

# 4 ELEKTRINA A MAGNETISMUS

## 4.1 Elektrostatika

### 4.1.1 Elektrický náboj

**Předpoklady:** Základní poznatky o elektrostatice ze základní školy.

**Pomůcky:** Skleněná a novodurová tyč, staniol, dvě plechovky, kovová a dřevěná tyčka, sponky, dva polystyreny, hadr, liščí ohon.

- Látky obsahují dva druhy elektrického náboje – kladný a záporný.
- Kladný náboj nejčastěji nesou protony – těžké částice obsažené v jádrech atomů.
- Záporný náboj nejčastěji nesou elektrony – lehké částice obsažené v obalech atomů. Elektrony je možné oddělit od látky podstatně jednodušeji než protony.
- Opačné náboje se přitahují, souhlasné náboje se odpuzují.
- Elektrická síla s rostoucí vzdáleností klesá.
- Elektrický náboj se může v některých látkách pohybovat (většinou kvůli pohybu elektronů), v jiných ne.
- Za normálních okolností obsahují látky stejné množství kladného i záporného náboje. Jejich působení se vzájemně vyruší a elektrická síla se neprojevuje.

**Pedagogická poznámka:** K následujícím pokusům je z klasických školních pomůcek potřeba pouze skleněná tyč. Plechovky, staniol i polystyren je možné sehnat všude, háčky vyrábím z kancelářských sponek a jako umělohmotnou tyč používám novodurovou trubku na vodovodní potrubí.

**Pedagogická poznámka:** První tři příklady studenti znají, není třeba s nimi trávit mnoho času.

**Pomocí výše uvedených poznatků vysvětli následující pokusy:**

**Př. 1:** Vysvětli. Na kusu polystyrenu je postavena plechovka. Na krajích plechovky jsou na háčcích zavěšeny kousky staniolu tak, aby se mohly volně kývat.

a) Vezmeme novodurovou tyč a dotkneme se plechovky. Nic se neděje. Poté tyč přetřeme látkou z umělého vlákna a opět přejedeme přes plechovku. Stanioly na háčcích se odkloní od plechovky. Dotkneme se plechovky rukou, stanioly se opět svěsí.

b) Vezmeme skleněnou tyč a dotkneme se plechovky. Nic se neděje. Poté tyč přetřeme jelenicí a opět přejedeme přes plechovku. Stanioly na háčcích se odkloní od plechovky. Dotkneme se plechovky rukou, stanioly se opět svěsí.

a) pokus s umělohmotnou tyčí

Vezmeme umělohmotnou tyč a dotkneme se elektroskopu. Nic se neděje.  $\Rightarrow$  Tyč není nabitá, nemůže tedy způsobovat jakékoliv efekty.

Poté tyč přetřeme látkou z umělého vlákna a opět přejedeme přes plechovku. Stanioly na

háčcích se odkloní od plechovky.  $\Rightarrow$  Třením se na tyči objevila převaha jednoho z nábojů. Po doteku se tyto náboje přenesou na plechovku a zřejmě se po ní rozmístí. Shodné náboje ve staniolu a v plechovce se odpuzují  $\Rightarrow$  stanioly se odkloní od plechovky.

Dotkneme se plechovky rukou, stanioly se opět svěsí.  $\Rightarrow$  Náboje přemístěné na plechovku se navzájem odpuzují  $\Rightarrow$  snaží se z plechovky utéct  $\Rightarrow$  ruka pro ně znamená cestu. Když z plechovky náboje zmizí, ve staniolu ani v plechovce nejsou žádné náboje a tedy neexistuje žádný důvod pro odpuzování.

b) pokus se skleněnou tyčí

Vezmeme skleněnou tyč a dotkneme se plechovky. Nic se neděje.  $\Rightarrow$  Tyč není nabitá, nemůže tedy způsobovat jakékoliv efekty.

Poté tyč přetřeme jelenicí a opět přejedeme přes plechovku. Stanioly na háčcích se odkloní od plechovky.  $\Rightarrow$  Třením se na tyči objevila převaha jednoho z nábojů. Po doteku se tyto náboje přenesou na plechovku a zřejmě se po ní rozmístí. Shodné náboje ve staniolu a v plechovce se odpuzují  $\Rightarrow$  stanioly se odkloní.

Dotkneme se plechovky rukou, stanioly se opět svěsí.  $\Rightarrow$  Náboje přemístěné na plechovku se navzájem odpuzují  $\Rightarrow$  snaží se z plechovky utéct  $\Rightarrow$  ruka pro ně znamená cestu. Když z plechovky zmizí, ve staniolu ani v plechovce nejsou žádné náboje a tedy neexistuje žádný důvod pro odpuzování.

**Př. 2:** Vymysli pokus, kterým bys zjistil, zda jsou náboje vyrobené na skleněné a umělohmotné tyči stejné nebo ne.

Náboje vyrobené na tyčích můžeme přenášet na plechovku  $\Rightarrow$  přetřeme umělohmotnou tyč a přeneseme z ní náboj na plechovku, stanioly se odkloní. Poté nabijeme skleněnou tyč a přiblížíme ji ke staniolům. Stanioly se k tyči přitahují  $\Rightarrow$  náboj na skleněné tyči má opačné znaménko než náboj na plechovce (a tedy i náboj na umělohmotné tyči).

**Třením se tyč ze skla nabíjí kladně.**

$\Rightarrow$  Umělohmotná tyč se nabíjí záporně.

**Poznámka:** Když víme, že skleněná tyč se nabíjí kladně a kladný náboj není možné třením vyrobit (protože ho nesou protony v jádrech atomů), měli bychom přeformulovat vysvětlení příkladu 1b).

Poté tyč přetřeme jelenicí a opět přejedeme přes plechovku. Stanioly na háčcích se odkloní od plechovky.  $\Rightarrow$  Třením jsme z tyče odebrali záporné elektrony a na tyči zůstala převaha kladných (ale nepohyblivých) nábojů. Po doteku s plechovkou přejde část záporných nábojů z plechovky na tyč (kladný náboj tyče je přitahuje)  $\Rightarrow$  převaha kladného náboje se objeví i na plechovce. Shodné náboje ve staniolu a v plechovce se odpuzují  $\Rightarrow$  stanioly se odkloní. Takové vysvětlení je sice fyzikálně správnější, ale je podstatně obtížnější a zdlouhavější. Z toho, že všechny na střední škole probírané (a i mnoho dalších na střední škole neprobíraných zákonů z elektromagnetismu včetně Maxwellových rovnic) byly zformulovány ještě před objevem elektronů, je vidět, že přesné pochopení částicové podstaty náboje pro popis elektromagnetických jevů není nutné a nebudeme si s nimi komplikovat život.

Nadále budeme předpokládat, že se oba druhy nábojů chovají v podstatě stejně: oba je možné přenášet a vytvářet jejich převahu na nějakém tělese, oba se mohou pohybovat přes vodivé předměty atd.

**Př. 3:** Vysvětli. Dvě plechovky vybavené stanioly postavíme na polystyren vedle sebe tak, aby se nedotýkaly. Přes obě plechovky položíme drát (nebo jiný kovový předmět). Nabijeme umělohmotnou tyč a s její pomocí i jednu z plechovek. Stanioly se odkloní na obou plechovkách.

Stanioly se odkloní na obou plechovkách  $\Rightarrow$  obě plechovky jsou nabité  $\Rightarrow$  záporný náboj se musel přemístit po drátu z jedné plechovky na druhou  $\Rightarrow$  náboje se mohou po kovu volně pohybovat.

Mohli jsme to předpokládat, z předchozích pokusů je vidět, že se náboje mohou pohybovat po plechovce a také po lidském těle.

**Př. 4:** Vysvětli. Vezmeme železnou tyč a snažíme se ji nabít. Ať třeme, jak třeme, nepodaří se to.

Z předchozího pokusu víme, že se náboje mohou po kovech volně pohybovat. Je možné, že třením na tyči nějaký náboj vzniká, ale protože se může po kovu i (lidském těle) pohybovat, ihned z tyče zmizí.

$\Rightarrow$  Z hlediska našich pokusů existují dva druhy látek:

- látky, po kterých se náboje mohou pohybovat = **vodiče**,
- látky, po kterých se náboje nemohou pohybovat = **nevodiče**.

**Pedagogická poznámka:** Při posledním průchodu mě napadlo, že by možná bylo možné držet kovovou tyč takovým způsobem, aby z ní vyrobený náboj nemohl uniknout a tak by se dalo zjistit, jakým nábojem se ocelová tyč nabíjí. Zde je volné pole pro výzkum.

**Př. 5:** Na základě našich předchozích pokusů rozhodni, které z látek ve třídě jsou určitě nevodiče.

Sklo a umělá hmota – jsou z nich vyrobeny tyče, které je možné nabít.

Polystyren – máme na něm postavené plechovky a odděluje je od země.

Vzduch – podobně jako plechovky odděluje nabitě předměty od země.

**Pedagogická poznámka:** Na vzduchu studenti často zapomínají, přesto se snažím ho neprozradit. Jde o zajímavou ukázkou automatického přehlížení.

**Př. 6:** Vysvětli. Na stůl nastříháme malé kousky staniolu (staniol je vodivý). Nenabitá tyč na kousky staniolu nepůsobí. Když tyč nabijeme, začne kousky staniolu přitahovat. Některé kousky staniolu se zdvihnou, přiskočí k tyči, po doteku však rychle odskočí.

Nenabitá tyč neobsahuje převahu žádného náboje  $\Rightarrow$  nemůže stanioly přitahovat.

Nabitá tyč přitahuje opačně nabitě předměty  $\Rightarrow$  neměla by přitahovat stanioly, nic jsme s nimi nedělali a ony obsahují oba druhy náboje ve stejném množství.  $\Rightarrow$  Ať je na tyči jakýkoliv náboj staniol musí stejně stejně silně přitahovat i odpuzovat  $\Rightarrow$  něco jsme si si neuvědomili.

Náboje se mohou po staniolu pohybovat  $\Rightarrow$  náboje, které tyč přitahuje se seskupí blíže k tyči  $\Rightarrow$  přitahované náboje jsou blíže k tyči a síla, kterou je tyč přitahuje, je větší než síla, kterou tyč ve staniolu odpuzuje shodné náboje.

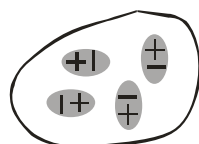
Proč se odrazí zpět?

Po doteku mohou pohyblivé náboje přejít z tyče na staniol, tím se nabije stejně jako tyč, odpuzování převládne a stanioly odletí pryč.

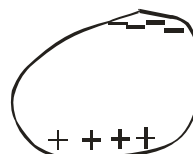
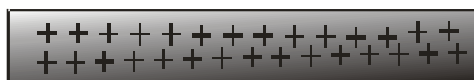
### **Jak kladně nabitá tyč přitahuje kousky staniolu**

Alobal před přiblížením tyče

Alobal po přiblížení tyče, náboj tyče přeskupí

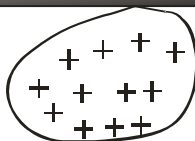


náboje v alobalu



Opačné náboje jsou k tyči blíž  $\Rightarrow$  přitahování zvítězí.

Po dotyku se na alobal přenesou kladné náboje z tyče (mohou se po staniolu pohybovat). Staniol je kladný a od tyče se odpuzuje a letí pryč.



**Pedagogická poznámka:** Možná tento příklad není úplně šťastný, protože některé stanioly se na tyči naopak přilepí. Který z podezřelých efektů to má na svědomí přesně nevím. Na příkladu je nejzajímavější okamžik, kdy po prvotním zamyšlení dojdeme k tomu, že by se stanioly přitahovat vůbec neměly. Závěr rozboru je tak ve zřejmém rozporu se skutečností a studenti musí hledat lepší vysvětlení (a zřejmě přesnější zamyšlení).

**Př. 7:** Vysvětli. Na stůl natrháme malé papírky (papír není vodivý). Nenabitá tyč na papíry nepůsobí. Když tyč nabijeme, začne papírky přitahovat. Některé papírky se zdvihnou a přiskočí k tyči.

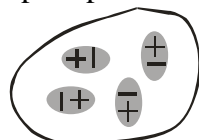
Nenabitá tyč neobsahuje převahu žádného náboje  $\Rightarrow$  nemůže papírky přitahovat.

Nabitá tyč přitahuje opačně nabitě předměty  $\Rightarrow$  neměla by přitahovat papírky, nic jsme s papírky nedělali a ony obsahují oba druhy náboje ve stejném množství.  $\Rightarrow$  Ať je na tyči jakýkoliv náboj papírek musí stejně přitahovat jako odpuzovat  $\Rightarrow$  hraje roli něco, co zatím neznáme.

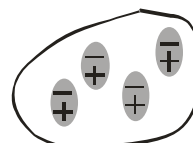
V papírku se náboje pohybovat nemohou, protože tvoří neutrální skupiny (dvojice) navázané na sebe. Skupiny se mohou natáčet  $\Rightarrow$  skupiny se natočí k tyči nábojem, který tyč přitahuje  $\Rightarrow$  přitahované náboje jsou blíže k tyči a síla, kterou je tyč přitahuje, je větší než síla, kterou odpuzuje druhý druh náboje ve skupině.

### Jak kladně nabitá tyč přitahuje papírky.

Papírek před přiblížením tyče



Papírek po přiblížení tyče, náboj tyče přetočí dvojice nábojů v papírku



Opačné náboje jsou k tyči blíž  $\Rightarrow$  přitahování zvítězí.

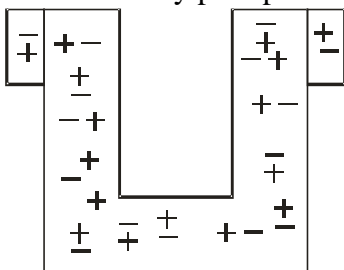
**Pedagogická poznámka:** Studenti zřejmě po inspiraci předchozím příkladem tuší, že musí

záporné náboje dostat blíže tyči i když se náboje po nevodiči pohybovat nemohou. Nalezení postupu, jak nabít kladnou tyčí plechovku záporně, je nejlepší zadat studentům na přemýšlení, ještě před příklady se stanioly. Pokud na postup nikdo nepřijde (velmi pravděpodobné, v jejich situaci jde o velmi těžkou úlohu) nemá cenu zdržovat, naopak je lepší jim ukázat zadání dalšího příkladu.

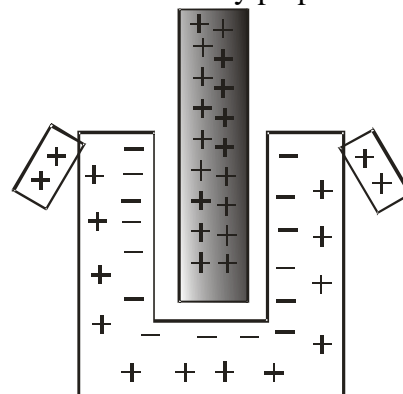
**Př. 8:** Plechovku je možné nabít kladně nabitou tyčí nejen kladně (dotykem), ale i záporně pomocí následujícího postupu.

- Kladně nabitou tyč, přiblížíme dovnitř plechovky (nesmíme se dotknout). Stanioly se odkloní.
  - Tyč stále držíme u plechovky, druhou rukou se dotkneme plechovky. Stanioly se svěsí.
  - Tyč stále držíme u plechovky, druhou ruku dáme od plechovky pryč.
  - Oddálíme tyč, stanioly se odkloní. Když k nim přiblížíme tyč, vidíme, že se k ní přitahují (plechovka je nabita opačným nábojem než tyč).
- Nakresli obrázky jednotlivých fází pokusu a vysvětli jej.

1. plechovka se stanioly před přiblížením tyče

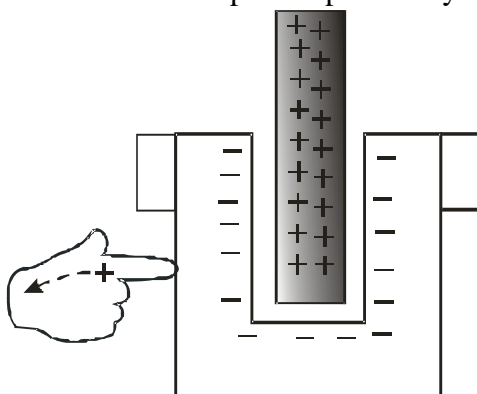


2. plechovka se stanioly po přiblížení tyče



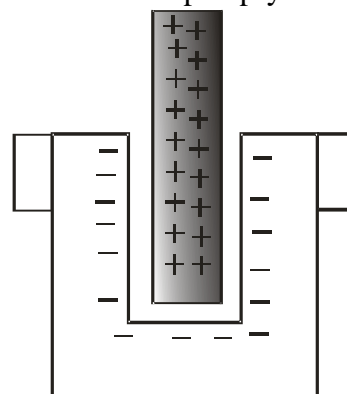
Náboje v plechovce se přeskupí, záporné se přitáhnou blíž (na vnitřní stěnu plechovky), kladné se se odpudí od tyče na vnější stranu plechovky  $\Rightarrow$  vnější strana je kladně nabitá  $\Rightarrow$  stanioly se odkloní.

3. dotkneme se prstem plechovky



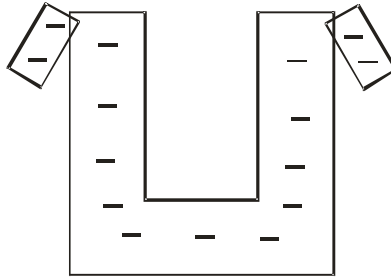
Kladné náboje mohou uniknout přes prst z plechovky dál od tyče  $\Rightarrow$  v plechovce zůstane převaha záporných nábojů, kladné náboje na vnější straně plechovky zmizí  $\Rightarrow$  stanioly se svěsí.

4. dáme prst pryč



Do plechovky nemohou vzcházet ani z ní odcházet další náboje.

5. odendáme tyč



Záporné náboje se rozmístí po celé plechovce (vzájemně se odpuzují)  $\Rightarrow$  stanioly se odkloní.  
Mají opačný náboj než tyč, když tyč přiblížíme, stanioly se k ní přitahují.

**Př. 9:** Zdůvodni, proč při nabíjení plechovky šimráme tyč po velké části její délky?

Náboj se nemůže pohybovat po tyči, musíme dát možnost náboji přejít na plechovku přímým dotykem.

**Shrnutí:** Předvedené pokusy je možné vysvětlit pomocí existence dvou druhů na sebe působících nábojů, které se mohou po některých druzích látek pohybovat, a tím, že dokážeme na některých předmětech vytvářet jejich převahu jednoho náboje nad druhým.