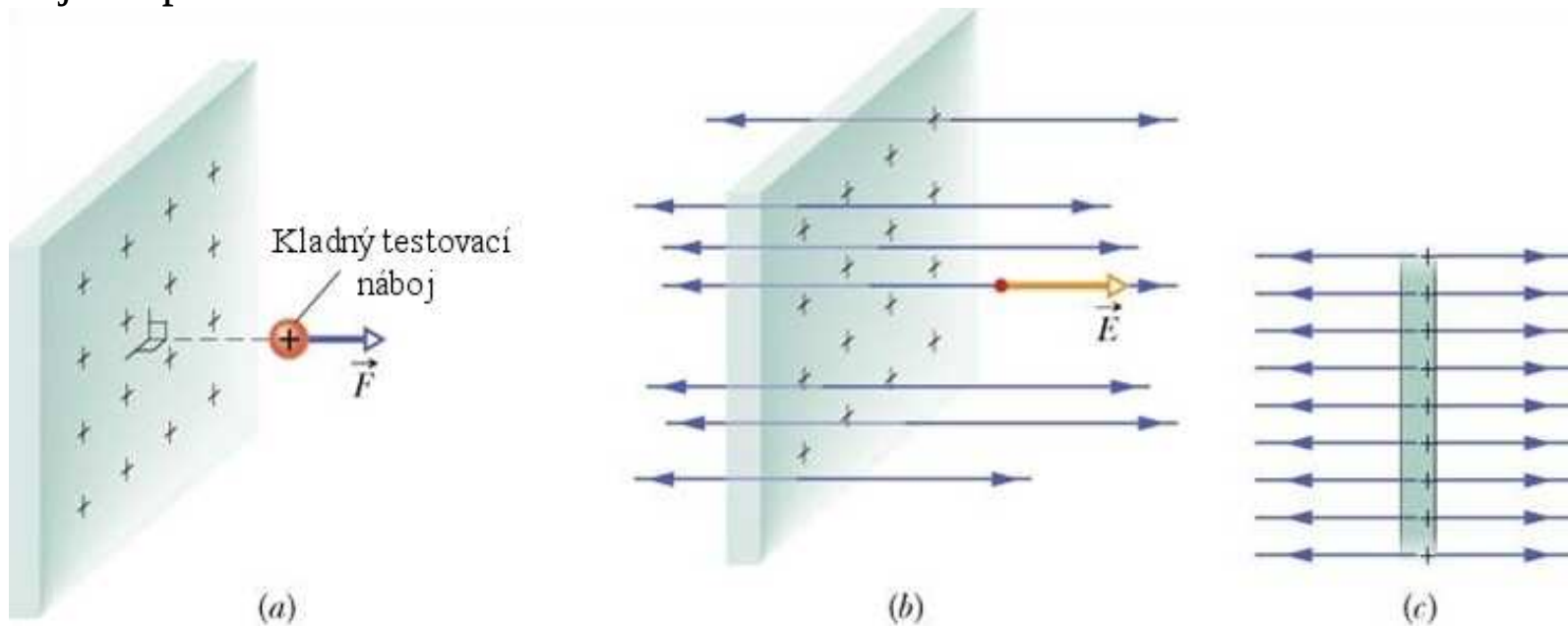
V případě **kladného náboje** je orientace siločar opačná, od kladného náboje.



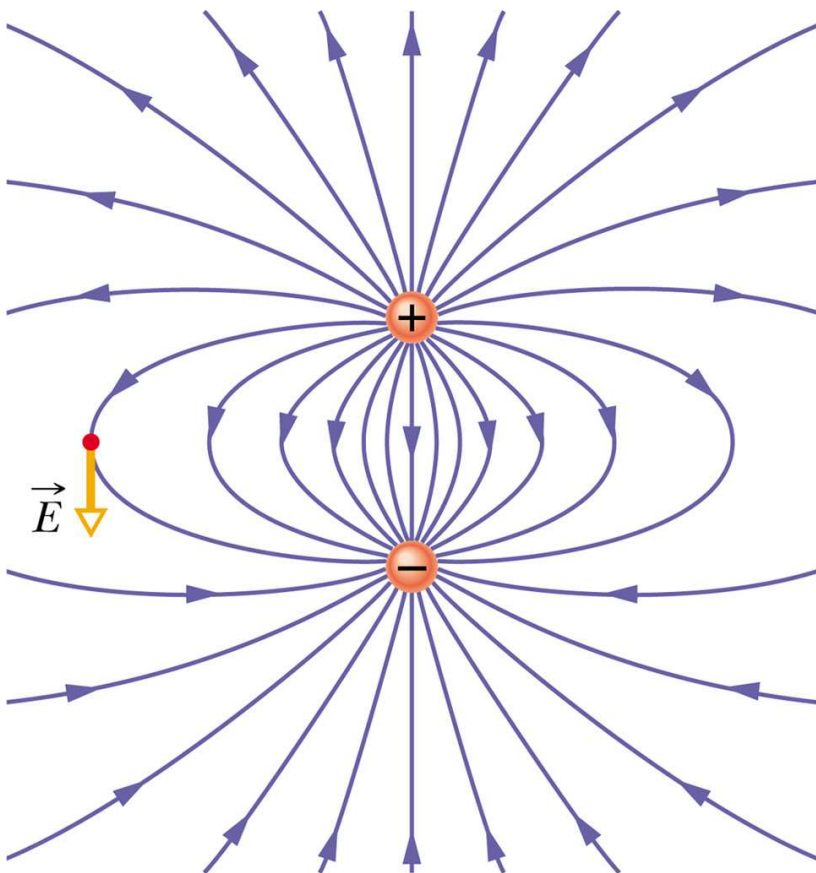
Kladný testovací náboj

## Elektrické pole a elektrické siločáry v případě nekonečné nabité roviny.

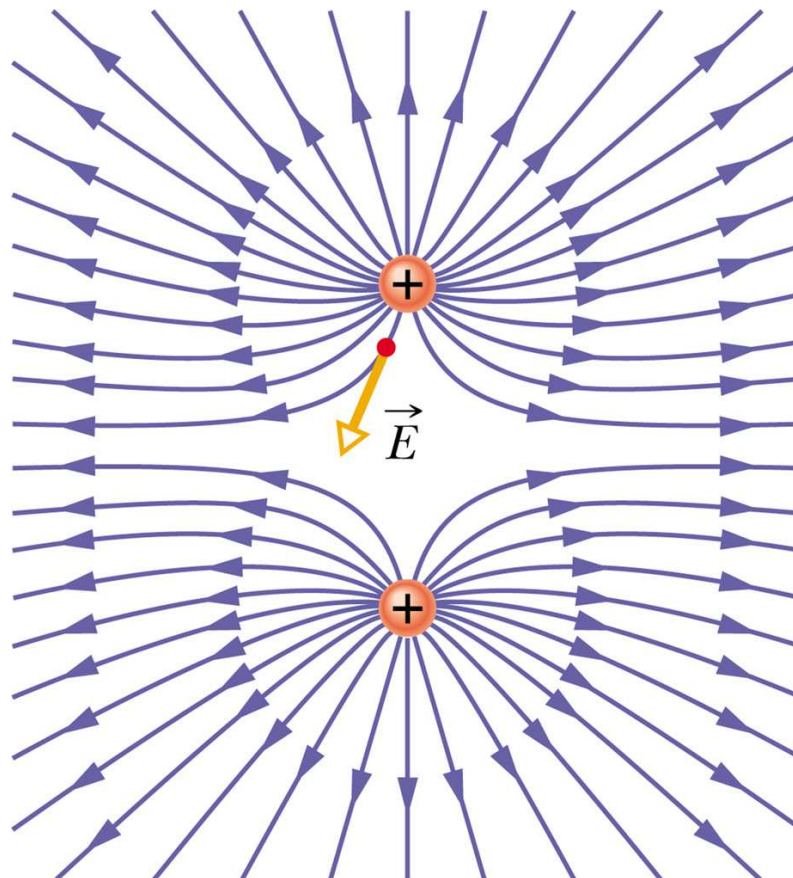
Mějme nekonečně velkou nevodivou rovinu (její část je na obrázku (a)) nesoucí na jedné straně rovnoměrně rozložený kladný náboj. Celková síla působící na testovací náboj  $q$  vložený do blízkosti nabité roviny bude vždy kolmá k této rovině, obrázek (a). Vektor intenzity elektrického pole  $\mathbf{E}$  bude mířit ve směru působící síly ven z nabitě roviny, obrázek (b) a (c). Velikost vektoru intenzity elektrického pole  $\mathbf{E}$  bude ve všech místech stejně vzdálených od roviny stejná, v důsledku rovnoměrného rozložení náboje na ploše.



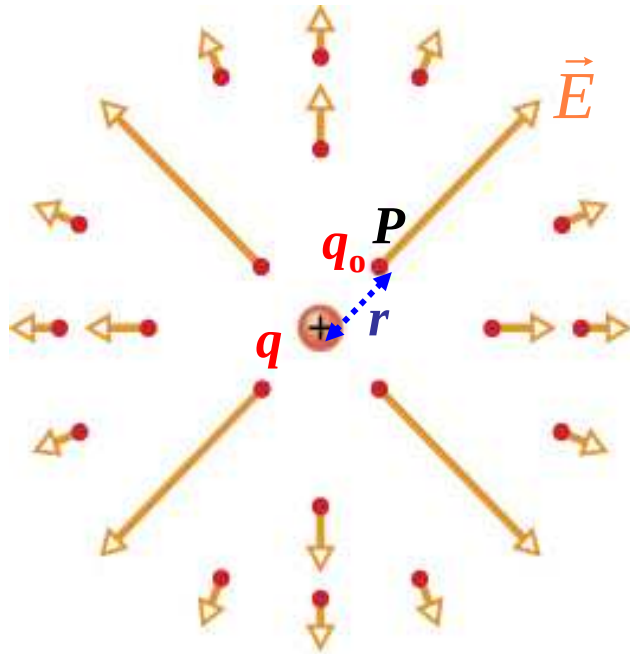
Elektrické pole vytvořené dvojicí stejně velkých opačných elektrických nábojů umístěných v konečné vzdálenosti- elektrickým dipólem.



Elektrické pole vytvořené dvojicí stejných kladných nábojů umístěných v konečné vzdálenosti.



## Elektrické pole bodového náboje.



Síla působící na bodový kladný testovací náboj  $q_0$  umístěného do místa  $P$  vzdáleného  $r$  od bodového kladného náboje  $q$  je dána vztahem:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q||q_0|}{r^2}$$

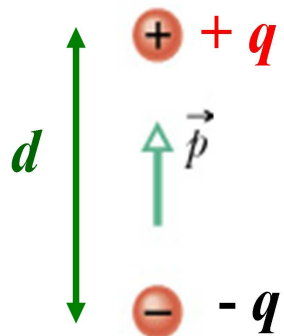
Velikost vektoru intenzity  $\mathbf{E}$  vektorového pole bodového náboje je dána vztahem:

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

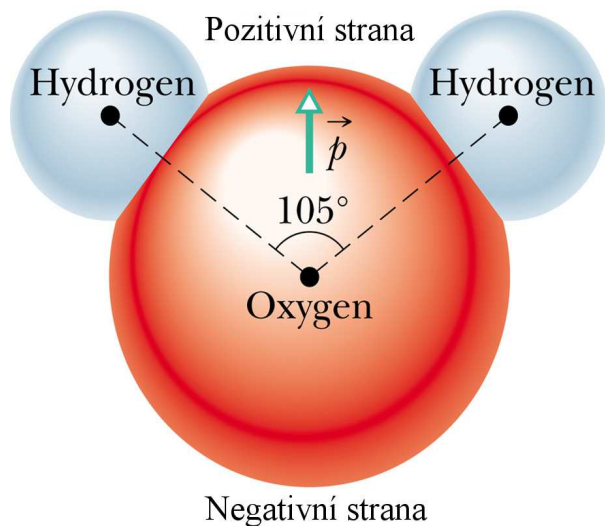
$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q||q_0|}{q_0 r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^2}$$

Velikost vektoru intenzity  $E$  elektrického pole vytvořeného kladným bodovým nábojem  $q$  je kladná veličina. Vektor  $\mathbf{E}$  míří ve směru od kladného náboje  $q$ , naopak je-li náboj  $q$  záporný, pak vektor  $\mathbf{E}$  míří k náboji  $q$ .

## Elektrický dipól.



Dvojici bodových nábojů stejné velikosti a opačného znaménka  $+q$  a  $-q$  ležících ve vzdálenosti  $d$  označujeme jako **elektrický dipól**. Součin  $\mathbf{p} = q\mathbf{d}$  označujeme jako vektor elektrického dipólového momentu. Vektor dipólového momentu je tedy dán součinem absolutní hodnoty nábojů  $q$  a vektoru vzdálenosti obou nábojů  $\mathbf{d}$ . Směr vektoru dipólového momentu leží vždy na spojnici obou nábojů.



Příkladem elektrického dipólu je molekula vody. Náboj na atom kyslíku je záporný v důsledku vyšší elektronegativity kyslíku vzhledem k atomům vodíku, které nesou kladný náboj.