

Pokusy z elektrostatiky v heuristické výuce fyziky II.

Milan Rojko¹, Gymnázium Jana Nerudy Praha

V dobách svého mládí (před dovršením šedesátky) jsem cestoval s maxikufrem pomůcek po vlastech českých, moravských a slezských a dělal chytrého před chytřejšími kantory, než jsem já. Jedna z mých produkcí pokusů byla věnována elektrostatice. Aby si účastníci nemuseli dělat poznámky a mohli se soustředit na pozorování, vyrobil jsem pro ně jakýsi scénář toho, co jsem předváděl. Množil jsem to sám na koleně a neprošlo to žádnou recenzí ani jinou korekturou. Všichni účastníci to zdarma dostávali od pořadatelů akce. Protože byla brožura jen černobílá a dostala se jen k omezenému počtu učitelů, na podnět Školské fyziky jsem připravil verzi s některými obrázky v barvě, která bude v časopise postupně vycházet (na pokračování).

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 benzinem, vatička, 2 kovové mřížky s proužky papíru, bezové kuličky, kovový hrot, elektrostatický motor, svíčka, elektrofor.

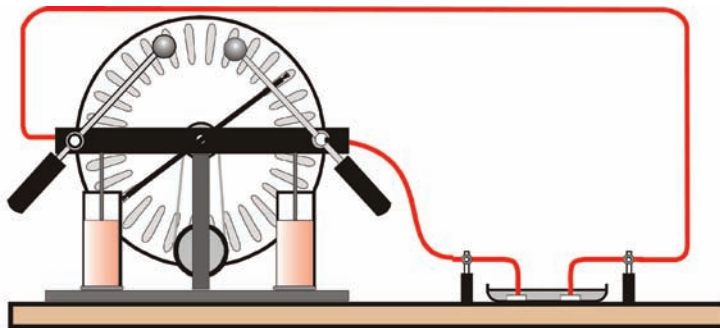
5. Modelování elektrického pole

5.1 Modelování elektrických siločar krupicí v oleji

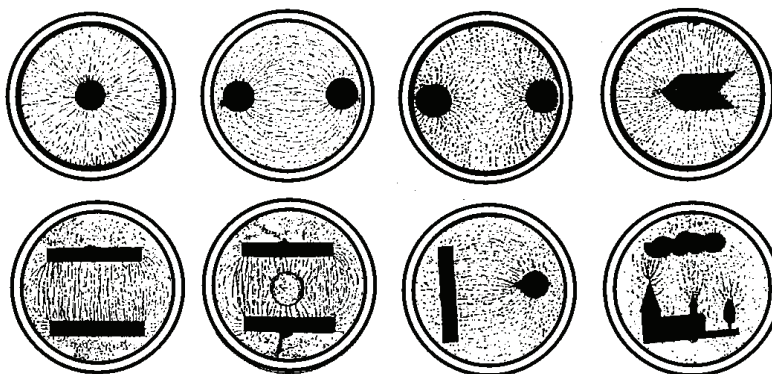
Provedení: Uspořádání pokusu je zřejmé z obrázku.

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 projektořem.

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



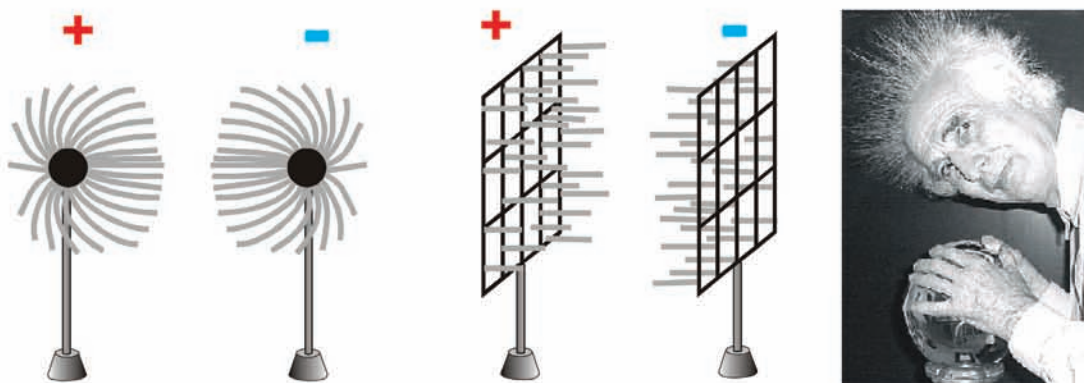
Obr. 14 – modely elektrostatického pole krupicí v ricinovém oleji pro různé elektrody

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.)

¹ milan.rojko@atlas.cz

5.2 Modelování pole

Aby žáci měli o průběhu siločar – neviditelných „ručiček“ elektrického pole – prostorovou představu, modelujeme průběh běžným způsobem pomocí papírkových chocholů a vlasů, jak ukazuje obr. 15.

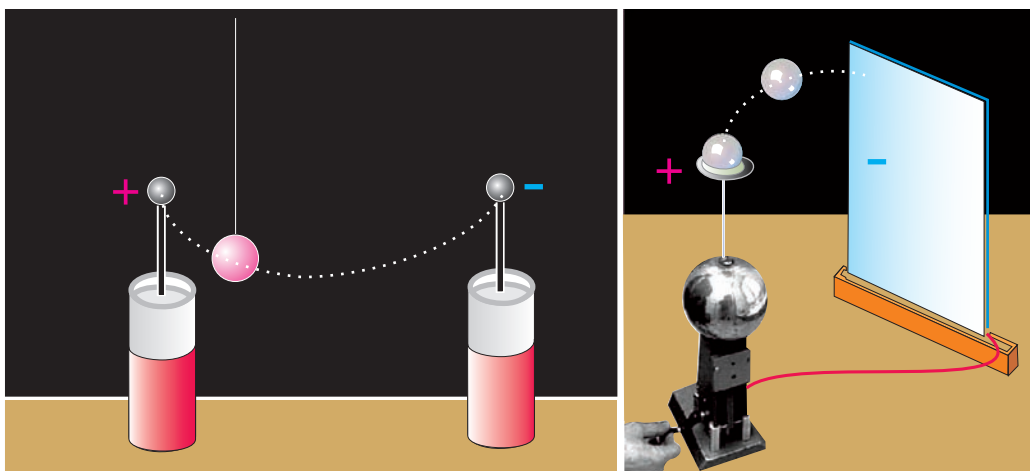


Obr. 15 – prostorové modelování elektrického pole

5.3 Sondování pole pohybem nabitých bublin

Provedení: Směr působení elektrických sil lze ukázat na pohybu lehkých nabitých objektů v elektrickém poli za podmínky, že jsou brzdící síly dostatečné velikosti ve srovnání se silou působení elektrického pole. Vhodnými objekty jsou mýdlové bubliny nebo tenkostěnné gumové kuličky, které vyfoukneme z tenké gumové blány operačních rukavic apod. Gumové kuličky potřeme vodivým lakem (k dostání v prodejnách radiopotřeb) nebo grafitem a zavěsíme na dlouhé, co nejtenčí vlákno. Kuličku necháme běžet například mezi dvojicí nabitých leidenských láhví, nebo mezi van de Graaffovým generátorem a opačně nabitou rovinnou kovovou deskou na izolátoru. Žáky upozorníme, aby si všímali trajektorie, po které se bubliny a balonky pohybují. Nelétají přímo, ale po křivkách, které naznačují, jaký je směr působících elektrických sil.

Úkoly pro žáky: Naznačte prstem, kudy jdou siločáry mezi oběma vodiči. (Vedeme žáky k tomu, aby siločáry „viděli“ v prostoru, nejen ve vodorovné rovině. Za úkol mohou žáci dostat vyrobit prostorový model siločar mezi dvěma kuličkami pomocí drátků nebo několika pružných proutků.) Vysvětlete, proč se vodivý balonek vrací po dotyku zpět. (Pokud je balonek vodivý, změní po dotyku s druhou elektrodou svůj náboj a je odpuzován opět nazpět. Nevodivý balonek se vybije jen lokálně v místě svého dotyku a zůstane přichycen. Vodivý balonek bude kývat mezi láhvemi, dokud je přenášením nábojů opačné polaristy nevybije.)



Obr. 16 – sondování pole pohybem nabité bubliny

6. Stínění elektrického pole

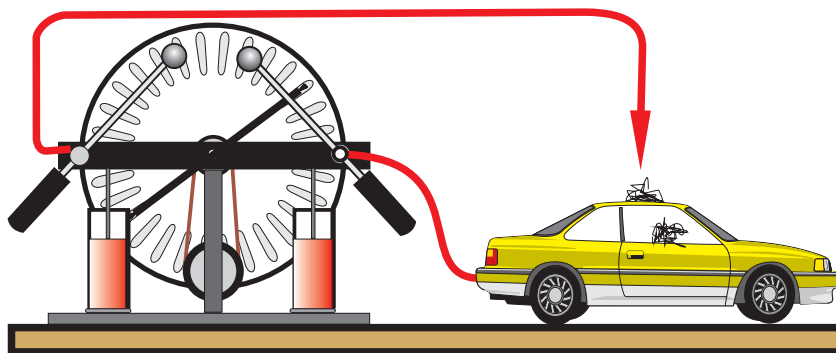
6.1 Stínění pole uvnitř dutého uzavřeného vodiče

Provedení: Tranzistorový přijímač naladěný v pásmu středních vln mimo příjem stanice nastavíme na maximální zesílení zvuku. Jestliže v jeho blízkosti elektrujeme novodurovou tyč třením, ozývá se z přijímače praskání způsobené zachycováním elektromagnetických vln vytvářených při elektrování. Přijímač reaguje i na jiskrové vybití nabitého předmětu (plechovky) přiblížením prstu. Jestliže vložíme přijímač do kovové nádoby, přestane signály zachycovat. Jestliže ale uchopíme anténu přijímače do ruky vsunuté do nádoby, staneme se venkovní anténou a přijímač opět reaguje. Stínění elektrostatického pole je vidět při modelování pole krupicí v oleji. Vložíme-li do pole vodivý kroužek, piliny se v něm do siločar neřetězí (viz obr. 14).

Otázka pro žáky: Jednodušší opravy vedení vysokého napětí dělají pracovníci na vodičích pod napětím. Jaký oděv je dokáže ochránit před úrazem? Z jakého materiálu musí být ochranné stany, do nichž se horolezci uchylují při nebezpečí zásahu bleskem? (Povrchová izolující vrstva ochranného oděvu nebo stanu je doplněna kovovým povlakem na vnitřní stěně. Vnitřní vodivá uzavřená plocha vymezuje prostor, do něhož elektrické pole – a jeho změny – neproniká.)

6.2 Stínění uvnitř karoserie

Provedení: Do kovového modelu auta vložíme do karoserie chomáček vaty napuštěný směsí benzínu a éteru a stejný chomáček umístíme na střeše. Elektrická jiskra, která přeskočí mezi vybíječem připojeným k jednomu pólu indukční elektriky, a karoserií, spojenou s druhým pólem, zapálí vatičku na střeše, vnitřní vatičku nikoli.



Obr. 17 – stínění vnitřního prostoru auta

Otázky pro žáky: Proč je uzavřený automobil vhodným úkrytem před bouřkou? Proč kvalitní příjem automobilového přijímače vyžaduje vnější anténu? (Kovová karoserie automobilu vymezuje prostor, do něhož nemůže elektrické pole pronikat.)

6.3 Stínění uvnitř mýdlové bubliny

Provedení: Sestava je stejná jako v pokusu 3.7. Na podložce je uprostřed kovový prstenec, na který vyfoukneme druhou vnitřní bublinu, případně naplněnou pro zviditelnění kouřem. Při nabíjení je vnější bublina elektrickými silami zřetelně deformována, zatímco vnitřní bublina, která je chráněna vodivým pláštěm vnější bubliny, zůstává kulová.

Úkol pro žáky: Vysvětlit odlišné chování obou bublin. (Vnější nabitá bublina je vodivá a představuje proto schránku, do níž elektrické pole konduktoru neproniká. Navíc vnitřní bublina, která je vodivě spojena s vnější, nemá elektrický náboj, ten přešel na vnější plášť venkovní bubliny.)



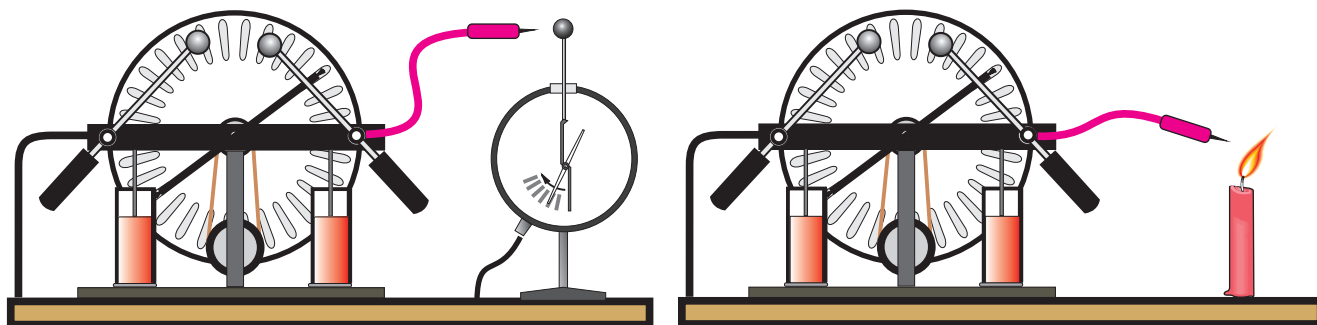
Obr. 18 – stínění uvnitř bubliny

7. Elektrické pole v okolí hrotu

7.1 Sršení elektřiny z hrotu

Provedení: K jedné z elektrod elektriky připojíme vodič zakončený hrotem, který přiblížíme ke konduktoru elektroskopu. Při chodu elektriky se začne elektroskop nabíjet, i když mezi hrotem a konduktorem nedošlo ke kontaktu. Elektroskop se bude nabíjet i v případě, že jeho konduktor opatříme hrotem a namíříme ho ke kulové elektrodě elektriky (sání hrotem).

Otázka pro žáky: Vyslovte domněnku, jakým způsobem přechází náboj z hrotu na elektroskop. (V okolí hrotu je silné elektrické pole, které dokáže z elektricky neutrálních molekul vzduchu vytvářet ionty. Souhlasně nabitě ionty jsou od hrotu elektrickým polem odpuzovány a jsou zachycovány konduktorem, na jehož přivrácené straně je indukován náboj opačný. Silné pole v okolí hrotu je vidět i z průběhu siločar vykreslených u hrotů na obr. 14.)



Obr. 19 – sršení z hrotu

7.2 Elektrický vítr

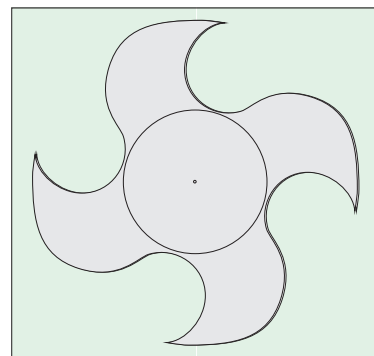
Provedení: K jedné z elektrod elektriky připojíme vodič zakončený hrotem, který přiblížíme k plameni hořící svíčky asi do vzdálenosti 4–5 cm. Plamen se zřetelně odklání od hrotu.

Otázka pro žáky: Vyslovte domněnku, čím je způsobeno ohýbání plamene. (V okolí hrotu je silné elektrické pole, které dokáže z elektricky neutrálních molekul vzduchu vytvářet ionty. Souhlasně nabitě ionty jsou od hrotu elektrickým polem odpuzovány a při svém pohybu s sebou strhávají i okolní vzduch. Jeho proud ohýbá plamen svíčky. Reakcí na tyto síly je opačné působení elektrických sil na hrot, které ovšem rukou neucítíme.)

7.3 Elektrický větrník

Provedení: K jedné z elektrod elektriky připojíme jehlu, na níž je nasazené kolečko s hroty. (Kolečko můžete vystříhnout z plechu limonádové konzervy, okraje kolečka ohněte poněkud dolů. Do středu kolečka udělejte propiskou malý důlek – ložisko pro nasazení na hrot větší jehly, zapíchnuté do velké gumové zátky.) Kolečko se roztočí.

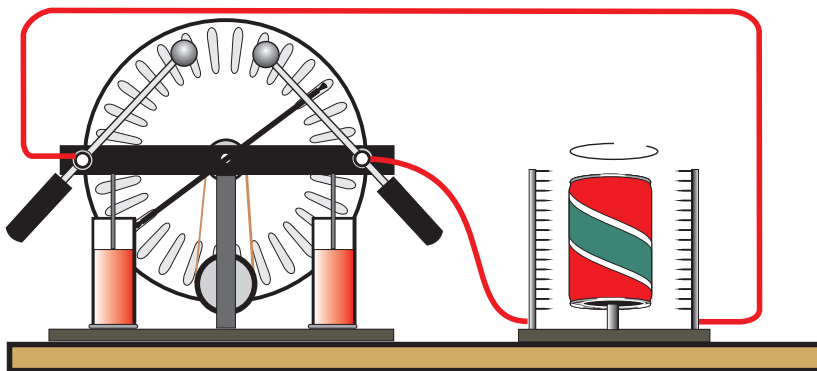
Otázka pro žáky: Vysvětlete, čím je způsobeno otáčení kolečka. (Jde o působení elektrických sil nabitého vzduchu – mraku iontů – a kolečka. Nabitý hrot působí na ionty – ionty působí na hrot.)



Obr. 20 – kolečko s hroty
(průměr asi 10 cm)

7.4 Elektrostatický motor

Provedení: K elektrodám indukční elektriky připojíme hrotové hřebeny elektrostatického motoru. Při chodu elektriky se elektromotor roztočí a v otáčkách pokračuje, i když se kotouče elektriky otáčet přestanou, dokud se leidské láhve nevybijí. (Rotor elektrostatického motoru je plechovka od piva, nebo plastová láhev od limonády, hřebeny jsou udělány z hřebíčků v tyčkách. Hřebíčky jsou vzájemně vodivě spojeny tenkým měděným drátkem.)



Obr. 21 – elektrostatický motor

Otázka pro žáky: Vysvětlete, čím je způsobeno otáčení rotoru elektrostatického motoru. (Vysvětlení je shodné jako v případě působení hrotu na plamen.)

8. Nevodič v elektrickém poli

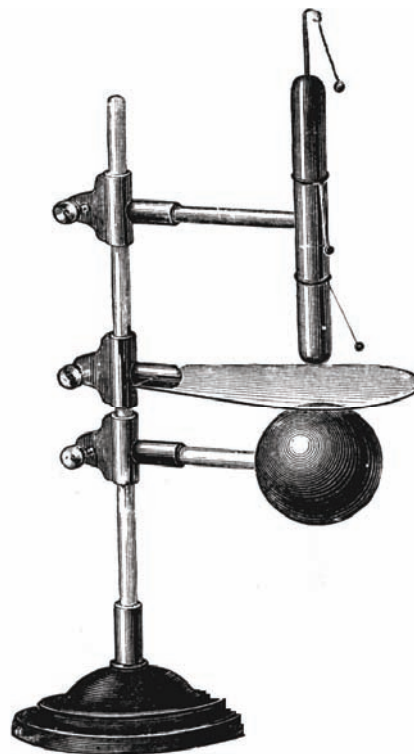
8.1 Model dipólu

Provedení: Obrázek 22 naznačuje vznik dipólu elektricky neutrálního objektu umístěného v elektrickém poli. Náboje na opačných koncích mají opačnou polaritu, jak ukážeme přiblížením (větší vzdálenost!!) nabitě tyče a různou reakcí bezových kuliček. Střední kulička není od elektricky neutrálního středu odpuzována. (Kuličky i závěsy je vhodné potřením grafitem učinit vodivými.)

Vložení slídy mezi kouli a objekt vyvolá zmenšení výchylek krajních kyvadélek.

Úkol pro žáky: Vysvětlit po provedení pokusu chování kyvadélek a jejich reakci na přiblížení nabitě tyče. (Elektrické pole vytvářené nabitou koulí odpudí souhlasné náboje do vzdálenější části horního objektu a přitáhne souhlasné náboje do části bližší. Ve střední části bude předmět elektricky neutrální. Reakce kuliček na přiblížení nabitě tyče bude odlišná. V jedné části budou přitahovány – opačná polarita, ve druhé odpuzovány – stejná polarita.)

Vložení slídy způsobí zeslabení pole, proto se výchylky kyvadélek zmenší.



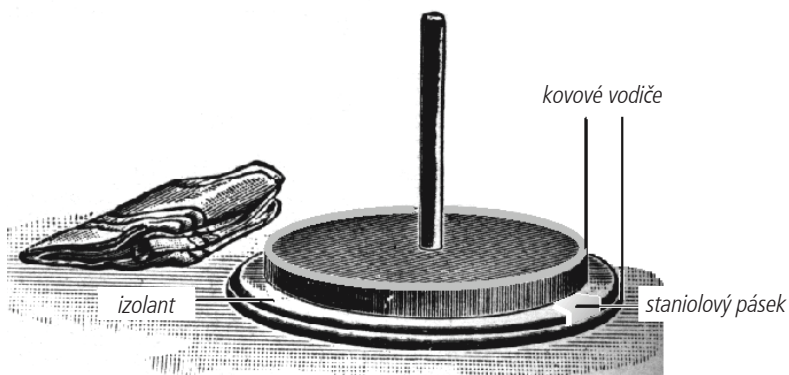
Obr. 22 – vznik dipólu

8.2 Elektrofor

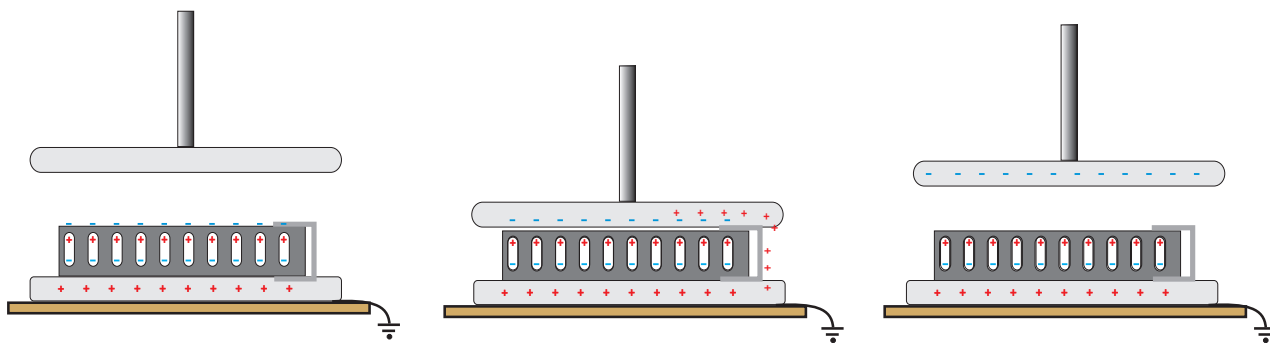
Provedení: Vrchní stranu izolantu elektroforu zelektrujeme srstí a poté opakovaně přenášíme horním kovovým talířem elektroforu na plechovku se staniolovým proužkem náboj. Po každém přenesení náboje plechovku vybijeme, abychom ukázali, že stále přenášíme nový a nový náboj. Elektrofor lze improvizovaně zhotovit z plechovky na oplatky tak, že vnitřní izolant tvoří vrstva parafínu z roztavených svíček. Vrchní a spodní vodivé desky spojuje alobalový proužek na izolantu.

Úkol pro žáky: Hledat vysvětlení vzniku náboje na horní, přikládané desce elektroforu. (Vysvětlení není jednoduché a jeho hledání by mělo postupovat po krátkých krocích, které jsou naznačeny na obr. 24.)

Otázka pro žáky: Při přenášení náboje z elektroforu na elektroskop jde vlastně o předávání energie elektroskopu. Kde se tato energie bere? Vypadá to, jako by elektrofor byl bezedným zdrojem energie. (Při zvedání horní nabitě desky elektroforu koná naše ruka práci při překonávání elektrických přitažlivých sil. Při zvedání působíme trochu větší silou, než při zvedání nenabitě desky. Oddělování nábojů je výsledkem naší práce.)



Obr. 23 – elektrofor



Obr. 24 – fungování elektroforu

pokračování příště