

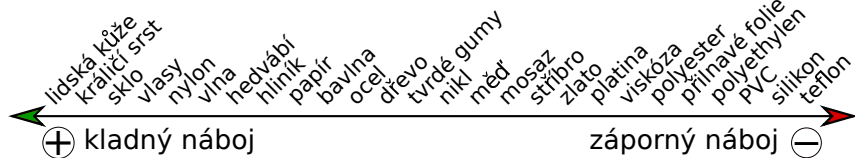
## Úloha III.1 ... Liščí ohon

5 bodů; průměr 4,00; řešilo 21 studentů

V soutěži kouzelníků zazářilo číslo se statickou elektřinou. Třením plastové (PVC) trubky o vlasy a následným přiložením trubky na plechovku kouzelník onu plechovku nabil záporně – přesunul na ni záporně nabitě částice. Potom vzal plechovku jinou, třením nabitou tyč k ní jen zevnitř přiblížil, dotkl se plechovky zvenku prstem, a tak ji nabil kladně.

1. Co by musel kouzelník udělat jinak, kdyby použil skleněnou tyčinku a třel ji o tvrdou gumu?
2. Jakým materiálem by musel třít kus silikonu, aby se po dotknutí silikonem plechovky tato plechovka nabila kladně?

Pomůže vám triboelektrická řada, kde jsou materiály seřazeny podle toho, který „chce“ kladný (nebo záporný) náboj více. Pokud o statické elektřině ještě mnoho nevíte, podívejte se na náš seznam videí: <https://bit.ly/34EE6Zd>.



Obr. 1: Triboelektrická řada

## Teoretické vysvětlení

Pro důkladný popis úvah vedoucích k řešení této úlohy si nejprve didakticky připomeňme základy nauky o elektřině.

Všechny materiály, se kterými se setkáváme, se skládají z velmi malých atomů. Jediné zrnko písku jich obsahuje řádově  $10^{21}$  (triliardy). Tyto atomy se vyskytují v několika druzích (prvcích), které jsou různě pospojovány do molekul (u písku je to obvykle oxid křemičitý  $\text{SiO}_2$ ). Písek je tak složen převážně z těchto molekul, které obsahují po třech atomech – dvou atomech kyslíku O a jednom atomu křemíku Si).

Ale i atomy se dají dále dělit. Jsou složeny z jadra a obalu, přičemž v jádře se nacházejí další částice – protony a neutrony, zatímco v obalu se nacházejí elektrony. Protony jsou mnohem těžší než elektrony, a tak tvoří většinu z malinké hmotnosti atomu. Podstatný je však vztah mezi protony a elektrony. Podobně jako se na dálku přitahují magnety, také elektrony a protony se (téměř záhadně) přitahují. Zároveň víme, že elektrony se s ostatními elektrony odpuzují, stejně to mají i protony s ostatními protony (proto mimochodem v jádře atomu musí působit i jiné, jaderné síly, které udrží odpuzující se protony pohromadě).

To znamená, že tu máme dva druhy částic, které se v rámci druhu odpuzují a mezi druhy přitahují. Tyto dva druhy nazveme *kladný* a *záporný* a úplnou libovůlí (spolu s respektem k zavedené praxi) si určíme, že elektrony jsou tím záporným druhem.

Zmíněné silové působení je úměrné množství částic a nezávisí na jejich hmotnosti, přičemž se vzdáleností klesá podobně jako třeba gravitační síla (v kosmickém prostoru je trochu slabší než

na Zemi). Protože však klesá podle stále stejné zákonitosti a týká se stejných částic, můžeme ho tak odlišit od jiných zvláštních silových působení v přírodě – označíme si jej zvláště jako působení *elektrické* (od magnetického se liší v mnoha ohledech, které tu ale teď nebudeme probírat). Po těchto úvahách tušíme, proč říkáme protonům *kladně elektricky nabitě částice* a elektronům *záporně elektricky nabitě částice*.

S těmito znalostmi už je vysvětlení úlohy jednoduché. V každém atomu je malá část elektronů jen slabě vázána k jádru a stačí málo, aby byly od atomu odtrženy a zachyceny v jiné látce. *Náboj* označíme jako celkovou bilanci mezi elektrony a protony – pokud převažují protony (tedy *kladně elektricky nabitě částice*), bude náboj kladný, pokud převažují elektrony, bude náboj záporný. Při stejném počtu protonů a elektronů bude náboj neutrální.

Přesun elektronů běžně probíhá, třeme-li o sebe různé povrchy. Když se řekne, že vzniká „statická elektrina“, znamená to, že jsme třením vyvolali právě tento přesun náboje, a jeho přebytek či nedostatek pak vytvoří již zmíněný elektrický náboj.

Jinými slovy: za normálních podmínek se protony a elektrony spolu ruší a navenek se materiál zdá bez náboje. Jsou-li z něj však odvedeny elektrony – např. třením, pak se v něm nachází víc protonů než elektronů a materiál je tak (alespoň na povrchu) nabitý kladně. I když na něj nemusí elektrony z druhého materiálu být schopné přeskočit, pořád je zde působení na dálku, a proto se třeba balonek po tření o vlasy přilepí ke zdi. Tomuto jevu, kterému se lidově říká „statická elektrina“, učení říká jev *triboelektrický* (řecká předpona *tribo-* značí vztah ke tření).

Je důležité si pamatovat, že jediné, co se přesouvá, jsou elektrony, zatímco protony, které sedí stále v jádrech atomů, si ničeho nevšímají a zůstávají na svých místech. Jediná otázka při tření dvou různých materiálů je, z kterého na který se ony elektrony přesouvají – a právě pro odpověď na tuto otázku nám slouží zmíněná *triboelektrická řada* v zadání úlohy.

Čteme z ní jednoduše – vidíme například, že polyester je napravo od lidské kůže. Pokud tedy budeme izolováni od země, stačí, abychom si zatancovali v oblečení z umělých vláken, a naše kůže předá elektrony našemu oblečení. Pak po určité chvíli, než se elektrony vrátí samovolně zpátky na naši kůži ze vzduchu, jsme nabití kladně a dostaneme elektrický šok<sup>1</sup> dotykem čehokoli, co nám může chybějící elektrony dodat: tělo kamaráda, kovový nábytek, nebo třeba radiátor. Nemůžeme si je však snadno vzít zpět z onoho oblečení, protože to špatně vodí elektrický proud, a dalším třením bychom situaci ještě zhoršili.

### Řešení a závěr

Plast PVC je v naší řadě napravo od vlasů, a proto byly elektrony z vlasů kouzelníka předány trubce. Elektrony se však odpuzují, a protože jich je na trubce přebytek, rozprostřou se i do kovové plechovky, která tak získá (oproti počátečnímu stavu) záporný náboj. Aby druhou plechovku nabil kladně, trubku k ní jen přiblížil a plechovku chytil prstem. To znamená, že využil odpudivého působení elektronů – elektrony z tyče vyhnaly elektrony z plechovky na ruku. Tím, že plechovku chytil, umožnil, aby elektrony z plechovky, odpuzované přebytkem elektronů v trubce, utekly přes jeho tělo pryč. Když pak plechovku pustil, musela zůstat kladná, protože měla nutně méně elektronů než předtím. Trubkou se plechovky nedotkl hlavně proto, aby ji opět nenabil záporně tak, jako to udělal předtím s první plechovkou.

Tvrdá guma je v řadě uprostřed, avšak to na úvaze nic nemění. Stále je důležité jen to, že je napravo od skla. To znamená, že kouzelník může provést svůj trik úplně stejně, jen sklo použije místo vlasů a místo PVC trubky gumu. Aby byl efekt měřitelný, pravděpodobně ho bude od

<sup>1</sup>Elektrický šok není nic jiného než velmi rychlý přesun elektronů.

tření bolet ruka, protože styčná plocha mezi sklem a gumou je mnohem menší než mezi vlasy a PVC, a náboj se tak hromadí pomaleji.

Nakonec odpověď na poslední otázku: plechovka se nabije kladně, pokud bude mít kam předávat elektrony a po ukončení dotyku bude mít nedostatek elektronů. Ty půjdou přirozeně do kladně nabitého prostředí, kterým má být onen silikon. Abychom však silikon nabili kladně, máme jen jednu možnost, a to třít jej jediným materiálem, jenž je už na kraji celé řady, a tím je teflon. Teflon známe jako krycí materiál na povrchu nepřilnavých pánviček, nicméně pro tyto experimenty se také prodávají teflonové tyče, se kterými se jednoduše manipuluje.

*Daniel Slezák*

`dans@vyfuk.mff.cuni.cz`

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.  
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.