

## Emanovy pokusy

Dana Mandíková, Zdeněk Drozd

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

*S Emanuelem Svobodou jsme měli možnost spolupracovat řadu let. Společně s ním a s dalšími kolegy jsme roku 1995 připravovali první Veletrh nápadů učitelů fyziky. Tehdy jsme ještě netušili, jak velkou a úspěšnou budoucnost bude Veletrh mít. Za dlouhou dobu spolupráce s Emanem jsme oba měli nejednu příležitost být u toho, když při různých příležitostech předváděl pokusy. Vybrali jsme několik z nich – takových, které máme s Emanem obzvláště spojeny, a předvedli je v úvodním vystoupení 25. Veletrhu nápadů. Několik z těchto pokusů popisujeme v tomto příspěvku.*

### Úvod

V tomto článku popisujeme několik experimentů, které máme spojeny s Emanuelem Svobodou. Zvolili jsme formu „návodů k provedení pokusů“, aby je případný zájemce mohl snadno zopakovat. U jednotlivých pokusů najdete seznam pomůcek, doporučení, jak pokus provádět, a stručné vysvětlení. K popisovaným pokusům jsou připojeny návodné fotografie. Pojdme si tedy připomenout několik Emanových pokusů.

### Soužití vody s vínem

#### **Pomůcky:**

K tomuto pokusu budete potřebovat dvě stejné skleničky na víno, tenkou plastovou kartu, plastovou podložku do sešitu nebo něco podobného, co je možné mezi skleničky vložit, vodu a červené víno. Pokus nejlépe dopadne, když použijete víno s co největším obsahem alkoholu (např. 14 %) a vychlazenou vodu.

#### **Popis experimentu:**

Jednu skleničku postavte na stůl a nalijte do ní víno až „po okraj“. Druhou skleničku naplňte vodou a přiklopte ji plastovou kartou. Kartu přidržujte na sklenici, opatrně ji otočte dnem vzhůru a položte na sklenici s vínem (výsledek vidíte na obr. 1).



Obr. 1. Uspořádání skleniček při experimentu.

Po úspěšném umístění skleniček na sebe povytáhněte kartu tak, aby vznikla štěrbina asi 2 až 3 mm, kterou bude proudit voda z horní sklenice do sklenice s vínem a naopak. Postupně budete pozorovat, jak si voda a víno vyměňují své „pozice“.

### ***Vysvětlení pokusu:***

Vysvětlení tohoto efektního pokusu je jednoduché. Voda má větší hustotu než víno. Po vytvoření štěrby správné šířky klesá voda dolů a vytlačuje víno s menší hustotou nahoru. Tenká štěrbina, kterou k výměně kapalin dochází, neumožní jejich promíchávání. Pokus lépe dopadne, když použijete studenou vodu a víno. Při nižší teplotě bude mít na pokus menší vliv difúze, která má snahu kapaliny promíchat. K lepšímu výsledku přispěje i víno s vyšším obsahem alkoholu, rozdíl hustot vody a vína je pak větší.

## **Pokus s olověnou trubkou**

### ***Pomůcky:***

K pokusu si sežeňte starou olověnou vodovodní trubku. Je to sice dnes již „nedostatkové zboží“, pokud ale někde ve vašem okolí probíhá rekonstrukce vodovodního rozvodu, možná tam olověnou trubku seženete. Z trubky uřízněte dva kusy dlouhé asi 10 cm (mohou být i kratší). Na jednom konci každý z těchto dílů provrtejte a do otvoru nasuňte pevný závěs z tvrdého drátu. Počítejte s tím, že závěs musí unést několik kilogramů (možná i deset).

Dále budete potřebovat malá závažíčka s háčky na obou stranách (50 g, 100 g – např. ze starých souprav pro mechaniku) a nějaká těžší závaží (1 kg, 2 kg). Větší závaží opatřete závěsy (stačí přivázat k nim pevný provázek a udělat na něm očko). Další pomůckou bude stabilní stojan s úchytem a nějaká pružná podložka, na kterou mohou závaží dopadnout tak, aby nepoškodila podlahu, stůl apod. Připravte si ještě pilník na kov (pokud máte soustruh, bude výsledek pokusu mnohem působivější – předpokládáme ale, že soustruh není běžným vybavením vašich kabinetů...).

### ***Popis experimentu:***

Sestavte pevný stabilní stojan a umístěte ho tak, aby na něj bylo možné zavěsit olověnou trubku. Pod ní musí být dostatečný prostor pro druhou část olověné trubky a několik závaží. Pod stojan dejte pružnou podložku, která ztlumí dopad těžkých závaží na podlahu, popř. stůl. Uspořádání pokusu vidíte na obr. 2.

Těsně před pokusem obě části trubky (konce, které nejsou opatřeny závěsy) obruste pilníkem. Zabroušené plochy musí být rovné. Pokud máte k dispozici soustruh, opracujte konce trubek na něm. Obě trubky k sobě přitiskněte (obroušenými konci), přitlačte je a mírně jimi vůči sobě pootočte (jako byste je chtěli sešroubovat). Trubky se k sobě přichytí a vy je zavěste na stojan. Nyní začněte spojené kousky trubek zatěžovat. Začněte menšími závažími a postupně přidávejte závaží těžší. Závaží zavěšujte pomalu a opatrně. Spoj má dobrou „pevnost v tahu“, ale snadno ho porušíte, pokud trubky při zatěžování ve spoji jakoby navzájem nalomíte (pevnost ve stříhu je malá). Pokud jste trubky správně obrousili, unesou i několik kilogramů zátěže. (Nám se podařilo až 12 kg, počítejte ale spíše s tím, že spoj povolí okolo 3 kg.)

### **Vysvětlení pokusu:**

Olovo je měkké a snadno se vám podaří přitisknout k sobě dva kousky trubky tak, aby se některé atomy olova dostaly do tak malé vzdálenosti, že se mezi nimi projeví mezičásticové přitažlivé síly. Je ale zapotřebí odstranit vrstvu nečistot na povrchu ploch, které k sobě následně přitisknete (to uděláte pilníkem, soustruhem apod.). Podle našich zkušeností se obroušené plochy poměrně rychle opět pokryjí vrstvami oxidů. Dobrého výsledku dosáhnete, když pokus provedete do půl hodiny po úpravě styčných ploch.



Obr. 2. Zatížené spojené kousky olověných trubek.

### **Délková roztažnost gumy**

#### ***Pomůcky:***

K pokusu budete potřebovat modelářskou gumu s průřezem např. 3 mm × 3 mm. Můžete samozřejmě použít i jinou gumu, je zapotřebí vyzkoušet, jestli s ní pokus bude dostatečně průkazný. Délka gumy by měla být okolo jednoho metru.

Dále si připravte stabilní pevný stojan, na který gumu připevníte, závaží o hmotnosti 0,5 kg (podle toho, jakou gumu použijete, bude možná vhodnější jiné závaží – to musíte vyzkoušet). Dalšími pomůckami budou teplomet nebo aspoň fén, špejle, gumička a dřevěná měřicí tyč ve stojánku (vše je vidět na obr. 3b).

#### ***Popis experimentu:***

Na koncích gumy udělejte očka (viz obr. 3a). Gumu zavěste na stojan a zatíže závažím. Ke stojanu pomocí gumičky uchyťte špejli ve výšce spoje očka a prostrčte ji drátkem na očku. Získáte ukazatel změny délky gumy. K volnému konci špejle přisuňte nějakou měřicí tyč (v našem případě je to dřevěný metr ze soupravy pro mechaniku). Ukažte žákům, jak

se pohybuje konec špejle, když se guma protahuje a jak, když se naopak zkracuje. Gumu zahřívejte teplometem nebo fénem. Pokud použijete fén, „přejíždějte“ proudem teplého vzduchu gumu v celé délce (vhodný teplomet zajistí relativně rovnoměrný ohřev podél velké části gumy). Všimněte si, jak se pohybuje volný konec špejle podél měřicí tyče. Po chvíli bude zřetelně vidět, že se guma při zahřívání zkracuje.

### **Vysvětlení pokusu:**

Při výuce délkové roztažnosti se většinou mluví pouze o případě, kdy se s rostoucí teplotou zvětšuje rozměr zkoumaného předmětu (prodlužují se koleje, dráty elektrického vedení apod.). Žáci potom mohou nabýt dojmu, že rostoucí teplota vždy způsobuje zvětšování rozměrů zahřívaného tělesa. Toto platí např. pro kovy, o kterých v této souvislosti většinou mluvíme. Žáci by ale mohli vědět, že tomu tak není vždy. Znají např. anomálii vody, kdy se v teplotním intervalu zhruba  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (za normálního tlaku) s rostoucí teplotou zmenšuje objem vody. Existuje ale více materiálů, u kterých se v určitém teplotním intervalu rozměry s rostoucí teplotou zmenšují. Guma je příkladem takového materiálu.

Vysvětlení tohoto děje není jednoduché. Stejně tak není úplně snadné vysvětlit mechanismus teplotní roztažnosti prve zmíněných kovů. K tomu je zapotřebí podstatně složitější „aparát“ než je ten, který si můžeme dovolit použít na gymnáziu (o ZŠ už vůbec nemluvě...). U teplotní roztažnosti se tedy spokojíme s jejím empirickým popisem, není ale na škodu, když vaši žáci budou vědět, že rostoucí teplota nemusí vždy způsobovat zvětšování rozměrů zahřívaného materiálu.



Obr. 3a. Detail oček (vlevo horní, vpravo dolní očko s drátkem, do kterého zasouváme špejli).



Obr. 3b. Demonstrace délkové „roztlačnosti“ gumy (v pozadí je detail promítaný z kamerového záznamu pokusu).

## Regulace plamínku svíčky a princip Davyho lampičky

### **Pomůcky:**

K pokusu budete potřebovat kus železného nebo měděného drátu (průměr např. 1 mm), svíčku, plynový kahan nebo jiný výkonný plynový hořák, kleště a kovový cedník.

### **Popis experimentu:**

Z drátu umotejte spirálku, která bude mít takový průměr a délku, aby se dala „nasunout“ na plamínek svíčky. Jeden konec drátu nechte v dostatečné délce „přečnívat“. Za ten budete spirálku při provádění pokusu držet. Zapalte svíčku, počkejte, až se rozhoří, a potom na plamínek pomalu nasouvejte spirálku. Plamínek u spirálky mizí – můžete ho zkracovat. Při dostatečném nasunutí plamínek dokonce může i zhasnout. Ihned potom spirálku zvedněte – plamínek se opět rozhoří. Vysvětlete tuto část pokusu (vysvětlení je v následujícím odstavci) a ukažte žákům, jak se situace změní, když spirálku nahřejete plynovým hořákem. Nahřátí musí být značné – spirálka se přitom začne barvit do červena. Nyní plamínek spirálkou prochází. Jednotlivé fáze experimentu jsou vidět na obr. 4. (Spirálku raději držte pomocí kleští.)



Obr. 4. Průběh pokusu se spirálkou a svíčkou.

### **Vysvětlení pokusu:**

Drát, ze kterého je spirálka zhotovena, je dobrým vodičem tepla. Plamínek svíčky tvoří hořící parafínové páry, které se uvolňují z knotu svíčky. Když k plamínku přiblížíte spirálku, začne odvádět teplo z daného místa a snižuje teplotu pod hodnotu zápalné teploty parafínových par. Ty pak v místě, kde spirálka je, nemohou hořet. Když nasunete spirálku tak, že obejmě celý plamínek, plamínek zhasne. Po dostatečně rychlém oddálení spirálky doutnajícím knot parafínové páry opět zapálí.

Když spirálku předem dostatečně nahřejete, nedojde po jejím nasazení na plamínek k odvodu tepla a snížení teploty. Plamínek v tom případě „prohořívá“ spirálkou.

### **Rozšíření experimentu:**

Na pokus se spirálkou a svíčkou můžete navázat tak, že na plamínek „nasadíte“ kovový cedník. Ze stejného důvodu jako prve plamínek hoří pouze pod sítkou cedníku.

Předvedli jste princip slavné Davyho lampičky. Ta zachránila v dávných dobách životy mnoha horníků. Při práci v dolech je velmi nebezpečné, když horníci narazí na ložisko metanu. Ten je jedovatý a také může vybuchnout. K tomu docházelo, když horníci používali kahany s otevřeným plamenem. Davyho napadlo obalit lampičku kovovým

sítkem (podobným cedníku). Když horníci narazili na metan, ten pronikl dovnitř lampičky, začal hořet a plamen se zjasnil. Vně obalového sítka ale teplota nebyla k zapálení metanu dostatečná, metan tam tedy nehořel, podobně jako parafínové páry nehoří nad cedníkem. Když horník zpozoroval, že se Davyho lampička rozzářila, byl to signál, že do ní proniká metan a že je zapotřebí rychle důl opustit. Je to krásná ukázka toho, jak důležité a užitečné jsou fyzikální znalosti. (Podrobný popis obou pokusů lze nalézt v [3].)



Obr. 5. Princip Davyho lampičky.

## **$\sigma$ -lodička (neboli lodička poháněná silami povrchového napětí)**

### ***Pomůcky:***

K pokusu si připravte misku s vodou, trochu Jaru nebo jiného saponátu, špejli nebo špendlík a tácek z tvrzeného polystyrénu (bývá součástí některých vakuovaných balení sýrů). Z táčku vystříhnete lodičku podobného tvaru, jako je na obrázku 6.

### ***Popis experimentu:***

Na hladinu vody v misce položte lodičku. Počkejte, až se uklidní, namočte špejli, nebo špičku špendlíku do saponátu a koncem s kapičkou saponátu se dotkněte hladiny vody za lodičkou (v místě, kde je vykrojená). Lodička popojede kupředu. Hladiny vody se za lodičkou můžete pokusit dotknout opakovaně, po několikerém dotyku ale efekt ustane.



Obr. 6. Pokus se  $\sigma$ -lodičkou.

### ***Vysvětlení pokusu:***

Když lodička leží na hladině čisté vody, působí kolmo na její obvodové hrany síly povrchového napětí. Ty mají směr tečný k hladině. Výsledná povrchová síla, která na lodičku působí, je nulová, a proto síly povrchového napětí lodičku nikam nerozjždí. Kapička saponátu sníží povrchové napětí a tím i velikost povrchové síly v místě, kam jste ji kápli. Situace je nyní taková, že výslednice povrchových sil v části, kde je v dotyku saponát

a lodička, je menší, než výslednice povrchových sil na rozhraní vody a jí obklopené části obvodu lodičky. Povrchové síly na rozhraní voda-lodička tedy lodičku popotáhnou vpřed. Saponát se ale rychle rozteče po hladině vody, lodička je obklopena kapalinou stejného složení a další přidávání saponátu již nemá „rozjížděcí účinek“.

## Vzlínání vody mezi dvěma skly

### **Pomůcky:**

K pokusu si připravte dvě tenké průhledné skleněné destičky, lepicí pásku, misku s plochým dnem a vodu obarvenou potravinářským barvivem.

### **Popis experimentu:**

Do misky (může to být třeba Petriho miska) nalijte obarvenou vodu. Na okraj jedné skleněné destičky nalepte na sebe několik pásků lepicí pásky a přitiskněte k ní druhou destičku. Destičky se pod malým úhlem rozestupují a mezi nimi je klínová vrstva vzduchu. Obě destičky ponořte spodním koncem do obarvené vody. Voda začne stoupat mezi skla a vytvoří zajímavý útvar, jehož hranicí je krásná větev hyperboly. (Je zapotřebí, aby skla byla čistá – můžete je např. předem umýt v jarové vodě a potom dobře vysušit – dosáhnete tím toho, že voda bude sklo dobře smáčet.)



Obr. 7. Voda vzlínající v klínové vrstvě mezi dvěma skly.

### **Vysvětlení pokusu:**

Mezeru mezi skly si můžete představit jako sadu kapilár vedle sebe, které mají vždy o něco málo větší průměr. Voda tedy stoupá v každé této „kapiláře“ do jiné výšky. Ze vztahu pro kapilární elevaci vyplývá, že výška, do které voda stoupne, je nepřímo úměrná průměru kapiláry. Z toho lze snadno pochopit, proč je horní ohraničení vrstvy vody mezi skly právě hyperbolické.

## Demonstrace beztížného stavu

### **Pomůcky:**

Plastová vanička od margarínu či zmrzliny, tenké delší gumičky, kovové maticky, větší kovová matka jako zátěž, plastelína.

### **Popis experimentu:**

Do dna vaničky udělejte dvě malé dírky, protáhněte jimi gumičky a připevněte je způsobem, který vidíte na obr. 8. Ke koncům gumiček přivažte maticky. Na dno vaničky upevněte pomocí plastelíny větší kovovou matku, která slouží jako zátěž. Vaničku držte v rukou tak, že maticky vytahují gumičky ven (obr. 9). Nyní nechte vaničku padat volným pádem. Maticky „skočí“ dovnitř do vaničky.



Obr. 8. Vanička pro demonstraci beztížného stavu.

### **Vysvětlení pokusu:**

Tento pokus má mnoho variant. Eman byl ale jedním z prvních, kdo ho začal předvádět. Vysvětlení je jednoduché. Když držíme vaničku v ruce, maticky vytahují gumičky ven (na gumičky působí tíha maticek směrem dolů), naopak na maticky působí „síla pružnosti“ natažených gumiček (tou působí gumičky na maticky směrem nahoru). Po puštění vaničky dojde k jejímu volnému pádu a octne se tedy ve stavu beztíže. Zmizí síly, kterými maticky natahovaly gumičky směrem dolů. Síla, kterou natažené gumičky působí na maticky, ale zůstává, a proto jsou maticky vtaženy do padající vaničky.



Obr. 9. Situace těsně před puštěním vaničky z rukou.



## Demonstrace paramagnetismu a diamagnetismu

### **Pomůcky:**

Připravte si dvě skleněné zkumavky a z tlustého měděného drátu vyrobte jejich držák (podobný, jako vidíte na obr. 10). Dále budete potřebovat stojan, režnou niť, modrou skalici a čistou vodu. Poslední pomůckou, kterou si připravte, je silný neodymový magnet.

### **Popis experimentu:**

Do jedné zkumavky nasypejte modrou skalici, do druhé nalejte čistou vodu. Držák z měděného drátu přivažte na režnou niť a tu přivažte ke stojanu. Zkumavky vyvažte posouváním niti po drátu. Získali jste něco jako torzní vahadlo. Počkejte, až se zkumavky uklidní. Poté vezměte do ruky silný neodymový magnet a přiblížte ho ke zkumavce s modrou skalicí. Zkumavka bude přitahována k magnetu a torzní držák se roztočí směrem k němu. Přesuňte ruku s magnetem ke druhé zkumavce – přiblížte k ní magnet tak, aby se zkumavka pohybovala směrem k němu. Zkumavka s vodou začne brzdit a za chvíli ji budete magnetem roztáčet – tentokrát bude zkumavka magnetem odtlačována. Je tedy vidět, že modrá skalice je k magnetu přitahována, voda je od něj odpuzována.



Obr. 10. Demonstrace paramagnetismu modré skalice.

### **Vysvětlení pokusu:**

Tímto pokusem můžete ukázat žákům, že na magnetické pole reagují nejenom látky feromagnetické. Modrá skalice je zástupcem látek paramagnetických, voda je látkou diamagnetickou (sklo zkumavek je také diamagnetické). Když do magnetického pole vložíte paramagnetickou látku, dojde v jejím objemu k nepatrnému zesílení magnetického pole. Paramagnetická látka je do magnetického pole vtahována (magnet ji přitahuje). Je to ale efekt velmi slabý a lze ho pozorovat jenom s dostatečně citlivým „zařízením“ (tím je naše improvizované torzní vahadlo). Potřebujeme také velmi silný magnet.

Diamagnetické látky vložené do magnetického pole ve svém objemu toto pole mírně zeslabují (vytlačují magnetické pole ze svého objemu). Projevuje se to tím, že je taková látka magnetem odpuzována (opět pouze nepatrně). Popsaným experimentem je možné toto odpuzování demonstrovat.

Poznámka: Dokonalým diamagnetikem jsou supravodiče. Ty ze svého objemu magnetické pole vytlačují úplně.

## Elektrostatický odlučovač kouře (filtr kouře)

### **Pomůcky:**

K pokusu budete potřebovat vysokonapěťový zdroj určený pro pokusy z elektrostatiky (my jsme použili zdroj 25 kV). Místo tohoto zdroje můžete použít indukční elektriku. Samotným filtrem bude PET lahev se širokým hrdlem. Do jejího dna zarazte hřebík, do víčka umístěte nějakou elektrodu, jejíž vývod vyvedete víčkem ven. Jako tuto elektrodu můžete použít alobal, který vmáčknete do víčka, necháte ho přecházet, a i s víčkem ho našroubujete na lahev. My jsme si s filtrem trochu vyhráli... (obr. 11). Dále si připravte krokosvorky a vodiče, abyste mohli obě elektrody připojit ke zdroji, nebo k indukční elektrice. Poslední pomůckou je cigareta (pokus je to částečně nevyhovný, ale Eman ho takto předváděl...).



Obr. 11. Odlučovač kouře.

### **Popis experimentu:**

Elektrodu ve dně lahve (filtru) připojte ke kladné svorce vysokonapěťového zdroje, nebo k jednomu vybíječi indukční elektriky. Zdroj nastavte na napětí 0 V (resp. indukční elektriku předem vybijte). Do lahve nafoukejte cigaretový kouř a uzavřete ji víčkem, jehož elektrodu jste před tím připojili ke druhému pólu zdroje (nebo ke druhému vybíječi elektriky). Zvyšujte napětí zdroje (otáčejte klikou indukční elektriky). Kouř uvnitř filtru rychle zmizí.



Obr. 12. Plnění filtru kouřem.

### **Vysvětlení pokusu:**

Princip funkce elektrostatického filtru kouře je stejný, jako když nabitou tyčí přitahujete malé kousky papíru apod. Kouřové částičky se v silném elektrickém poli uvnitř filtru zpolarizují a jsou přitaženy k nabitým elektrodám. Na podobném principu pracují odlučovače kouře továrních komínů. Eman tímto pokusem s oblibou ukazoval ekologické aspekty znalostí základů elektrostatiky.

### **Auto v bouři**

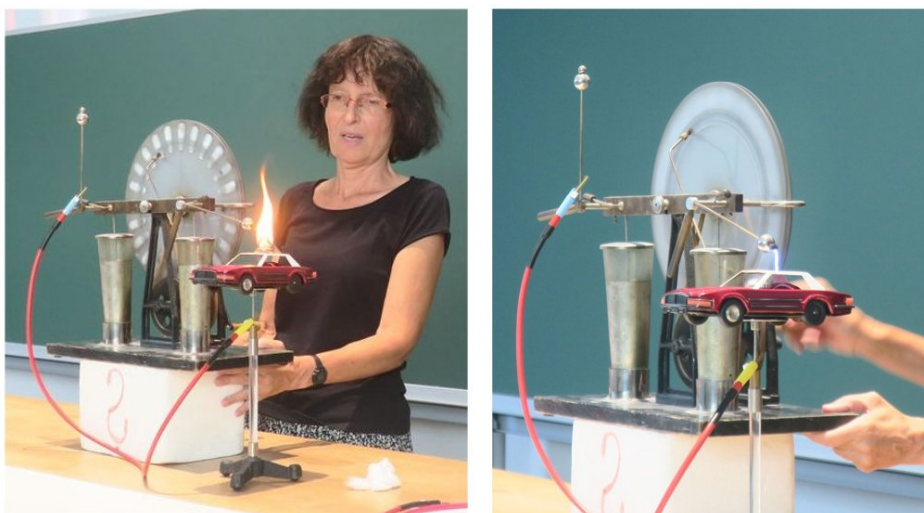
#### **Pomůcky:**

K pokusu budete potřebovat kovové autíčko, technický benzín, smotek vaty, kovovou mističku (např. z víčka od piva), indukční elektriku, vodiče, krokosvorky, izolovaný stojánek na autíčko a něco na případné hašení při nečekaném vývoji experimentu...

#### **Popis experimentu:**

Pokus předvedete ve dvou krocích. Nejprve umístěte autíčko na stojánek a jeho karoserii připojte k jednomu vybíječi indukční elektriky. Na střechu autíčka položte kovovou mističku se smotkem vaty předtím namočeným v benzínu. Druhý vybíječ indukční elektriky přiblížte k mističce a točte klikou elektriky. Přeskočí jiskra, která zapálí benzínové páry. Uspořádání a výsledek vidíte na obr. 13. (Požár na střeše autíčka uhasťte.)

Druhá fáze pokusu bude odlišná tím, že misku s benzínem napuštěnou vatou umístíte dovnitř autíčka. Vybíječ elektriky je stále nad karoserií, druhý je připojen ke karoserii. Točte klikou indukční elektriky. Mezi vybíječem a střechou přeskakují jiskry (do auta udeřil blesk). Benzínové výpary uvnitř se ale nevznítí. Je vidět, že osádka automobilu je v bezpečí.



Obr. 13. Dvě fáze experimentu.

### **Vysvětlení pokusu:**

Jde o demonstraci Faradayovy klece. I když je kovové autíčko v silném vnějším elektrickém poli, uvnitř auta (Faradayovy klece) je toto pole odstíněno.

Poznámka k bezpečnosti: Dejte pozor na to, abyste nepřehnali množství benzínu v mističce uvnitř autíčka. Pokud by benzínové páry začaly unikat okny ven, jiskra by je nad střechou zapálila a došlo by k požáru i v interiéru auta (autorka má s takovým požárem zkušenost...).

## **Závěr**

Představili jsme několik málo pokusů ze širokého repertoáru experimentů, které s oblibou předváděl Eman Svoboda. Doufáme, že si při jejich provádění (nebo třeba jenom při četbě tohoto článku) na Emanu vzpomenete.

## **Literatura**

- [1] Svoboda E.: *Fyzika – pokusy s jednoduchými pomůckami*. Prometheus, Praha 2001.  
ISBN 80-7196-226-0
- [2] Svoboda E. a kol.: *Pokusy z fyziky na střední škole I – IV*. Prometheus, Praha.
- [3] <http://fyzikalnipokusy.cz/cs>