

## Pokusy z elektrostatiky v heuristické výuce fyziky 1

Milan Rojko\*, Matematicko-fyzikální fakulta UK v Praze

### ELEKTROVÁNÍ TĚLES

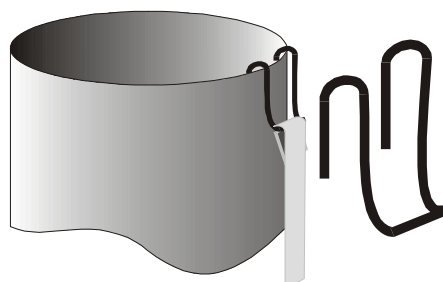
*Potřeby:* skleněná tyč, amalgamovaná kůže, novodurová tyč, srst, izolanty (porcelánové talíře a hrnečky na kávu), plechovky se staniolovými lístky na závěsech, indikátor elektrického náboje (nebo malá doutnavka s drátovými elektrodami či Goerkeho doutnavka), elektrometr, spojovací vodiče, zdroj vysokého napětí, elektrické konduktory k elektroskopu, pingpongové míčky na vláknech, plechová lopatka.

#### 1. DVA DRUHY ELEKTRICKÝCH NÁBOJŮ

##### 1.1 Elektrování třením

*Provedení:* Plechovku se staniolovým lístkem na závěsu postavíme na suchý porcelánový talíř a zelektrovanou novodurovou tyčí přeneseme podélným tahem na plechovku v těsné blízkosti lístku „něco z tyče“ Lístek na plechovce se vychýlí. „Něco“ z tyče přešlo na plechovku s lístkem.

*Otázky pro žáky:* Co jsme z tyče seškrábli na plechovku? (elektřina, elektrický náboj, ...) Zůstalo to jen na místě, kam jsme to setřeli, nebo se to rozlezlo po plechovce? Jak bychom to mohli zjistit? (Rozmístíme-li vně na plechovku další staniolové lístky, ty se všechny vychýlí.) Proč se lístek odtáhnul od plechovky? (Elektřina na plechovce a elektřina na pásku se odpuzují.) Co se asi stane, když k lístku přiblížíme tyč? (Také bude od sebe odtlačovat pásek, je na ní elektřina jako na pásku, pásek se přitlačí blíž k plechovce.)



obr. 1 drátěný závěs ze sponky k zavěšení staniolového pásku

*Závěr:* Třením tyče srstí se na ní něco objevilo (elektřina, elektrický náboj), co přešlo při seškrábnutí z tyče na plechovku a rozlezlo se po ní. Lístek, na kterém byla elektřina, byl odstrkáván od plechovky, na které byla elektřina, i od tyče s elektřinou.

##### 1.2 Elektrování třením

*Provedení:* Stejný pokus provedeme se skleněnou tyčí třenou kůží. Výsledky jsou stejné. Ukážeme na závěr, že přiblížená novodurová tyč nyní lístek přitahuje.

*Otázky pro žáky:* Proč se nyní lístek k novodurové tyči přitahuje? (Na lístku je jiná elektřina než na tyči. Tyto dvě různé elektřiny se přitahují.)

*Závěr:* Třením skla kůží „vzniká“ jiná elektřina než třením novoduru srstí. Lístek nabitý jedním druhem elektřiny je stejnou elektřinou odpuzován, druhou přitahován.

*Výzva pro žáky:* Navrhněte pojmenování pro dva druhy elektřiny. (Akceptujeme návrh *kladná* a *záporná*.)

*Mnemotechnická pomůcka:* Skleněná tyč je s **k**ladným nábojem. Novodurová tyč má náboj **z**áporný.

\* milan.rojko@atlas.cz

Ukázka funkce indikátoru polarity elektrického náboje –

kladná polarita	svítí červená LEDka
záporná polarita	svítí modrá LEDka

Jako indikátor polarity lze použít i doutnavku s drátovými elektrodami v malém nebo velkém (Goerkeho) provedení



obr. 2 doutnavka sufitová

doutnavka Goerkeho

Při dotyku nabitého vodiče elektrodou doutnavky, jejíž druhou elektrodu zemníme držením v ruce, zasvítí záporná elektroda.

### 1.3 Nenabitý stav – stav rovnováhy nábojů opačné polarity

*Provedení:* K nenabitě plechovce s lístkem přiblížíme novodurovou tyč, lístek se vychýlí směrem k tyči.

*Otázka pro žáky:* Jaká elektřina je na lístku? (Kladná; opačná než na tyči, protože ji tyč přitahuje.)

*Provedení:* K nenabitě plechovce s lístkem přiblížíme skleněnou tyč, lístek se opět vychýlí směrem k tyči.

*Otázka pro žáky:* Jaká elektřina je na lístku? (Záporná; opačná než na skleněné tyči, protože ji tyč přitahuje.)

Na *nenabitě* plechovce se objevila kladná i záporná elektřina, stačilo jen přiblížit k ní nabitou tyč. Jak je možné, že se ta plechovka při dotyku rukou chová, jako by tam žádná elektřina nabyla? (Je tam kladná a záporná elektřina, ale obou je stejně, takže se navzájem ruší.)

**Závěr:** V plechovce je záporná i kladná elektřina, ale vzájemně se ruší. Projevují se jen tehdy, jestliže je jedné víc než té druhé. Elektřinu tedy nevyrábíme, ale jen od jedné oddělíme tu druhou.

### 1.4 Elektrování – oddělování nábojů opačné polarity

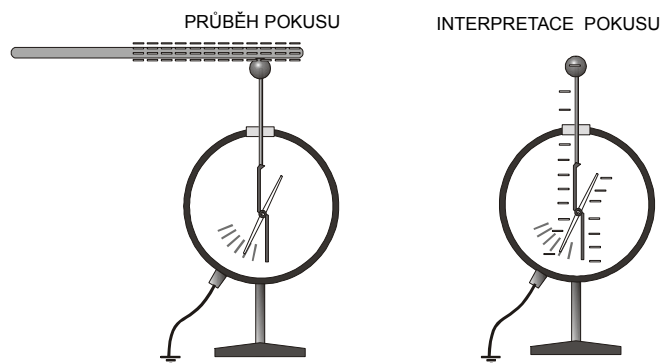
*Otázka pro žáky:* Když třeme srstí nenabitou novodurovou tyč, kam pravděpodobně utekla kladná elektřina, zůstala-li na tyči převaha záporné? (Kladná elektřina přešla na srst a na naši ruku.)

*Provedení:* Předvedeme pomocí indikátoru elektrického náboje. Kladný náboj signalizuje LEDka červená, záporný náboj poznáme ze svitu modré LEDky. Při tření skleněné tyče kůží svítí indikátor při dotyku tyče červeně a při dotyku kůže modře. Při tření novodurové tyče srstí se projeví při dotyku záporný náboj na tyči zářením modré LEDky indikátoru a na srsti indikátor prokáže kladný náboj svitem červené LEDky. Pokud nemáme indikátor náboje, ukážeme opačnou polaritu náboje na novodurové tyči a na srsti, kterou jsme ji třeli, přiblížením k záporně nabitě plechovce se staniolovým páskem. Tyč pásek odpuzuje, srst přitahuje.

### 1.5 Elektroskop

*Otázky pro žáky:* Žákům ukážeme elektroskop, předvedeme jeho funkci nabitím zelektrovanou tyčí a vyzveme je k vysvětlení, proč se vychyluje jeho ručka. Můžeme připojit další problémové úkoly pro žáky – vyslovit předpověď, jak se změní výchylka nabitě elek-

troskopu, jestliže k němu přiblížíme souhlasně nebo nesouhlasně nabitou tyč. (Nabití elektroskopu například záporně nabitou tyčí způsobí odpuzování záporně nabitých nosných tyčků a záporně nabitých ruček elektroskopu. Přiblížením kladně nabité tyče se část záporných nábojů ze spodní oblasti elektroskopu přesune nahoru k tyči s kladným nábojem, a tím se náboj spodní měřicí části zmenší. Obráceně, při přiblížení záporně nabité tyče se záporné náboje působením odpudivých sil do vzdálenější měřicí části – výchylka se proto zvětší.)



obr. 3 Brownův elektrometr

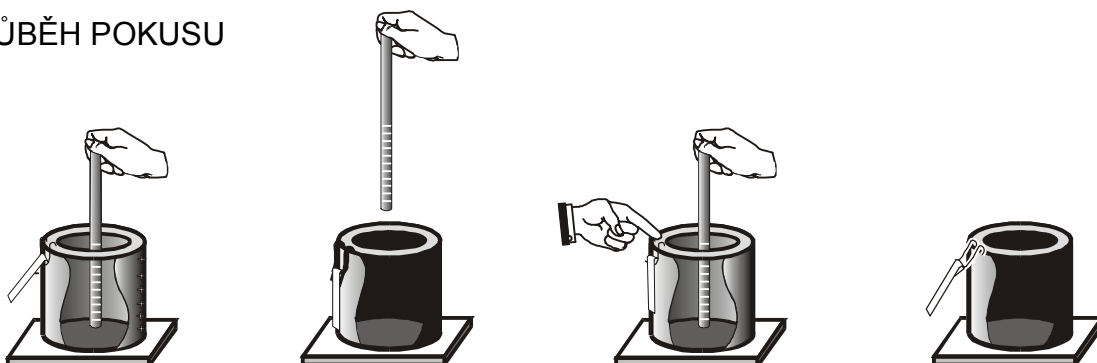
Podobně můžeme požadovat od žáků prognózu chování *nenabitého* elektroskopu při přiblížení nabité tyče.

### 1.6 Elektrování kovu

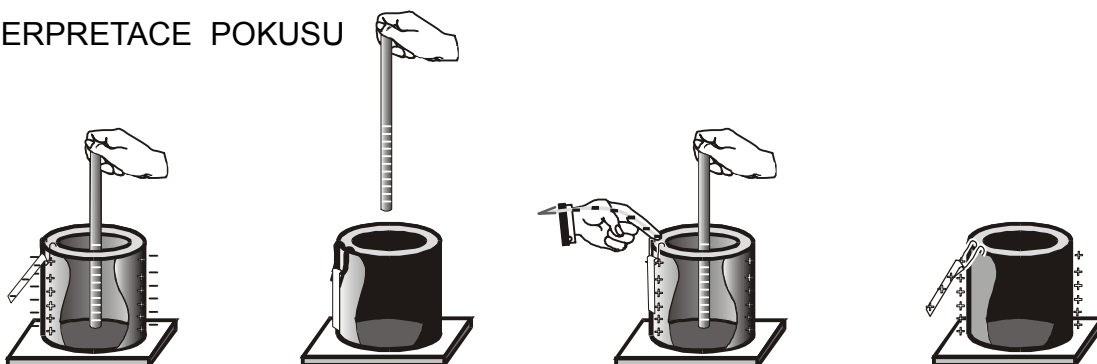
*Provedení:* Ukážeme šleháním elektroskopu srstí, nebo třením plastem, že lze zeaktivovat třením i kovy.

## 2. ELEKTROVÁNÍ ELEKTROSTATICOU INDUKCÍ

### PRŮBĚH POKUSU



### INTERPRETACE POKUSU



obr. 4 nabíjení elektrostatickou indukcí

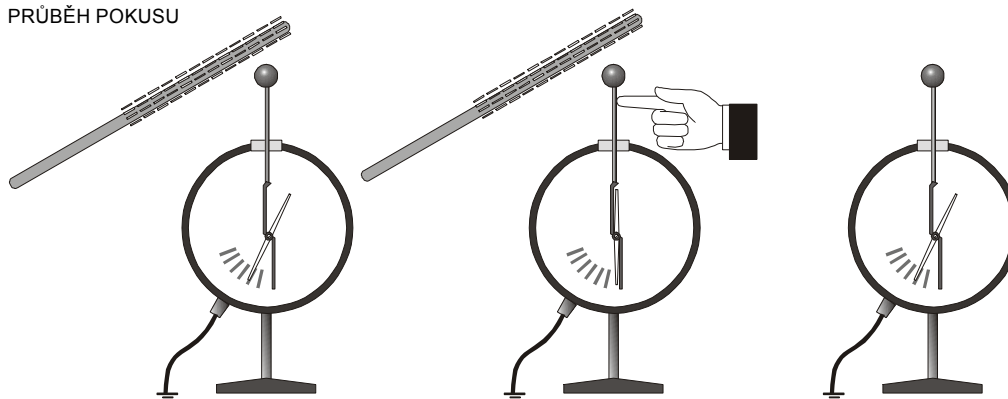
## 2.1 Nabíjení elektrostatickou indukcí

*Provedení:* Do plechovky zasuneme bez dotyku nabitou novodurovou tyč, staniolový lístek se vychýlí. Dotkneme se rukou plechovky, lístek poklesne, ale po vytažení tyče se lístek opět oddálí.

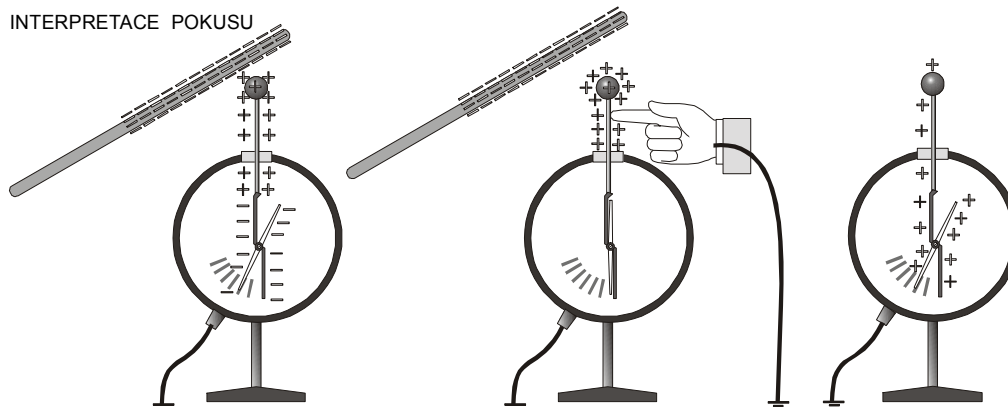
*Otázky pro žáky:* Proč se lístek choval takovým způsobem? (Vysvětlení na schematickém obrázku, jehož interpretaci dotváříme ve spolupráci se žáky.) Jak bychom mohli potvrdit správnost našeho výkladu? (Náboj na plechovce by měl být opačného znaménka než náboj na tyči. To lze ukázat jednak přiblížením tyče – lístek se k ní přitahuje –, jednak indikátorem polarity – svítí červená LEDka signalizující kladný náboj na plechovce a záporný náboj na tyči.) Proč při dotyku prstu neutekl z plechovky i kladný náboj? (Držel ho – vázal ho k sobě svou silou – záporný náboj na tyči. Necháme žáky navrhnout název pro náboj, který je připoutaný nabitou tyčí, akceptujeme všechna výstižná označení jako například připoutaný, přidržovaný, držený atd. a pokud se v návrzích žáků neobjeví termín *vázaný náboj*, sdělíme ho sami. Protože se nejedná o významný termín, nemusíme ho po žácích striktně vyžadovat. Obdobně necháme hledat žáky jakékoli výstižné označení pro náboj, který utekl rukou do země – *volný náboj*). Jak se změní průběh pokusu, jestliže se dotkneme prstem zevnitř plechovky? (I v tomto případě odvedeme volný náboj souhlasné polarity jako má zasunutá tyč, což prokážeme pokusem. Při všech obdobných pokusech na elektrostatickou indukci tedy nezáleží na tom, kde se rukou dotkneme.)

## 2.2 Nabíjení elektroskopu elektrostatickou indukcí

PRŮBĚH POKUSU



INTERPRETACE POKUSU



obr. 5 nabití elektroskopu indukcí

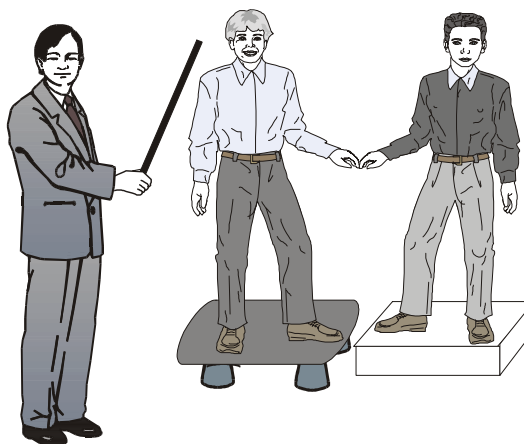
*Provedení:* Nabijeme elektroskop indukcí obdobně jako při pokusu s plechovkou a indikátorem ukážeme polaritu výsledného náboje na elektroskopu.

*Úkol pro žáky:* Vysvětlete pokus obdobně jako v předcházejícím případě. Proč se výchylka elektroskopu neobjeví, jestliže nejdříve od elektroskopu vzdálíme nabitou tyč a teprve potom přerušíme dotyk prstu? (Náboj vázaný opačným nábojem na tyči se oddálením zelektrované tyče uvolní a je rukou odveden do země. Elektroskop zůstane nenabitý.)

### 2.3 Nabítí žáků elektrostatickou indukcí

*Provedení:* Postavíme dva žáky na dva izolované podstavce (například na dvě desky na čtveřicích hrnečků na kávu, na zavařovacích lahvích, nebo na polystyrenu) a ti si podají ruce. Poté k jednomu z nich přiblížíme zelektrovanou novodurovou tyč, žáci se přestanou držet a tyč oddálíme.

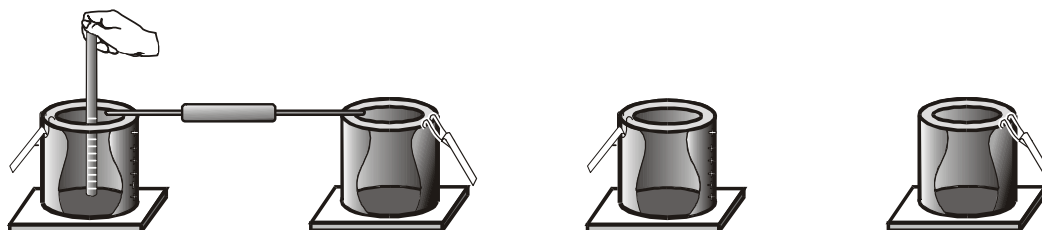
*Úkol pro žáky:* Popsat očekávaný výsledek pokusu a podat jeho výklad. (Žák, který byl blíž nabitě tyči, bude nabit nesouhlasným vázaným nábojem, vzdálenější žák bude nabit souhlasným nábojem. Polaritu lze prokázat indikátorem polarity.)



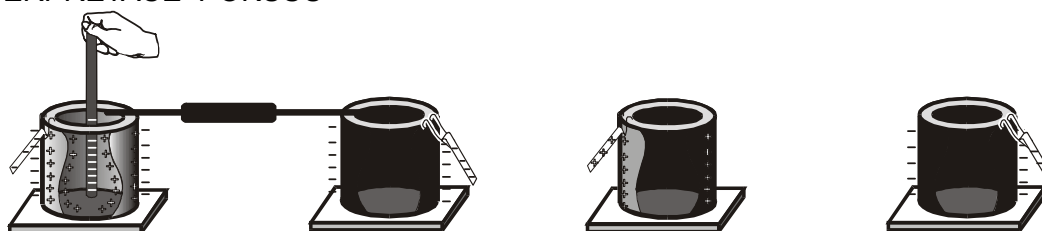
obr. 6 oddělení nábojů elektrostatickou indukcí

### 2.4 Nabítí plechovek elektrostatickou indukcí

#### PRŮBĚH POKUSU



#### INTERPRETACE POKUSU

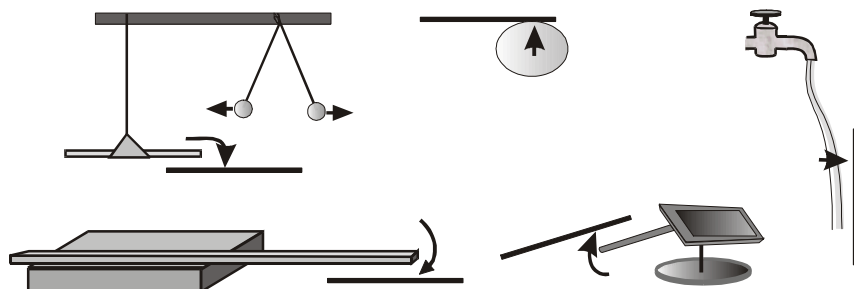


obr. 7 oddělení indukovaných nábojů

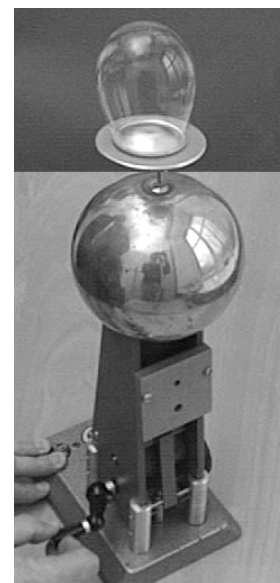
*Provedení:* Obdobný pokus jako s dvojicí žáků můžeme provést s dvojicí plechovek se staniolovými lístky, nebo s dvojicí elektroskopů. Plechovky (elektroskopy) vodivě spojíme kovovou tyčkou, přiblížíme k jedné z nich nabitou tyč a vodivé spojení izolantem shodíme. Lístky na plechovkách ukáží, že i po oddálení nabitě tyče zůstaly plechovky nabité. Indikátorem náboje, nebo odlišným pohybem lístků při přiblížení nabitě tyče, prokážeme, že jsou na plechovkách náboje opačné polarity.

### 3. SILOVÉ PŮSOBENÍ ELEKTRICKÝCH NÁBOJŮ

*Potřeby:* skleněná tyč, amalgamovaná kůže, novodurová tyč, srst, závěs, smeták, kovová lopatka na uhlí, hrotové ložisko, metalizované nebo grafitem potřené pingpongové míčky, dlouhá dřevěná lať, pouťový balonek, antistatický sprej, spojovací vodiče.



obr. 9 silové působení



obr. 8 silové působení na nabitou bublinu

#### 3.1–3.6 Silové působení mezi nabitými tělesy

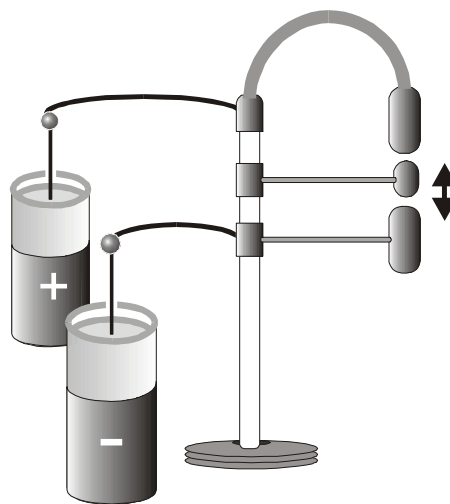
*Provedení:* Běžně známé způsoby demonstrace silového působení nabitých vodičů ukazuje obrázek. U působení nabitě tyče a nenabitých předmětů se v první fázi omezujeme na předměty z vodivých materiálů, aby bylo možno efekty popisovat pohybem elektrických nábojů (elektrostatickou indukcí) a nikoli polarizací.

*Úkol pro žáky:* Popsat očekávaný výsledek a podat výklad efektu na základě přitažlivých sil mezi nesouhlasnými náboji a odpuzivých sil působících na souhlasné náboje.

#### 3.7 Silové působení na nabitou bublinu

(Autorem všech pokusů s nabitými bublinami je Mgr. Břetislav Patč ze ZŠ Brandýs nad Labem.)

*Provedení:* Na konduktor van de Graaffova generátoru nasadíme misku vystřihnutou ze dna plechovky od piva nebo kokakoly, zvlhčenou bublifukovým roztokem. Je možné připravit si vlastní bublinový roztok dle následující receptury (1 lžičce koncentrátu Jar, 1 lžičce cukru nebo lépe medu, 1 lžičce glycerinu, 250 ml destilované vody). Na misce vyfoukneme mýdlovou bublinu a nabijeme ji van de Graaffovým generátorem nebo připojenou indukční elektrikou. Působením elektrostatického náboje konduktoru na bublinu se začne bublina deformovat, až se nakonec odpoutá od podložky. Nabitou bublinu pak můžeme opačně nabitou tyčí nebo rukama (indukují se na nich při přiblížení k bublině opačné náboje) honit po třídě.



obr. 10 elektrické rukátko

*Otázky pro žáky:* Proč dochází k protahování bubliny do výšky? (Bublina je nabitá nábojem stejného znaménka jako kulový konduktor generátoru, proto je od podložky odtlačována.) Proč se bublina hned neodtrhne, co ji drží? (Mýdlový roztok drží u podložky mezimolekulové přitažlivé síly působící mezi bublinou a podložkou.) Jaký je náboj na konduktoru a na bublině, jestliže ji novodurová tyč přitahuje? (opačný, tedy kladný) S jakou tyčí bychom dosáhli odpuzování bubliny? (s kladně nabitou, tedy skleněnou)

*Poznámka:* Obdobný pokus můžeme provést s nenabitou mýdlovou bublinou vyfouknutou brčkem, kterou můžeme ovládat nabitou tyčí.

### 3.8 Elektrostatický „zvonek“

*Provedení:* Elektrody „elektrického ťukátka“ nastavené do vhodné vzdálenosti připojíme k leidským lahvím indukční elektriky. Mezi elektrodami a středním kladívkem na pružném pásku začnou zpočátku přeskakovat jiskrové výboje, poté se kladívko elektrickými silami rozkmitá a pokračuje v kmitání i po přerušení otáčení elektriky, pokud se leidské láhve nevybijí.

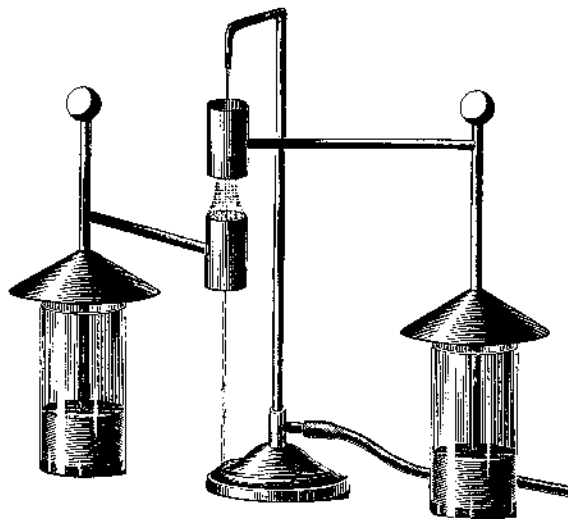
*Úkol pro žáky:* Vysvětlit chování kladívka. (Nejdříve dojde přeskokem jiskry k nabití kladívka, které se elektrickým působením nabitých elektrod rozkmitá, a poté se střídavým nabíjením kladným a záporným nábojem udržuje v kmitavém pohybu, dokud kladívkem přenášené náboje nevyrovnejší opačné náboje leidských lahví.

*Poznámka:* Pokus lze předvést i s dvojicí opačně nabitých leidských lahví nebo plechovek a zavěšeného pingpongového míčku, jehož povrch jsme potřeli grafitem.

### 3.9 Silové působení na vodní paprsek

*Provedení:* Sestavíme pokus dle obrázku. Duté válcové vodiče (průměr asi 4 cm) připojíme například k leidským lahvím a osou válečků necháme protékat tenký čůrek vody. Při průchodu prvním válečkem – např. s kladným nábojem –, se proud vody u spodního okraje tříští, druhý, záporně nabitý váleček proud vody opět zceluje.

*Úkol pro žáky:* Vysvětlit rozdílné působení válečků na proudící vodu. (Elektrostatickou indukcí se u okrajů válečku kapičky vody trhají a nabíjí. U vnější části vodní spršky jsou částice záporně nabitě – opačně než váleček –, u osy mají náboje stejnou polaritu. Při průchodu druhým válečkem, který má záporný náboj, jsou záporně nabitě vnější kapky tlačeny opět k ose, proud vody se zceluje.)



obr. 11 působení elektrického pole na čůrek vody



## 4. ROZLOŽENÍ NÁBOJE NA VODIČI

### 4.1 Absence náboje na vnitřním povrchu dutého vodiče

*Otázky pro žáky:* Při přenášení elektrického náboje na plechovku jsme viděli, že se náboj rozprostřel po plechovce a nezůstal jen na místě, kde jsme tyč setřeli. Protože jde o náboj stejného znaménka, budou se přenesené náboje od sebe odtlačovat a vzdalovat co nejvíce. Kde se tedy asi elektrický náboj rozprostře a kde nikoli? (Na vnitřní stěně plechovky by byl náboj víc u sebe a proto se dá očekávat, že ho odpudivé síly odtlačí dál na vnější povrch.) Jak bychom mohli tuto předpověď potvrdit, nebo vyvrátit? (Zavěšením staniolových polepů na vnitřní stěnu plechovky.)

*Provedení:* Plechovku na izolovaném podstavci opatříme staniolovými lístky na vnější i vnitřní straně a nabijeme ji ze elektrovanou tyčí. Vnitřní lístky se nevychýlí, vnější ano.

### 4.2 Přejed náboje z vnitřního povrchu na vnější povrch

*Provedení:* Do vnitřku plechovky se staniolovými lístky přenášíme zkusmou kuličkou náboj z elektriky nebo z van de Graaffova generátoru. Následujícím dotykem kuličky s elektroskopem ukážeme, že je kulička nenabitá.

*Úkol pro žáky:* Vysvětlíte, proč se o náboj kuličky plechovka s kuličkou nepodělila, ale celý náboj zůstal na plechovce? (Při dotyku přešel celý náboj kuličky na vnější povrch plechovky, takže na kuličce uvnitř nezůstal žádný náboj, stejně jako žádný nezůstal na vnitřním povrchu.)

### 4.3 Přejed náboje z vnitřního povrchu na vnější povrch u van de Graaffova generátoru

*Provedení:* Sejmeme konduktor z van de Graaffova generátoru a ukážeme, jak se náboj z pásu přenáší na vnitřní povrch konduktoru.

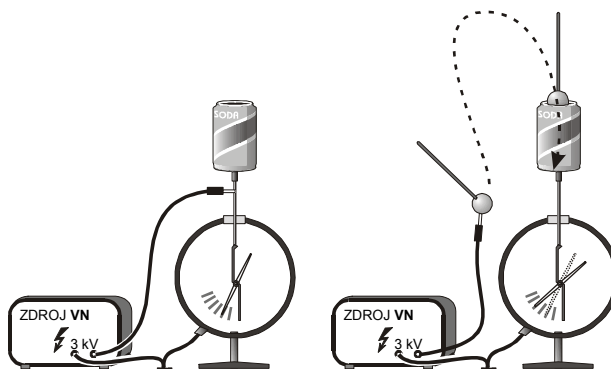
*Otázka pro žáky:* Vysvětlíte, proč je výhodné přenášet elektrický náboj z pásu generátoru dovnitř konduktoru. (Přenesený elektrický náboj odkud okamžitě přechází na jeho povrch, takže přestupu dalších nábojů z pásu nebrání žádné elektrické odpudivé síly.)

### 4.4 Přebíjení vodiče na větší potenciál, než má zdroj

Skutečnost, že se náboj z vnitřního povrchu dutého vodiče přemísťuje na vnější povrch, umožňuje nabít vodič na větší potenciál, než je potenciál zdroje.

*Provedení:* Elektroskop s konduktorem (plechovka od piva) nabijeme dotykem nabitě leidenské láhve nebo zdrojem vysokého napětí na takový potenciál, aby byl lístek odkloněn asi do jedné třetiny stupnice (cca 3 kV). Poté spojení přerušíme a dovnitř konduktoru přenášíme ze zdroje kuličkou na izolačním držáku další náboje. Náboje se přemísťují na povrch a potenciál roste nad úroveň potenciálu zdroje. Tak můžeme ze zdroje 3 kV nabít elektroskop na potenciál třeba dvojnásobný.

Následujícím spojením s nabitým zdrojem (nerozhoduje, zda spojení uděláme s vnějším povrchem, nebo s vnitřní stěnou konduktoru) se potenciály opět vyrovnají.



obr. 12 nabíjení vodiče na větší potenciál, než má zdroj



*Otázka pro žáky:* Jak je možné, že na povrchu vodiče je větší náboj než při připojení ke zdroji? (Přenesené elektrické náboje z vnitřku vodiče přecházejí na povrch, takže vnitřní povrch je stále nenabitý. Při přenášení náboje ovšem koná naše ruka práci, když nabitou kuličku přibližujeme k souhlasně nabitě plechovce, která na ni působí odpudivými silami. Tyto síly, přestože jsou tak malé, že je prakticky nepocítíme, musíme překonávat, dokud kuličku nevsuneme dovnitř plechovky. Vzrůst energie nabíjené plechovky je tedy na úkor práce ruky.)

## ELEKTRICKÉ POLE

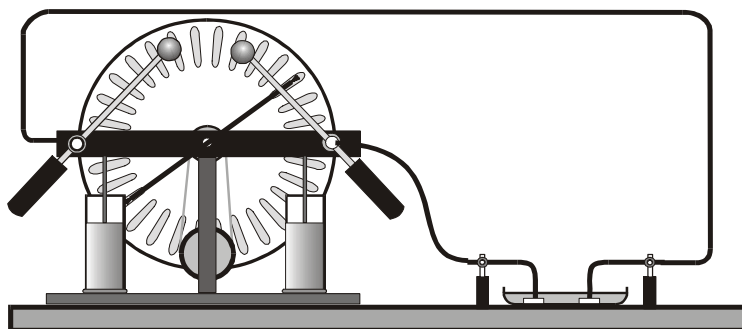
*Potřeby:* izolanty (porcelánové talíře a hrnečky na kávu), van de Graaffův generátor nebo indukční elektrika, Petriho miska, elektrody různých tvarů, vysokonapěťové kabely, krupice, ricinový olej, zpětný projektor, elektrické chocholy, kovový kbelík, bateriový přijímač, PET-láhev, kovové autíčko, směs éteru s benzínem, vatička, 2 kovové mřížky s proužky papíru, bezové kuličky, kovový hrot, elektrostatický motor, svíčka, elektrofor.

### 5. MODELOVÁNÍ ELEKTRICKÉHO POLE

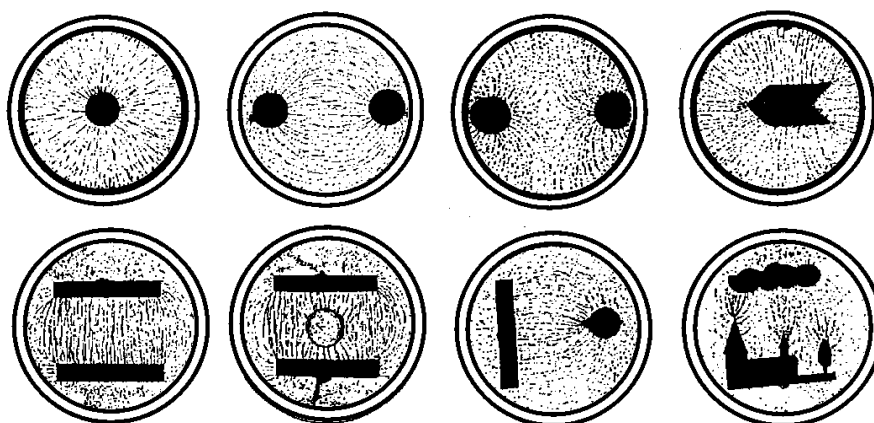
#### 5.1 Modelování elektrických siločar krupicí v oleji

*Provedení:* Uspořádání pokusu je zřejmé z obrázku. Přívodní vodiče by měly vést vzduchem a vzájemně se nekřížit. Olej by měl sahát přibližně do výšky 3–5 mm a měl by být krupicí jemně posypán až před demonstrací. Vhodné je promítat vykreslené siločáry zpětným projekto-rem.

*Poznámka:* Při demonstraci radiálního pole kolem kruhové elektrody, dvou kruhových elektrod se souhlasným nábojem a Kolbeova vodiče vložíme do misky obvodovou kruhovou elektrodu a vodič ji spojíme s druhým pólem.



obr. 13 modelování elektrických siločar krupicí v oleji



obr. 14 modely elektrostatického pole krupicí v ricinovém oleji pro různé elektrody

*Otázka pro žáky (Otázku zařadíme až po diskusi o chování nevodiče v elektrickém poli):* Proč se řetězí zrnka krupice v elektrickém poli? (Zrnka se v elektrickém poli stanou dipóly, které se opačnými náboji zřetězí.)

*pokračování v dalším čísle*