

## Fyzikální principy

Uvažujme [elektrostatické pole](#) vznikající v nejjednodušším případě v důsledku rozdílu [elektrických potenciálů](#)  $\varphi_1$  a  $\varphi_2$  dvou navzájem rovnoběžných desek (bez újmy na obecnosti můžeme předpokládat, že  $0 < \varphi_1 < \varphi_2$ ). Nebudou-li se hodnoty elektrických potenciálů  $\varphi_1$  a  $\varphi_2$  během uvažovaného děje měnit, bude konstantní i velikost [elektrické intenzity](#)  $\vec{E}$ , takže mezi deskami vznikne [homogenní elektrostatické pole](#).

Stejný typ [pole](#) vzniká v [kondenzátoru](#) - proto si můžeme představit [elektron](#), který prolétá nabitým kondenzátorem.

Správně bychom měli uvažovat „dvě nekonečně velké desky“, ale pokud bude splněno, že plocha desek bude řádově větší než jejich vzájemná vzdálenost (tj. mezi deskami bude s dobrou přesností vznikat homogenní elektrostatické pole), můžeme uvažovat desky konečných rozměrů.

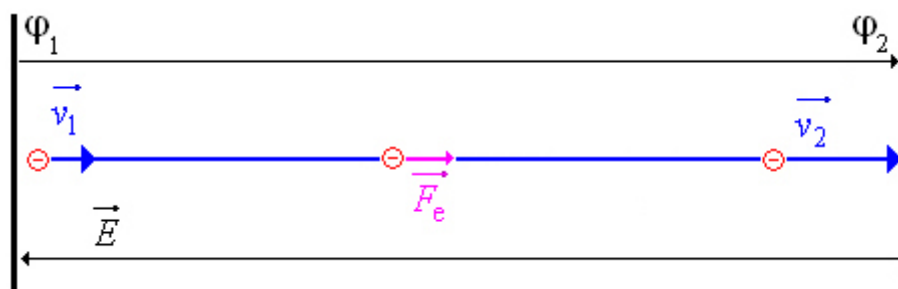
Pokud bychom uvažovali jinou geometrii elektrostatického pole, situace by byla fyzikálně obdobná, ale byl by složitější matematický popis problému.

Elektron o hmotnosti  $m_e$  s nábojem  $e$  může být urychlován uvažovaným elektrostatickým polem dvojím způsobem v závislosti na vzájemném směru vektoru [rychlosti](#) elektronu  $\vec{v}$ , který má směr [pohybu](#) elektronu před jeho vstupem do uvažovaného elektrostatického pole, a vektoru elektrické intenzity  $\vec{E}$  daného pole:

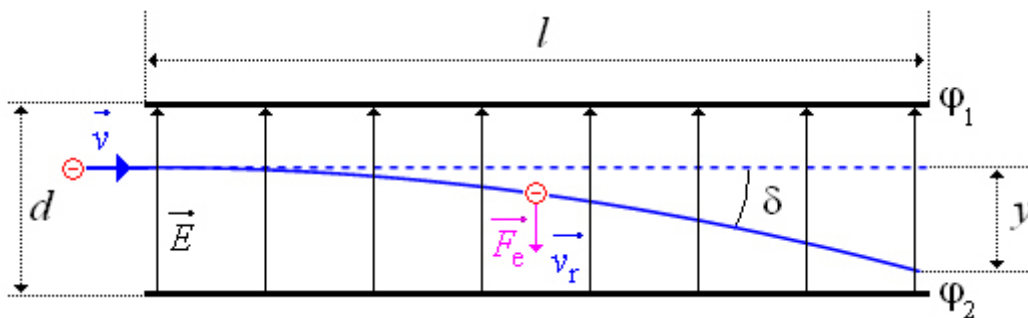
1.  $\vec{v} \parallel \vec{E}$  - [elektrostatická síla](#) působící na elektron (viz obr. 23) mění [velikost rychlosti](#) elektronu (tj. [tečné zrychlení](#) elektronu je nenulové). [Potenciální energie elektrostatického pole](#) se tedy v souladu se [zákonem zachování energie](#) mění na [kinetickou energii](#) elektronu. Platí tedy  $e(\varphi_2 - \varphi_1) = \frac{1}{2}m_e(v_2^2 - v_1^2)$ , kde  $v_1$  je velikost rychlosti elektronu na vstupu do elektrostatického pole a  $v_2$  je velikost rychlosti elektronu při [výstupu](#) z tohoto pole.

Kdyby měl elektron tachometr, tak v tomto případě se bude měnit údaj na jeho tachometru - bude se pohybovat rychleji nebo pomaleji v závislosti na vzájemné orientaci navzájem rovnoběžných vektorů  $\vec{v}$  a  $\vec{E}$ .

2.  $\vec{v} \perp \vec{E}$  - elektrostatická síla působící na elektron (viz obr. 24) mění směr rychlosti elektronu. Elektrostatická síla  $\vec{F}_e$  v tomto případě uděluje elektronu [zrychlení](#)  $\vec{a}$ , v důsledku čehož se bude elektron odchylovat od svého původního směru pohybu: bude se tedy navíc pohybovat radiální rychlostí  $\vec{v}_r$  ve směru kolmém na původní směr pohybu.



Obr. 23



Obr. 24

Pro zrychlení elektronu můžeme tedy v tomto případě psát podle [druhého Newtonova zákona](#) vztah  $\vec{a} = \frac{\vec{F}_e}{m}$  a vyjádříme-li elektrostatickou sílu pomocí elektrické intenzity, dostaneme  $\vec{a} = \frac{e\vec{E}}{m}$ . Směr zrychlení je stejný jako směr elektrostatické síly a ta je opačně orientovaná než vektor elektrické intenzity, proto můžeme pro velikost zrychlení psát  $a = -\frac{eE}{m}$ . Uvědomíme-li si, že pro velikost elektrické intenzity v tomto případě platí  $E = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{d}$  (kde  $d$  je vzdálenost obou uvažovaných nabitých desek), můžeme pro velikost zrychlení elektronu psát  $a = -\frac{e(\varphi_2 - \varphi_1)}{md}$ .

Elektrostatická síla  $\vec{F}_e$  zobrazená na obr. 23 a obr. 24 je výslednicí elektrostatických sil, kterými na elektron působí každá z nabitých desek. Vzhledem k tomu, že jsme (bez újmy na obecnosti) předpokládali, že platí  $0 < \varphi_1 < \varphi_2$ , je směr zobrazené [síly](#) správný.

Velikost rychlosti  $\vec{v}_r$  bude postupně růst a odchylka ([deviace](#))  $\delta$  elektronu od původního směru tak bude narůstat. Velikost radiální rychlosti  $\vec{v}_r$  v okamžiku, kdy bude elektron opouštět vytvořené elektrostatické pole, bude rovna  $v_r = |a|t = \frac{e(\varphi_2 - \varphi_1)}{md}t$ . Čas  $t$  je čas, po který se elektron letící v [přímém směru](#) rychlostí o velikosti  $v$  pohybuje uvnitř elektrostatického pole. Vzhledem k tomu, že rozměr desek měřený ve směru pohybu elektronu je (podle obr. 24)  $l$ , je čas  $t$  roven  $t = \frac{l}{v}$ . Pro velikost rychlosti  $\vec{v}_r$  tedy dostáváme  $v_r = \frac{el(\varphi_2 - \varphi_1)}{mdv}$ .

Předpokládáme přitom, že parametry elektrostatického pole a geometrie desek jsou takové, že elektron daným elektrostatickým polem proletí, aniž by dopadl na některou z desek. Pokud by elektron na některou z nabitých desek dopadl, nemohl by v případě, že tento způsob vychylování elektronů použijeme v praxi, přenést požadovanou informaci.

Pro maximální deviaci  $\delta$  můžeme (s využitím obr. 24) psát  $\text{tg } \delta = \frac{y}{l} = \frac{0,5at^2}{vt} = \frac{0,5v_r t}{vt} = \frac{el(\varphi_2 - \varphi_1)}{2mdv^2}$ .

Tento způsob elektrostatického vychylování se používá v praxi pouze u osciloskopů. Ve snímacích [elektronkách](#) a v televizní technice obecně se vyskytuje spíše výjimečně.