

VELETRH NÁPADŮ UČITELŮ FYZIKY 25

Sborník z konference



MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ
FAKULTA
Univerzita Karlova



Praha 2020

Editoři: RNDr. Věra Koudelková, Ph.D., RNDr. Petr Kácovský, Ph.D.

Vydalo Nakladatelství MatfyzPress jako svou 626. publikaci. Text neprošel recenzním ani lektorským řízením nakladatelství MatfyzPress.

Nakladatelství MatfyzPress neodpovídá za kvalitu a obsah textu.

Publikace byla vydána pro potřeby účastníků konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 25 a další zájemce z řad učitelů fyziky.

Všechny příspěvky prošly odbornou recenzí, za jejich obsah však odpovídají autoři.

Praha 2020

ISBN 978-80-7378-432-4

Obsah

Obsah.....	3
Úvod.....	5
Prof. RNDr. Emanuel Svoboda, CSc. (1940–2020).....	6
Mandíková Dana, Drozd Zdeněk: Emanovy pokusy	7
Boček Vít, Pavlíková Dora: Účinky magnetického pole	19
Bochníček Zdeněk: Padající pružina	26
Černý František, Reichl Jaroslav: Měření brzdné dráhy automobilu.....	35
Dostálová Sekaninová Iva: Horkovzdušný balón	44
Dvořák Leoš: Jak vážit pomocí ampérmetru a voltmetru aneb vyrobte si (skoro) Kibblovy váhy.....	47
Dvořáková Irena: Z cizích luhů a hájů	57
Fišer Zbyněk: Paprsková optika na magnetické tabuli a v programu Algodoo	69
Gottwald Stanislav: Vybrané kapitoly z Vybraných kapitol.....	77
Hložek Filip: Modely zrcadlových dalekohledů	90
Holubová Renata: Fyzika na stopě – když se při chůzi rozvazují tkaničky.....	96
Horálková Zuzana: Zážitková pedagogika ve fyzice.....	104
Houfková Jitka a kol: Zajímavosti ze Science on Stage 2019 očima české výpravy.....	108
Hubáček Zdeněk: Další fyzikální pomůcky do kabelky	122
Jandus Jakub, Železný Vít: LEGO LIGO	126
Kácovský Petr: Videoanalýza v době chytrých telefonů.....	140
Kéhar Ota: Družice Starlink – revoluce nebo zkáza	143
Kielbusová Zdeňka: Experimenty u vody i ve vodě	150
Klinovská Lucia, Jakubičková Jana: Masáž z pohledu fyziky	155
Kohout Jiří: Badatelsky zaměřené laboratorní práce na problematiku hustoty a plování těles.....	164
Kolář Karel: Fyzikální jednotky v letectví	170
Konečný Pavel: Magnusův jev	175
Koudelková Věra, Geťko Jan: Chcete rozkladný transformátor?	185
Koupilová Zdeňka, Dvořák Leoš, Kácovský Petr: Veletrh nápadů pro fyzikální vzdělávání aneb Supersborník.....	191
Koupilová Zdeňka, Kácovský Petr: Fyzikální aplety z kvantovky v češtině	193
Koupilová Zdeňka a kol.: Zkušenosti z vysokoškolské online výuky.....	199
Koupilová Zdeňka a kol.: Sbíрка řešených úloh z fyziky a Sbíрка fyzikálních pokusů	205

Kutnarová Alice, Richterek Lukáš: Chladniho obrazce bez smyčce a s mobilním telefonem	211
Martincová Daniela: 6. ročník „Vím proč“	219
Matouš Otakar, Žilavý Peter: Experimenty s „peckami“	223
Pejčochová Věra: I cement může být nádherný	234
Polák Zdeněk: Termočlánek jako stabilní fyzikální pokus	241
Rotter Miloš: Redefinice fyzikálních jednotek SI.....	253
Tesař Jiří, Burdová Veronika: Elektronické Doplnky k učebnicím – zkušenosti s jejich využitím při výuce fyziky na ZŠ.....	262
Vícha Vladimír: Detekce neutronů s MX-10.....	272
Vochozka Vladimír, Wegenkittlová Pavla: Termografické vyhodnocení tání ledu ve vodě.....	285
Wegenkittlová Pavla, Vochozka Vladimír: Tensegrita.....	295
Žák Vojtěch: Fyzikální experimenty ve Stromovce.....	306

Úvod

Milé kolegyně, milí kolegové,

to byla letos koncem srpna zase úroda! Mluvím samozřejmě o žních fyzikálně-vzdělávacích s názvem Veletrh nápadů učitelů fyziky, které jsme si (Fyzikáři sobě!) společnými silami přichystali na 28. až 30. srpna 2020.

Letošní Veletrh byl myslím skutečně výjimečný (píši to samozřejmě s vědomím, že určitá výjimečnost se dá najít téměř vždy a skoro všude):

Veletrh se konal v nové budově Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze-Troji, v tzv. pavilonu Impakt. Naše konference se tak stala první větší akcí, která v této budově proběhla. Myslím si, že křest a zatěžkávací zkouška v jednom to byly důsledné.

Letošní Veletrh byl v pořadí 25. A to už je na pováženou, protože slovo „x-století“ (byť x je zatím jen čtvrt) v sobě nese nádech něčeho letitého, pro naše žáky a studenty téměř pravěkého.

Na jubilejní Veletrh zavítal rekordní počet účastníků (více než 200), a i když jistě nejde jen o kvantitu, platí, že potkat více milých tváří je prostě milejší.

Veletrh se letos měl odehrávat pod taktovkou jistého dirigenta od „C“ (v nejkratší verzi na pět písmen), ale naštěstí byla zrovna přestávka, a tak se orchestr a hlediště zabavili po svém.

Z posledního uvedeného nakonec vyplývá to nejvíce výjimečné a obyčejné zároveň: Letošní Veletrh proběhl navzdory všemu velmi podobně jako Veletrhy předchozí. Těžit jsme se tak mohli z běžných lidských setkání se známými (byť částečně zakrytými) tvářemi, z fyzikálních nápadů různého druhu a ze vzájemného předávání energie (nefyzikálně, ale o to přiléhavěji „dolévání energie“).

Letošní rok byl náročný a bohužel také smutný. Nejen naše katedra se rozloučila s prof. Emanuelem Svobodou, naším Emanem, který mimo jiné stál u příprav úplně prvního Veletrhu nápadů učitelů fyziky. Živá vzpomínka na Emanu, na jeho um vtělený do fyzikálních pokusů, je prvním příspěvkem tohoto sborníku.

Přeji nám všem netrpělivé čtení, výkřiky radosti nad provedenými pokusy,... a hlavně nadšené publikum v našich „fyzikálních divadlech“, publikum, ze kterého se nám mimo jiné budou klubat další zapálení a zkušenosti herci!

Vojtěch Žák a katedra didaktiky fyziky MFF UK

Prof. RNDr. Emanuel Svoboda, CSc. (1940–2020)



Dne 18. 4. 2020 zemřel ve věku nedožitých 80 let prof. RNDr. Emanuel Svoboda, CSc. Emanuel Svoboda byl jedním ze zakladatelů a aktivních účastníků Veletrhu nápadů učitelů fyziky. Pravidelní účastníci Veletrhu si jistě vzpomenou na nejednu z jeho zajímavých experimentů. Ale nejenom to, Eman byl vždy také ve středu kuloárního a společenského dění Veletrhu.

Profesor Svoboda byl předním odborníkem a jednou z vedoucích osobností didaktiky fyziky v Československu a poté v ČR a významně se podílel na rozvoji tohoto oboru. Byl také skvělým učitelem, jak na střední škole, tak na Matematicko-fyzikální fakultě, kde se po mnoho desetiletí neúnavně věnoval přípravě budoucích učitelů fyziky. Rozvoji fyzikálního vzdělávání významně pomáhal také v rámci Jednoty českých matematiků a fyziků, kde působil i jako předseda Fyzikální pedagogické společnosti, a řadou dalších aktivit.

Mnoho generací studentů a učitelů bude na profesora Svobodu vzpomínat také jako na autora a spoluautora řady učebnic a dalších cenných publikací, které jim pomáhaly a pomáhají zvládat fyziku a její výuku. Jeho dílo zůstane v knihovničkách fyzikářů a kateder vzdělávajících fyzikáře ještě dlouho, a rozhodně na ně nebude padat prach. Všichni, kdo ho blíže znali, si pak budou profesora Svobodu připomínat nejen jako kolegu, s nímž se velice dobře spolupracovalo, ale také jako člověka, od něhož se i osobně naučili velmi mnoho.

My všichni, kteří jsme se podíleli na přípravě jubilejního 25. ročníku Veletrhu nápadů učitelů fyziky, si velice vážíme, že jsme se s Emanem znali, mohli s ním spolupracovat a je nám ctí věnovat tento ročník Veletrhu nápadů jeho památce.

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 sežente 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 roztlačnost 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 stojáčku (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 „roztážnosti“ 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 následující 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 doutnající 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 sítko 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.

σ -lodička (neboli lodička poháněná silami povrchového napětí)

Pomůcky:

K pokusu si připravte miskou 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 σ -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 jarné 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 matičky, 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 matičky. Na dno vaničky upevněte pomocí plastelíny větší kovovou matku, která slouží jako zátěž. Vaničku držte v rukou tak, že matičky vytahují gumičky ven (obr. 9). Nyní nechte vaničku padat volným pádem. Matičky „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, matičky vytahují gumičky ven (na gumičky působí tíha matiček směrem dolů), naopak na matičky působí „síla pružnosti“ natažených gumiček (tou působí gumičky na matičky směrem nahoru). Po puštění vaničky dojde k jejímu volnému pádu a octne se tedy ve stavu beztíže. Zmizí síly, kterými matičky natahovaly gumičky směrem dolů. Síla, kterou natažené gumičky působí na matičky, ale zůstává, a proto jsou matičky 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 nevhodný, 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 částice 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

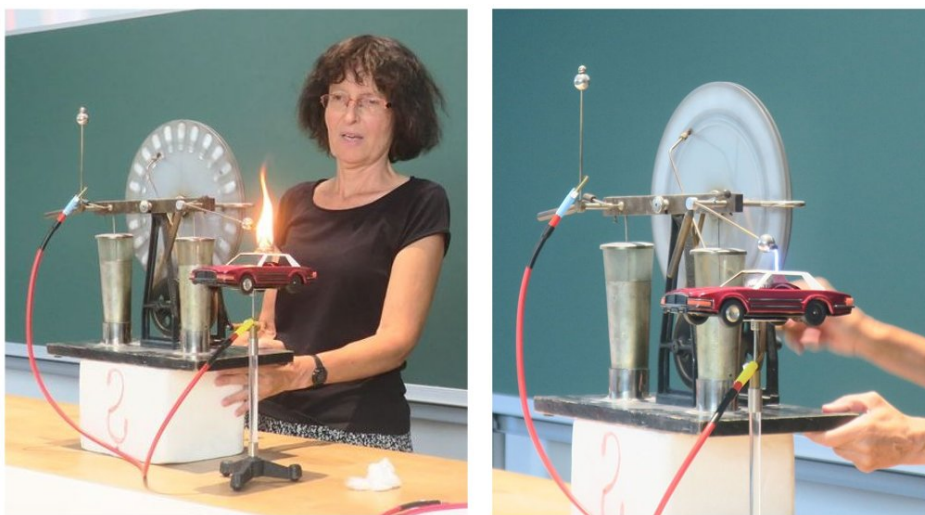
Pomůcky:

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 umístíte autíčko na stojánek a jeho karoserii připojíte k jednomu vybíječi indukční elektriky. Na střechu autíčka položte kovovou mističku se smotkem vaty předtím namočeným v benzínu. Druhý vybíječ indukční elektriky přiblížíte 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). Benzinové 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>

Účinky magnetického pole

Vít Boček, Dora Pavlíková

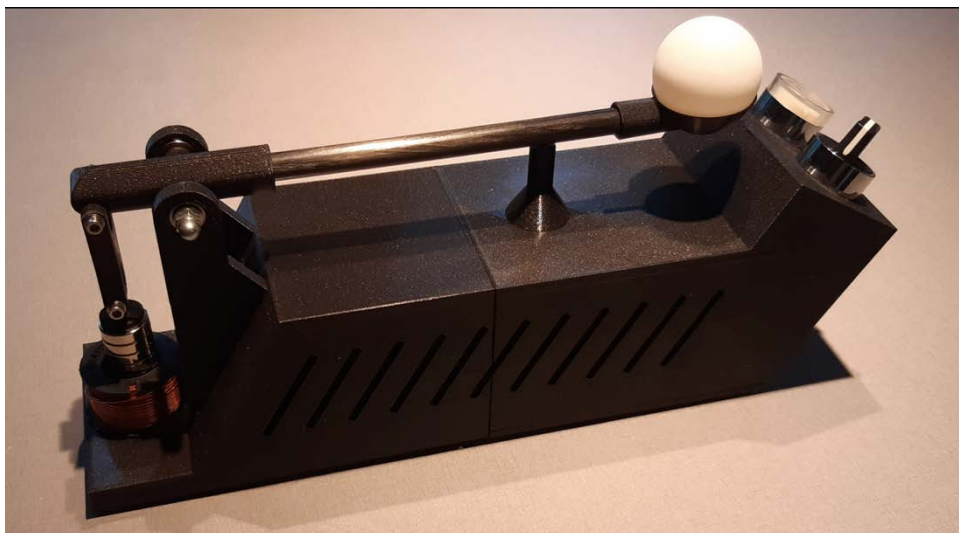
Katedra didaktiky fyziky MFF UK, Gymnázium Evolution Sázavská

Abstrakt

Magnetické pole můžeme využít k rozpočívání nebo ohřátí těles, případně k naindukování elektrického napětí. V příspěvku se na tyto účinky zaměříme a ukážeme experimenty, které je demonstrují.

Elektromagnetický katapult

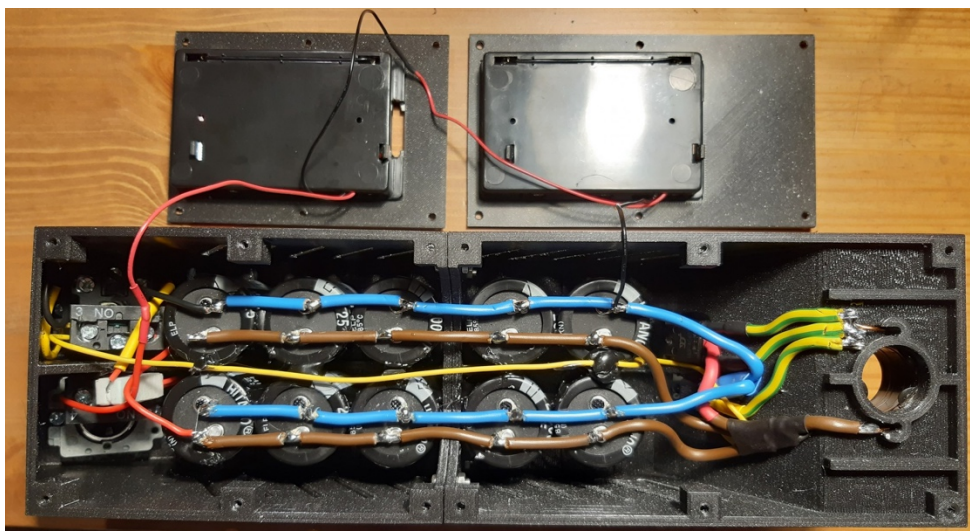
Elektromagnetický katapult dokáže vystřelit „nálož“ pomocí magnetického pole nacházejícího se uvnitř cívky s proudem. Pokud nad cívku umístíme vhodně orientované magnety, tak se do ní po sepnutí spínače vtáhnou. Magnety jsou propojené s ramenem katapultu, a když jsou vtaheny do cívky, rameno se pohne a nálož vystřelí.



Obr. 1. Elektromagnetický katapult.

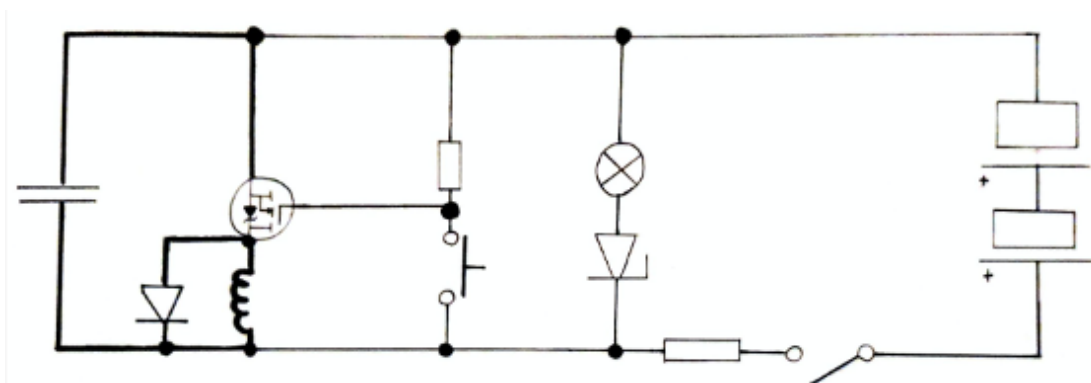
Konstrukce

Katapult je napájený dvanácti tužkovými bateriemi (jejich celkové napětí je 18 V). Ty však nedokážou dodat dostatečně velký proud, který je podstatný pro velikost magnetického pole, a tudíž dostřelu katapultu. Přidali jsme proto deset kondenzátorů (22 000 μF , 30 V), které dokážou poskytnout větší proud než baterie. Baterie tedy po přepnutí přepínače nabíje kondenzátory a po jejich nabití můžeme sepnout další spínač, který spustí elektrický proud z kondenzátorů do cívky. Katapult je také opatřen kontrolkou, která signalizuje, zda jsou kondenzátory již nabité a zda je vše připraveno k odpalu.



Obr. 2. Elektromagnetický katapult zevnitř.

Z důvodu ochrany obvodu před přepětím jsou přidány dvě diody, rezistory a tranzistor. První dioda je Zenerova, která sníží napětí z 18 V na 12 V, pro které je kontrolka navržena. Druhá, Schottkyho dioda, po rozepnutí tranzistoru zabrání vzniku přepětí na cívce. Nejdůležitějším přidaným prvkem je MOSFET tranzistor, který slouží jako spínač místo mechanického tlačítka a dokáže bezpečně spínat proud kolem 100 A, který krátkodobě protéká cívkou. MOSFET tranzistor se sepne přivedením spínacího napětí na kontakt G – Gate.



Obr. 3. Elektrické schéma katapultu.

Krabička katapultu byla vyrobena na 3D tiskárně. Rameno je vyrobeno z kompozitu z uhlíkových vláken, aby bylo rameno co nejlehčí. Mistička na míček je navržena také tak, aby byla co nejlehčí. Krabička a většina mechanických dílů je vyrobena z materiálu PETG, který je stejný jako ten, ze kterého se dělají láhve na nápoje. Více namáhané části jsou pak z Nylonu vyztuženého sekanými uhlíkovými vlákny. Takový materiál je k dostání v obchodech zaměřených na náplně do 3D tiskáren. Náhradou však lze použít materiál, který se pro tiskárny běžně používá, ale zhorší se tím pevnostní vlastnosti takových částí konstrukce.

Jako nálož se osvědčil pingpongový míček - dostatečně lehký na to, aby nemohl způsobit zranění. Míček doletěl cca sedm a půl metru a větší „hopík“ podobně daleko.

Kotouč s rotujícími magnety

Konstrukce

V tomto experimentu bude hrát hlavní roli proměnné magnetické pole vytvořené nikoliv cívkou, ale magnetem. Jako zdroj takového pole nám poslouží rotující disk s magnety. Disk je připevněný přes šroub a sklíčidlo k ose motoru na stejnosměrný proud (příkon: až 368 W, napětí: až 24 V, otáčky: až 12 000 rpm, kroutivý moment: 8,4 N·m). Samotný disk je z duralu a po obvodu jsou 4 dírky na válcové magnety o průměru 3 cm, výšce 1 cm a vzdálenosti 0,6 cm od sebe. Magnety jsou umístěny střídavě (N-S-N-S), aby změna magnetického pole nad diskem byla co největší. Po připojení laboratorního zdroje (max. 30 V/10 A) se disk začne otáčet a změnou napětí na zdroji lze plynule regulovat otáčky.



Obr. 4. Disk s magnety upevněný k motoru.

Experimenty s diskem 1 – napětí indukované na cívce

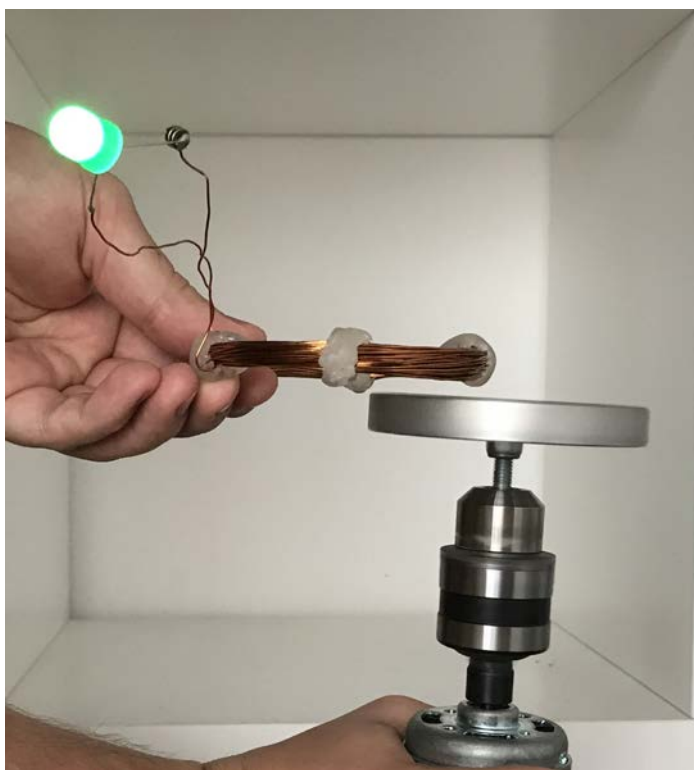
Pokud se v blízkosti proměnného magnetického pole nachází cívka, může se na ní za jistých okolností naindukovat elektrické napětí. Umístíme-li cívku nad disk tak, aby se jejich středy nacházely nad sebou, na cívce však nenaměříme žádné napětí.

Podívejme se na to, jak vypadá magnetické pole nad diskem. Uvnitř disku jsou čtyři magnety orientované střídavě. Rovina cívky je rovnoběžná s rovinou disku a cívka je umístěna na ose otáčení disku. To znamená, že celkový magnetický indukční tok cívkou je nulový. Napětí naindukované na cívce je tedy také nulové (obr. 5).



Obr. 5. Na cívce nad rotujícím kotoučem se v tomto případě nenaindukuje napětí.

Když však cívku posuneme od osy, nebo ji nakloníme, napětí se již naindukuje. Pole nad diskem totiž není homogenní a asymetrií způsobenou posunutím nebo nakloněním bude každý z magnetů přispívat jinak velkým magnetickým polem. Indukční tok tak bude daný pouze příspěvky, které se „nevykompenzují“. Na cívce tedy naměříme napětí a naindukujeme dostatečný proud k rozsvícení LED (obr. 6).



Obr. 6. Na cívce nad rotujícím kotoučem se v tomto případě naindukuje napětí.

Experimenty s diskem 2 – plech nad diskem

Nad rotujícím diskem se nachází proměnné magnetické pole. Pokud nad disk zavěšíme kus plechu (v našem případě z mědi), naindukují se v něm vířivé proudy - ty mají za následek magnetické pole nacházející se v okolí plechu. Dojde tedy k interakci magnetických polí magnetu a plechu, což způsobí pohyb plechu. Pokud bude konstrukce disku i plechu geometricky zcela symetrická a osa plechu bude splývat s osou rotace disku, dojde k rotaci plechu podle této osy. Konstrukce však bude vždy (byť třeba jen mírně) asymetrická, což způsobí výslednou sílu, díky které vykývá plech směrem od disku.



Obr. 7. Měděný plech nad rotujícím diskem.

Experimenty s diskem 3 – mince v misce nad diskem

Pokud nad disk umístíme misku s padesátihaléři nebo s plíšky z hliníku či mědi, začnou se uvnitř misky po jejím obvodu pohybovat. Jde o stejný princip jako u zavěšeného plechu.



Obr. 8. Miska s měděnými plíškami nad rotujícím kotoučem.

Experimenty s diskem 4 – vaření pomocí magnetu

V předchozích experimentech měly vířivé proudy za následek zejména pohyb plechu a plíšků. Energii, kterou kovy získaly prostřednictvím magnetického pole, využily ke svému pohybu. Další efekty, jako je např. ohřívání kovů, byly zanedbatelné. Pokud však nedovolíme kovu, aby se pohyboval, tedy nekonal mechanickou práci, musí energii „využít“ jiným způsobem. Plech se tak bude ohřívat v mnohem větší míře, než když se mohl pohybovat. V podstatě pak jde indukční ohřev pomocí permanentních magnetů.

Otázkou je, o jak silný efekt půjde a zda by mělo smysl takový ohříváč zkonstruovat. Můžeme se pokusit odhadnout, o kolik stupňů Celsia se hliníková pánvička za daný čas ohřeje. Pro horní odhad můžeme uvažovat, že motor funguje bez ztrát a veškerá mechanická práce motoru se přemění na ohřev pánvičky.

Práci motoru s účinností $\eta = 1$ spočítáme jako

$$W_{\text{mot}} = U \cdot I \cdot t,$$

kde U je napětí na motoru, I proud, který teče motorem, a t čas, po který motor pracuje. Teplo $Q_{\text{pán}}$ potřebné k ohřátí pánvičky z teploty t_1 na teplotu t_2 je dáno vztahem

$$Q_{\text{pán}} = c_{\text{Al}} \cdot m \cdot (t_2 - t_1),$$

kde c_{Al} je měrná tepelná kapacita hliníku a m je hmotnost pánvičky. Uvažujeme-li tedy účinnost $\eta = 1$, bude platit, že

$$W_{\text{mot}} = Q_{\text{pán}}.$$

Po dosazení a úpravách rovnice získáme vztah pro konečnou teplotu pánvičky:

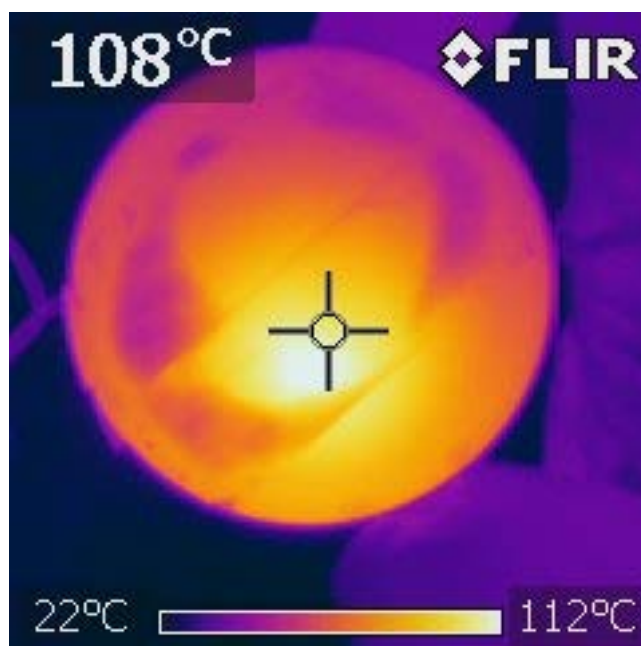
$$t_2 = \frac{U \cdot I \cdot t}{c_{\text{Al}} \cdot m} + t_1$$

Do vztahu dosadíme hodnoty, které odpovídají reálné situaci: $U = 30 \text{ V}$, $I = 10 \text{ A}$, $t = 60 \text{ s}$, $c_{\text{Al}} = 896 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $m = 0,12 \text{ kg}$, $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Získáme hodnotu $t_2 \doteq 187 \text{ }^\circ\text{C}$.

Z výpočtu vyplývá, že pánvičku lze bez jakýchkoliv ztrát ohřát o $167 \text{ }^\circ\text{C}$. To vypadá jako slibný výsledek.

Zrealizujeme tedy experiment. Motor necháme běžet naprázdno – bez přiblížené pánvičky. Při napětí $U_0 = 18 \text{ V}$ odebírá motor proud $I_0 = 1,2 \text{ A}$. Tedy příkon motoru je $P_0 = 21,6 \text{ W}$. Při přiblížení pánvičky k disku vzroste proud na hodnotu $I_1 = 10 \text{ A}$, příkon tedy vzroste na hodnotu $P_1 = 180 \text{ W}$. Výkon, který „přejde do pánvičky“ je $P_{\text{výsl}} = P_1 - P_0 = 158,4 \text{ W}$. Při uvedených hodnotách by se měla pánvička ohřát o cca $88,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Termokamerou změříme teplotu pánvičky při výše uvedených parametrech a porovnáme ji s výpočtem. Nejteplejší místo pánvičky má teplotu $112 \text{ }^\circ\text{C}$, tzn., že se v tomto místě ohřála o $92 \text{ }^\circ\text{C}$. Je to vyšší teplota než teplota, kterou jsme získali výpočtem, a to jsme nezapočetli ztráty, ke kterým jistě došlo. Nezapomeňme, že změřená teplota je v nejteplejším bodě pánvičky a průměrná teplota pánvičky je nižší než vypočítaná hodnota, ale zřejmě ne výrazně. Dno pánvičky, které je pro vaření podstatné, se v okolí nejteplejšího místa zahřálo na teplotu nižší jen o několik stupňů Celsia. Účinnost ohřevu je tedy poměrně vysoká, ale pro relevantnější výsledky bychom museli udělat přesnější výpočty a měření.



Obr. 9. Pánvička ohřátá pomocí permanentních magnetů (foceno termokamerou).

Závěr

Magnetické pole může mít pohybové i tepelné účinky. U katapultu jsme k pohybu ramene využili magnetické pole cívky a permanentního magnetu. U disku nám stačily k vytvoření pohybu plechů pouze permanentní magnety a vířivé proudy v plechu. Pokud je plech zafixovaný a nemůže se pohybovat, tepelné účinky vířivých proudů se stanou významnými a plech se bude značně ohřívat.

Experiment lze optimalizovat. Existuje vzdálenost pánvičky od disku, ve které se pánvička ohřívá nejvíc. Takovou polohu lze experimentálně zjistit a pánvičku v ní zafixovat. Pokud bychom použili vyšší magnety, dosáhli bychom jistě lepších výsledků, neboť nad nimi bude magnetická indukce nabývat vyšších hodnot.

Na internetových stránkách společnosti KJ Magnetics [1] je kalkulačka, která umí spočítat hodnotu magnetické indukce magnetů, jejichž parametry si můžeme sami zvolit. Po dosazení rozměrů magnetu (průměr 3 cm, výška 1 cm) vychází magnetická indukce na středu podstavy magnetu asi 3661 gaussů. Kdybychom výšku magnetu zdvojnásobili, magnetická indukce by dosáhla hodnoty 5280 gaussů.

Také záleží na tom, jak daleko jsou magnety od sebe. O něco lepšího efektu lze docílit užitím plastového disku. Ten by měl nižší hmotnost a také by v něm nevznikaly zpětné vířivé proudy naindukované z magnetického pole pánvičky. Bylo by také možné použít jiný typ motoru.

Experiment jistě lze významně vylepšit, ale jako demonstrace toho, že lze ohřívat kov i pomocí permanentních magnetů, je dostatečný.

Literatura

[1] KJ Magnetics. Dostupné online: <https://www.kjmagnetics.com/calculator.asp>

Padající pružina

Zdeněk Bochníček

Přírodovědecká fakulta MU

Abstrakt

V příspěvku jsou popsány dva experimenty, při kterých se volným pádem pohybuje soustava kombinující pružnou a setrvačnou hmotu. Popsané experimenty reprezentují dvě krajní situace: 1) pružná hmota je zanedbatelná, 2) veškerá padající hmota je pružná. V obou případech jde o působivé experimenty, jejichž fyzikální rozbor lze na jisté úrovni provést i na střední škole. Teoretické úvahy jsou doplněny analýzou videozáznamů pořízených vysokorychlostní kamerou.

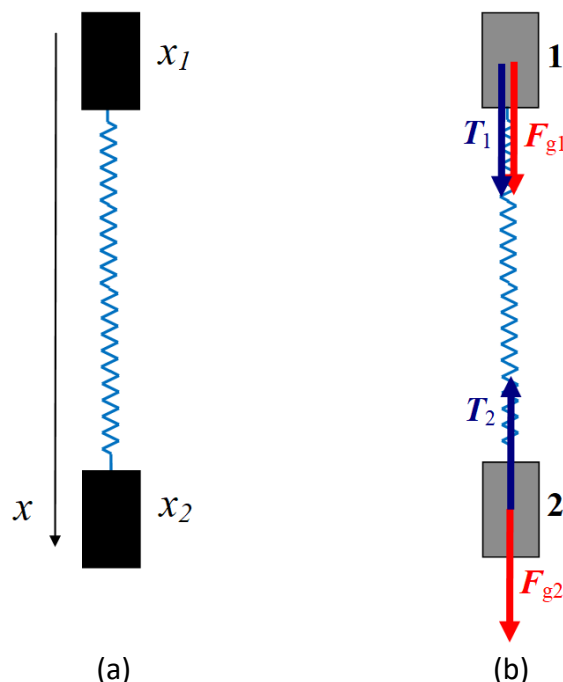
Úvod

Téma „padající pružina“ vypadá velmi banálně. Přesto lze experiment uspořádat tak, že je nejen velmi atraktivní, ale lze jej velmi dobře popsat případně fyzikálně komentovat pouze s využitím středoškolské úrovně fyziky. V příspěvku jsou rozebrány dvě varianty experimentu. V první, fyzikálně snazší, padají dvě tělesa vertikálně spojená pružinou zanedbatelné hmotnosti. Ve druhé je veškerá padající hmota součástí pružiny – pád volně visící hračky – tzv. „slinky“. V tomto případě je výsledek pokusu velmi překvapivý a přes složitost komplexního teoretického popisu jej lze s využitím základních zákonů mechaniky zajímavě komentovat.

Dvě tělesa spojená pružinou

V tomto experimentu necháme volně padat dvě tělesa se stejnou hmotností spojená pružinou z počáteční polohy, kdy jedno těleso držíme v ruce a druhé na pružině volně visí, viz obrázek 1a). Samotný děj je velmi rychlý, tedy pro pozorování, případně měření, je nutné použít rychloběžnou kameru. Počátek pádu může být překvapivý – dolní těleso po relativně dlouhou dobu prakticky vůbec nepadá – ale lze jej vysvětlit velmi jednoduchou úvahou (viz také [1]).

Rozbor sil je znázorněn na obrázku 1b). Na obě tělesa působí tíhové síly svisle dolů (červené šipky). Vzhledem ke stejné hmotnosti jsou velikosti sil shodné. Před počátkem pádu jsou obě tělesa v klidu, výslednice sil na každé jednotlivé těleso tedy musí být rovna nule. Tedy velikost tažné síly pružiny působící na dolní těleso musí být shodná s tíhovou silou a podle zákona akce a reakce působí stejně velká tahová síla i na horní těleso, má jen opačný směr (modré šipky). K dosažení silové rovnováhy na horní těleso je nutná síla závěsu (ruky), která není na obr. 1b) zakreslena, obrázek tedy znázorňuje stav těsně po uvolnění závěsu.

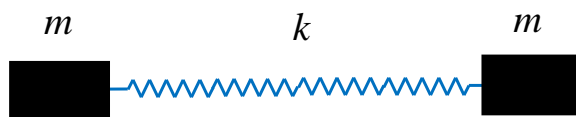


Obr. 1. Dvě tělesa spojená nehmotnou pružinou (a) a rozklad sil (b).

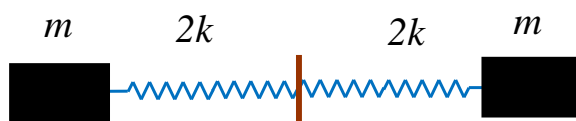
Ze silového rozboru bezprostředně plyne, že výslednice sil v okamžiku po uvolnění závěsu je na dolní těleso nulová, těleso tedy vůbec nezrychluje. Naopak na horní těleso působí dvojnásobek tíhové síly a tedy „padá“ se zrychlením $2g$.

Další fáze tohoto experimentu lze teoreticky popsat pouze s využitím středoškolské fyziky a matematiky.

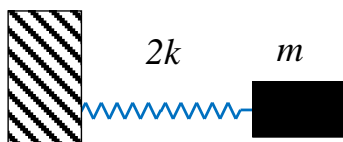
Úlohu nejprve řešíme v těžišťové soustavě a pro snazší představivost orientujeme systém vodorovně, viz obrázek 2. V těžišťové soustavě se těžiště nemůže pohybovat, a tak musí být pohyby obou těles vůči těžišti symetrické. To současně znamená, že situace se nezmění, pokud těžiště pevně fixujeme v prostoru, obrázek 3. Pak můžeme levou i pravou symetrickou část řešit samostatně a získáme tak zcela standardní středoškolský problém kmitů tělesa na pevně ukotvené pružině, obrázek 4. Je ovšem třeba zohlednit, že pružina poloviční délky má dvojnásobnou tuhost.



Obr. 2. Dvě tělesa spojená pružinou v těžišťové soustavě.



Obr. 3. Dvě tělesa spojená pružinou v těžišťové soustavě, fixovaná poloha těžiště.



Obr. 4. Těleso na pružině, standardní středoškolská úloha.

Vzhledem k počátečním podmínkám

$$x(t=0) = x_o \quad (1)$$

$$v(t=0) = 0, \quad (2)$$

dostaneme řešení ve tvaru:

$$x(t) = x_o \cos \omega t, \quad (3)$$

kde

$$\omega = \sqrt{\frac{2k}{m}}. \quad (4)$$

Je ovšem třeba poznamenat, že pro tento experiment lze řešení použít pouze pro krátké časy ve srovnání s teoretickou periodou kmitů.

Nyní aplikujme snadno získané řešení v těžišťové soustavě na původní problém. Statické prověšení pružiny určuje amplitudu výchylky

$$x_o = \frac{mg}{2k} \quad (5)$$

a přechod z těžišťové do laboratorní soustavy provedeme tak, že časovému vývoji polohy přičteme volný pád se zrychlením g . Dostaneme:

$$x_1(t) = -\frac{mg}{2k} \cos \omega t + \frac{1}{2} g t^2, \quad (6)$$

$$x_2(t) = \frac{mg}{2k} \cos \omega t + \frac{1}{2} g t^2. \quad (7)$$

Souřadnice x_1 a x_2 určují polohu obou těles vzhledem k rovnovážné poloze, ve které by pružina spojující obě tělesa byla nenapjatá. Záporné znaménko u polohy horního tělesa je dáno volbou orientace osy x , viz obrázek 1 (a).

Aproximace krátkých časů

Výše uvedené řešení je možné doplnit ukázkou aproximativních metod, jejichž použití je ve fyzice velmi časté.

Aproximujme výše uvedené řešení pro krátké časy, tedy pro časy mnohem menší než je perioda kmitů

$$\omega t \ll 1 \quad (8)$$

Pak můžeme funkci kosinus aproximovat jako

$$\cos \omega t \cong 1 - \frac{1}{2} (\omega t)^2 \quad (9)$$

V této aproximaci snadno rovnice (6) a (7) upravíme do tvarů

$$x_1(t) = -\frac{mg}{2k} + \frac{1}{2}2gt^2, \quad (10)$$

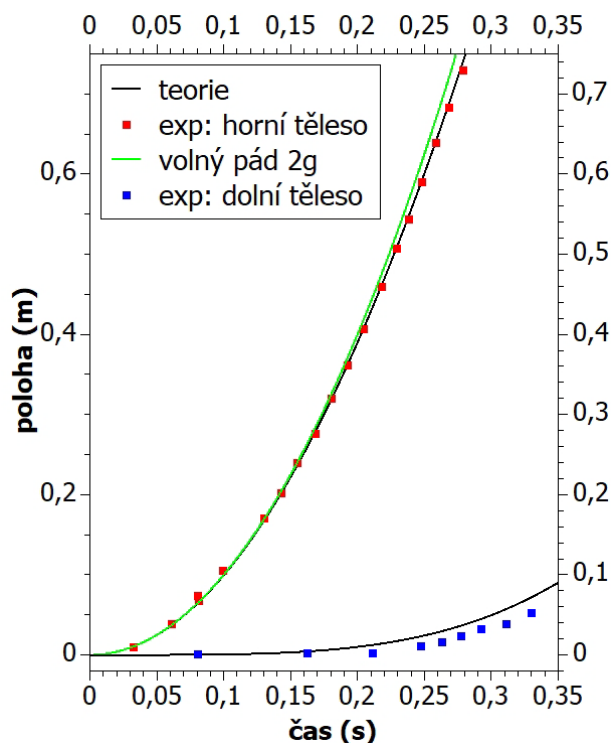
$$x_2(t) = \frac{mg}{2k}. \quad (11)$$

Tedy výpočet v aproximaci malých časů ukázal, že na počátku pádu skutečně horní těleso padá se zrychlením $2g$, zatímco dolní těleso vůbec nezrychluje. Stejný závěr vyplynul i z úvodní jednoduché silové úvahy, ale aproximativní výpočet dal informaci nejen o počátečním okamžiku ale i o časové závislosti v úvodní části pádu.

Experimentální ověření

Experimentální ověření bylo provedeno s ocelovou pružinou o hmotnosti $m_p = 0,1$ kg, tuhostí $k = 7,7$ N/m a se dvěma kilogramovými závažími. Hmotnost pružiny tedy byla rovna přibližně 5 % hmotnosti celé soustavy a bylo tedy možné použít výše popsany model s nehmotnou pružinou. Soustava visela na tenké nitce a uvolnění bylo realizováno přepálením nitky. K hornímu tělesu byl navíc upevněn silnější provázek, pomocí kterého experimentátor padající těleso po jisté době zachytil, aby nedošlo k poškození pružiny nárazem těžkého tělesa.

Pád byl snímán rychloběžnou kamerou se snímací frekvencí 1000 Hz. Video bylo zpracováno pomocí programu Capstone.



Obr. 5. Časová závislost polohy při pádu dvou těles.

Výsledek je zobrazen na obrázku 5. Počáteční polohy obou těles jsou přesunuty do počátku soustavy souřadnic. Pro horní těleso jsou experimentální data ve velmi dobré shodě s teoretickým výpočtem dle rovnice (6). Experimentální data dolního tělesa jsou oproti teorii (rovnice (7)) mírně zpožděna. Tento efekt je důsledkem konečné rychlosti šíření vlny v pružině a bude komentován později.

Zelená křivka zobrazuje volný pád tělesa se zrychlením $2g$. Vidíme, že v prvních asi $0,15$ s pádu horní těleso skutečně padá se zrychlením $2g$, v dalších fázích pádu se však zrychlení začíná zřetelně zmenšovat.

„Slinky“

Slinky je pružina s větším počtem závitů a velmi malou tuhostí, takže při volném visení se vlastní vahou významně prověsí, viz obrázek 6. Slinky se běžně prodává jako hračka, která vykazuje zajímavé efekty, viz například [2].



Obr. 6. Slinky.

Volný pád svisle visící slinky je velmi zajímavý a překvapivý jev, který přímo láká k teoretickému popisu. V současnosti lze říci, že problém je teoreticky vyřešen [3]. Analytické řešení značně přesahuje úroveň středoškolské fyziky, přesto lze s využitím základních zákonů mechaniky i na střední škole vyvodit zajímavé závěry.

Video je k dispozici například na [4]. Snadno obdobná videa najdeme na YouTube po zadání hesla „Falling slinky“.

Na pádu jsou překvapivé zejména dvě následující skutečnosti.

- 1) Pružina kontrahuje tak, že horní závity postupně dosedají na sebe a tento rostoucí balík prolétává celou délkou nehnuté pružiny.
- 2) Po celou dobu kontrakce pružiny zůstává dolní konec pružiny v klidu.

Oba efekty lze vysvětlit na základě pozoruhodné vlastnosti rychlosti šíření podélné vlny v pružině. Z teoretického rozboru plyne, že podélná vlna se šíří rychlostí, při které vlna proletí za stejný časový úsek stejnou hmotnost pružiny. Definujeme-li tzv. „hmotnostní rychlost“ (s jednotkou kg/s), pak pro ni platí [5]

$$v_m = \sqrt{k \cdot m_p} = \text{konst}, \quad (12)$$

kde m_p je hmotnost celé pružiny. Konstantnost „hmotnostní rychlosti“ znamená, že doba letu vlny od jednoho závitu k druhému je stále stejná a je nezávislá na okamžitém protažení pružiny. Směrem dolů se při statickém prověšení hustota závitů zvyšuje, tedy

vlna s konstantní hmotnostní rychlostí se při průletu pružinou zpomaluje, což způsobí kompresi letících závitů. Do části pružiny pod komprimovaným balíkem ještě nedorazila informace o tom, že horní konec pružiny byl uvolněn, a tak pružina setrvává ve stavu před uvolněním pružiny. Po celou dobu průletu vlny pružinou tedy zůstává dolní konec pružiny v klidu.

Zatížená pružina

Nehybnost dolního konce pružiny po celou dobu kontrakce pružiny je velmi překvapivý jev. Co by se stalo, kdybychom dolní konec zatížili nějakým dodatečným závažím? Na první pohled by se mohlo zdát, že tíhová síla působící na toto závaží způsobí zrychlení dolního konce pružiny. Lze však velmi jednoduše zdůvodnit, že i v tomto případě zůstane dolní konec pružiny v klidu, dokud k němu nedorazí komprimovaný balík závitů. Uvažujme libovolný závit ve střední části pružiny. Při volném visení pružiny je tento závit deformován tíhovou silou hmoty pod závitěm. Přitom není vůbec důležité, jestli níže umístěná hmota je tvořena dalšími závity pružiny, nebo přidaným závažím. Podélná vlna tedy nemá žádnou informaci o rozložení hmoty v níže položené části pružiny a její kontrakce probíhá stejným způsobem.

Zajímavým důsledkem konstantnosti hmotnostní rychlosti je fakt, že bez ohledu na statické prodloužení pružiny, tedy bez ohledu na hmotnost závaží zavěšeného pod pružinou, je doba průletu celou délkou pružiny stále stejná. Doba letu přes celou délku pružiny spočítáme jako (analogie vztahu $t = s/v$)

$$t_p = \frac{m_p}{\sqrt{k \cdot m_p}} = \sqrt{\frac{m_p}{k}} \quad (13)$$

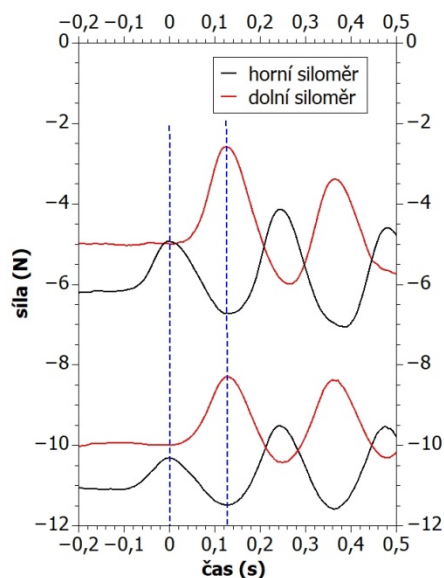
a tato doba závisí pouze na tuhosti pružiny a její celkové hmotnosti a nezávisí na aktuálním protažení pružiny.

Vztah (12) a z něj plynoucí (13) nelze v rámci středoškolské fyziky odvodit a je nutné jej konstatovat jako fakt. Lze jej však velmi jednoduše experimentálně prokázat. Dolní konec pružiny upevníme přes elektronický siloměr k zemi. Druhý siloměr upevníme na horní konec a rukou pružinu svisle napneme. Svislým zákmitem ruky vygenerujeme podélnou vlnu, která se šíří pružinou směrem dolů. Zákmity podélné vlny jsou oběma siloměry registrovány a ze zpoždění signálu v dolním siloměru lze určit dobu šíření vlny podél celé délky pružiny. Pokus opakujeme pro různá statická napnutí pružiny. Příklad měření je na obrázku 7. Pro měření byla použita ocelová pružina z prvního experimentu, která byla postupně napjata silou 5N (horní dvojice křivek) a silou 10N (dolní dvojice). V obou případech je zpoždění pulsu na dolním konci pružiny (červená křivka) oproti hornímu konci pružiny (černá křivka) v rámci experimentálních chyb shodné. Doba letu vlny podél pružiny tedy skutečně nezávisí na jejím napětí.

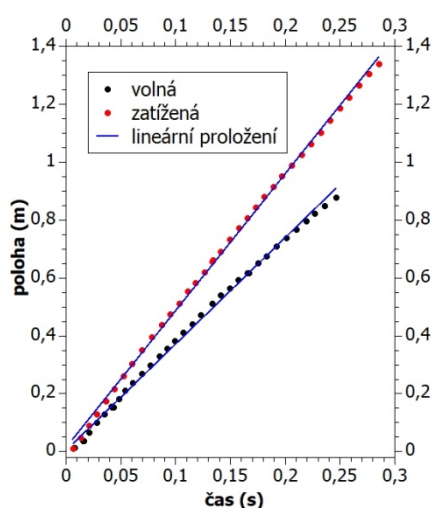
Pokud dosadíme do vztahu parametry použité pružiny $m_p = 0,1$ kg, tuhost $k = 7,7$ N/m, dostaneme

$$t_p = \sqrt{\frac{m_p}{k}} = \sqrt{\frac{0,1}{7,7}} = 0,114 \text{ s}, \quad (14)$$

což je v dobrém souhlasu s naměřenými hodnotami.



Obr. 7. Šíření podélné vlny v pružině slinky.



Obr. 8. Časová závislost polohy horního konce slinky.

Experiment

Pád pružiny, slinky, s různým podvěšeným závažím byl snímán rychlou kamerou s frekvencí 1000 Hz a vyhodnocen v programu Capstone. Výsledek pro dvě různá zatížení pružiny je na obrázku 8. Vidíme, že horní konec pružiny – kontrahovaný balík závitů – v obou případech padá téměř konstantní rychlostí (s výjimkou krátkého okamžiku těsně po uvolnění horního tělesa). Při detailním srovnání s lineárním proložení dokonce vidíme, že v průběhu pádu se rychlost snižuje. Kvalitativně to lze vysvětlit tak, že pohybující se balík postupně naráží na dolní závity, které urychluje, a to brzdí jeho pohyb oproti očekávanému zrychlujícímu se pádu.

Doba kontrakce různě zatížené pružiny není konstantní, jak by mělo plynout ze vztahu (13). Více zatížená pružina padá sice vyšší rychlostí, ale delší dobu než pružina méně

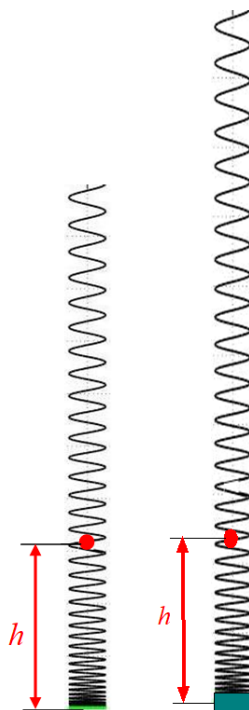
zatížená. Tento efekt je pravděpodobně způsoben odporem vzduchu, který se více projeví u rychleji padající zatíženější pružiny.

Kontrakce pružiny a pád těžiště

Pokud libovolná soustava těles padá volným pádem v homogenním tíhovém poli, musí se hmotný střed (těžiště) pohybovat rovnoměrně zrychleným pohybem se zrychlením g . Podstatná část pružiny však po většinu kontrakce zůstává v klidu a horní konec padá přibližně konstantní rychlostí. Toto však není v rozporu s nutností volného pádu těžiště. Směrem dolů hustota závitů roste a hmotnost přibližně rovnoměrně padajícího kontrahujícího balíku roste se zvyšující se rychlostí, což zajišťuje požadovaný rovnoměrně zrychlený pád těžiště.

Kontrakce pružiny a počáteční poloha těžiště

Ze skutečnosti, že doba kontrakce pružiny nezávisí na její deformaci, plyne velmi zajímavý závěr. Předpokládejme, že kontrahovaná pružina je mnohem kratší, než je její počáteční délka před uvolněním, a můžeme tedy její kontrahovanou délku zanedbat. Dále předpokládejme, že vertikální rozměr přidaného závaží je také zanedbatelný vzhledem k počáteční protažené pružině. Za těchto zjednodušujících předpokladů celá pružina (i s případným dodatečným závažím) kontrahuje do bodu v místě dolního konce pružiny. Doba kontrakce musí být současně rovna době volného pádu těžiště soustavy. Vzhledem k tomu, že doba kontrakce nezávisí na statickém prověšení, tedy na hmotnosti přidaného závaží, musí být těžiště soustavy pružina + závaží ve stejné vzdálenosti od dolního konce pružiny, bez ohledu na hmotnosti přívazku, viz obrázek 9.



Obr. 9. Poloha těžiště volně visící a zatížené pružiny.

Torzní vlna

Při podrobném sledování zpomaleného záznamu padající pružiny si lze povšimnout, že pod padajícím balíkem závitů není pružina zcela v klidu, ale šíří se v ní vlna, ve které se pružina deformuje torzně, což souvisí se skutečností, že při průtahu pružiny dochází současně k její torzní rotaci. Tento jev snadno prokážeme jednoduchým experimentem: Na pružinu zavěsíme závaží přiměřené hmotnosti, které na počátku pokusu položíme na podložku. Na závaží si předem vyznačíme jistou polohu na jeho obvodu, abychom mohli dobře pozorovat rotaci. Pružinu zcela uvolníme. Pak postupně zvedáme horní konec pružiny až do okamžiku, kdy se zavěšené těleso zvedne nad podložku. Při zdvihu se závaží viditelně otočí, což prokazuje, že podélné protažení pružiny je doprovázeno deformací v torzi.

Měkká pružina – slinky – je vůči torzní rotaci tužší než vůči podélnému prodloužení, rychlost šíření torzní deformace je tedy vyšší než rychlost šíření podélné vlny. Torzní vlna však nezpůsobí vertikální pohyb dolního konce pružiny, který tak zůstává po celou dobu kontrakce pružiny v klidu.

Závěr

Pád pružiny je zajímavý a atraktivní problém. V první variantě – pružná hmota je zanedbatelná vzhledem k hmotě nepružné – lze problém řešit teoreticky i v rámci středoškolské fyziky. Druhá varianta – padající slinky – je pro střední školu teoreticky příliš obtížná, přesto tento velmi atraktivní a překvapivý experiment lze komentovat s využitím základních zákonů mechaniky. Může být využit i jako názorný příklad konečné rychlosti šíření silové interakce, případně jako analogie jevu tsunami, při kterém fázová rychlost vlny v blízkosti pobřeží klesá, což způsobí katastrofický nárůst amplitudy. Podobně jako při pádu slinky ze stejného důvodu rychle narůstá hmota kontrahovaných závitů.

V neposlední řadě lze tyto experimenty díky atraktivnostem a bohatosti fyzikálního obsahu využít jako námět pro studentské projekty.

Literatura

- [1] Koupil J., Vícha V. *1200 FPS*, VNUF Praha 2010
- [2] <https://www.youtube.com/watch?v=-vbZRaSudw4> [cit 15. 9. 2020]
- [3] Cross R. C., Wheatland, M. S. *Modeling a Falling Slinky*. Am. J. Phys. 80, 1051 (2012)
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=eCMmmEEyOO0&t=145s> [cit 15. 9. 2020]
- [5] Edwards T. W., Hultsch R. A. *Mass Distribution and Frequencies of a Vertical Spring*, Am. J. Phys. 40, 445 (1972)

Měření brzdné dráhy automobilu

František Černý¹, Jaroslav Reichl²

¹ČVUT Praha, Fakulta strojní, ²SPŠST Panská, Praha

Abstrakt

V rámci absolventského projektu proměřoval František Černý, tehdy žák SPŠST Panská, brzdou dráhu automobilu s využitím sond firmy Vernier. Měření, zpracování naměřených dat i závěry učiněné na základě měření mohou být inspirací pro další podobná měření.

Úvod od učitele

O automobily a jejich popis se František zajímá už dlouho. Když pak začal v hodinách fyziky pronikat do přesnějšího popisu jeho koníčku, začal se ptát na detaily těch fyzikálních jevů, které souvisely právě s automobily, popisem jejich vlastností i zabezpečovacích prvků v nich se používajících. Současně začínal uvažovat nad tématem absolventského projektu, který musel během čtvrtého ročníku studia vypracovat. Vzhledem k tomu, že v průběhu třetího ročníku studia úspěšně získal řidičské oprávnění, začala se volba tématu absolventského projektu ubírat jedním směrem. Učitele fyziky, který by měl pro Františkův koníček pochopení a který by absolventský projekt zaštilil jako vedoucí, nebylo nutné dlouho hledat.

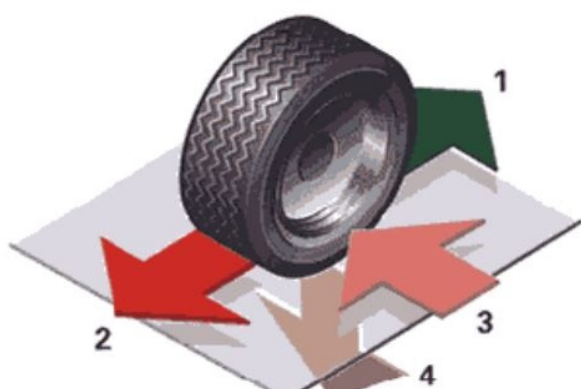
Výběr tématu své budoucí práce (viz [1]) – proměřit brzdou dráhu automobilu na letních i zimních pneumatikách s aktivovaným i deaktivovaným ABS – František pak úspěšně obhájil před předmětovou komisí. V realizaci jeho práce tedy zdánlivě nic nestálo v cestě.

Průběh měření

Teoretický základ – stabilita automobilu, Kammova kružnice, ABS

Protiblokovací systém ABS (*Anti-lock Braking System*) je jedním ze základních prvků aktivní bezpečnosti vozidla (více viz [4]). Byl vyvinut firmou BOSCH v roce 1978, ačkoliv myšlenka na takový systém je téměř o 50 let starší. Systém ale bylo možné zrealizovat až s dostatečně pokročilou elektronikou. Kolo automobilu, ve kterém je aktivován systém ABS, se stále odvaluje a tím se zabraňuje ztrátě adheze mezi kolem a vozovkou. Odvalující se kolo přitom umožňuje zachování stability, ovladatelnosti a říditelnosti vozidla i v mezních situacích (prudké brzdění, brzdění na kluzké vozovce,...). V těchto situacích řidiči většinou začnou brzdit velmi prudce, což způsobí zablokování kol zejména u konvenčních brzdových systémů, v nichž velikost brzdné síly působící v brzdách automobilu závisela na velikosti síly stlačující brzdný pedál. Zablockované kolo pak nepřenáší žádnou boční sílu, a proto neumožňuje zatočení.

K základním předpokladům bezpečné jízdy patří zejména dobrá ovladatelnost automobilu v kritických a nečekaných situacích. K tomu je zapotřebí dobrá přilnavost kol k vozovce, což vyjadřuje pojem adheze. Ta vychází, jak vidíme na obr. 1, ze sil působících za jízdy na plochu kola, které je ve styku s vozovkou.



1 – hnací síla

2 – brzdná síla (působí proti hnací síle)

3 – stranové boční síly zajišťující říditelnost vozu

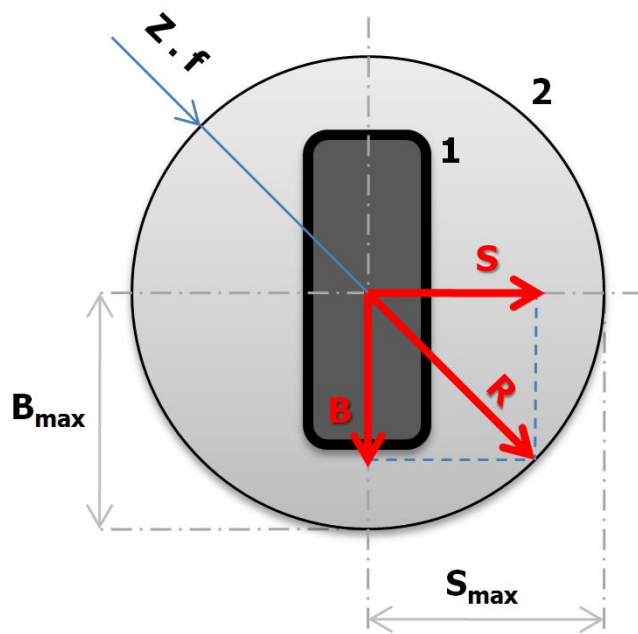
4 – tíhová síla spolu se třením umožňuje působení ostatní sil

Obr. 1. Síly působící na kolo, viz [2].

Jízdní vlastnosti automobilu ovlivňuje též moment setrvačnosti automobilu (při jeho otáčení kolem svislé osy) a moment setrvačnosti jeho kol. Současně je třeba vzít v úvahu i odporové síly vzduchu, sílu bočního větru a odstředivou sílu působící během zrychleného pohybu na automobil.

Ke znázornění okamžitých adhezních vlastností vozidla se používá takzvaná Kammova kružnice (viz obr. 2), jejíž průměr je úměrný mezi přilnavostí pneumatiky k vozovce (čím lepší adheze, tím větší je průměr této kružnice). Aby nedošlo ke ztrátě adheze mezi pneumatikou a vozovkou, nesmí výslednice podélných a příčných sil \vec{R} překročit velikost síly \vec{B}_{\max} , která určuje poloměr uvažované kružnice. V praxi však mají pneumatiky větší přilnavost v podélném směru, takže skutečná Kammova kružnice má spíše tvar elipsy.

Pokud je velikost brzdné síly \vec{B} rovna maximální velikosti přenesené síly \vec{R} , pak musí být boční síla \vec{S} rovna nule. V tom případě má kolo nulové boční vedení. Je-li brzdná síla \vec{B} dokonce větší než maximální možná brzdná síla \vec{B}_{\max} , pak se kolo zablokuje a pneumatika se dostává do smyku. Jsou-li kola řídící nápravy ve smyku bez bočního vedení, vozidlo se stává neovladatelné! Detailně je problematika popsána ve [3].



Obr. 2. Kammova kružnice, viz [3].

Základními součástmi ABS jsou snímače pro zjištění aktuální frekvence otáčení kol, řídicí jednotka pro zpracování signálů z těchto snímačů a akční členy, které zajistí požadovanou odezvu. Signály ze snímačů otáček kol jsou vyhodnoceny řídicí jednotkou, která reguluje velikost brzdné síly pro příslušné kolo automobilu.

Princip rozpoznávání krizových situací je takový, že řídicí jednotka neustále porovnává velikost referenční rychlosti vozu (určena z pohybu dvou diagonálně umístěných kol) s velikostí rychlosti na všech čtyřech kolech. Na základě vznikajících rozdílů zjišťuje zrychlení, zpomalení a skluz každého kola a vypočítává odpovídající řídicí impulsy pro hydraulickou jednotku. V případě náhlého snížení velikosti rychlosti jednoho ze čtyř kol pod naprogramovanou hodnotu oproti referenční velikosti rychlosti je (bez ohledu na polohu brzdového pedálu) odpuštěn brzdý tlak na příslušném pomalejším kole a ihned po jeho odblokování se tento brzdý tlak obnovuje. Podle povahy vozovky probíhá za sekundu 4 až 10 takovýchto regulačních cyklů. (První modely ABS přitom nedokázaly přibrzdit jednotlivá kola, ale pouze dvojice kol. S rozvojem rychlé elektroniky je možné ovládat každé kolo nezávisle.)

Měřicí systém

Prvním problémem, který vyvstal při přípravách realizace absolventského projektu, bylo zvolit měřicí systém a vhodnou metodu měření. Z bezpečnostních důvodů jsem vybral tři počáteční velikosti rychlosti 40 km/h, 55 km/h a 70 km/h, ze kterých jsem plánoval automobil brzdit. Brzdnou dráhu jsem odhadoval v řádu desítek metrů; bylo potřeba tedy zvolit takovou metodu měření, která by tuto vzdálenost dokázala uspokojivě změřit. V úvahu připadalo několik možností.

Jedoucí automobil natočit kamerou a výsledný záznam poté analyzovat. Najít vhodný software by jistě problém nebyl, problém byl najít vhodný úsek silnice, na kterém by měření mohlo probíhat a k němuž by přiléhal několik set metrů dlouhý volný prostor, kam by bylo možné umístit kameru. Ta by musela být na stativu, její osa by musela být kolmá k silnici, po níž by automobil jel, a ještě by musel být automobil na výsledném záznamu dostatečně viditelný, aby bylo možné jeho pohyb analyzovat. Splnění těchto požadavků najednou se ukázalo být nereálné.

Druhou metodou bylo využít senzory firmy Vernier. Jako první mě napadlo použít senzor GoMotion. Ten ale (po konzultaci s vedoucím práce Mgr. Reichlem a jeho kolegy z KDF MFF UK Praha) byl značně nevhodný. Bez velkého šumu je schopen měřit v rozmezí délek několika metrů, nikoliv několika desítek metrů.

Další volbou bylo použití senzoru GPS, který ovšem má příliš malou vzorkovací frekvenci (a to 1 Hz). Pro účely našeho měření, kdy jsem očekával, že automobil bude brzdit po dobu několika sekund, se ukázala tato vzorkovací frekvence jako nedostatečná. Přesto jsem i s tímto senzorem měření provedl a data zpracoval (viz podkapitola Zpracování dat).

Posledním senzorem, který přicházel v úvahu, byl senzor měřící velikost zrychlení. Tento senzor umožňoval nastavit vzorkovací frekvenci 50 Hz, což vedlo k naměření dostatečného množství dat. Bylo ale nutné najít metodu, jak na základě naměřené velikosti zrychlení vypočítat dráhu, kterou automobil urazil (viz podkapitola Zpracování dat).

Vhodný terén

Druhým zásadním problémem bylo najít vhodný terén, který by měl splňovat několik parametrů:

- malý provoz, abychom při měření nerušili ostatní vozidla, chodce a cyklisty a abychom minimalizovali riziko vzniku nehody;
- relativně rovný úsek, na kterém bych se mohl v jedoucím automobilu soustředit na velikost rychlosti, na způsob brždění, ... a nemusel sledovat ještě zatáčky;
- minimální sklon vozovky.

Po delším přemýšlení a hledání se takovým vhodným úsekem silnice ukázala být málo používaná cesta nedaleko Cholupic v jihovýchodní části Prahy.

Deaktivovaný ABS

Od začátku příprav bylo jasné, že měření provedu na letních a zimních pneumatikách, přičemž oboje pneumatiky použiji v automobilu s ABS a v automobilu, který tento systém nemá. Několik dní před začátkem měření se mi podařilo najít pojistku, kterou lze v automobilu ABS deaktivovat, aniž by se řízení automobilu zablokovalo nebo byla jinak ohrožena bezpečnost jízdy. To byla velká výhoda: všechna měření budu moci uskutečnit s jedním automobilem! Odpadne tak problém s nepatrně různými hmotnostmi dvou automobilů, s různým vzorkem použitých pneumatik, ...

Vlastní měření

Vlastní měření jsem provedl pod dohledem vedoucího práce Mgr. Reichla v pondělí 28. října 2019. Nejdříve byla provedena všechna měření (3 různé velikosti počáteční rychlosti, aktivovaný ABS, deaktivovaný ABS) na letních pneumatikách – a to jak pomocí senzoru zrychlení, tak s využitím senzoru GPS. Poté byly pneumatiky vyměněny za zimní a všechna měření byla zopakována.

Automobil jsem řídil sám, vedoucí práce pořídil dokumentační fotografie a obsluhoval datalogger s připojenými senzory. Automobil jsem vždy rozjel a po dosažení dané velikosti rychlosti jsem začal brzdit. Danou velikost počáteční rychlosti jsem hlídal jak s využitím klasického tachometru, tak s využitím aplikace na mobilním telefonu, která nastavenou velikost rychlosti signalizovala akusticky.

Zpracování dat

Naměřená data jsem z formátu dostupného pro datalogger firmy Vernier převedl do formátu *.XLSX a poté data načetl do programu *Mathematica*. V něm jsem provedl veškeré výpočty a vykreslil příslušné grafy.

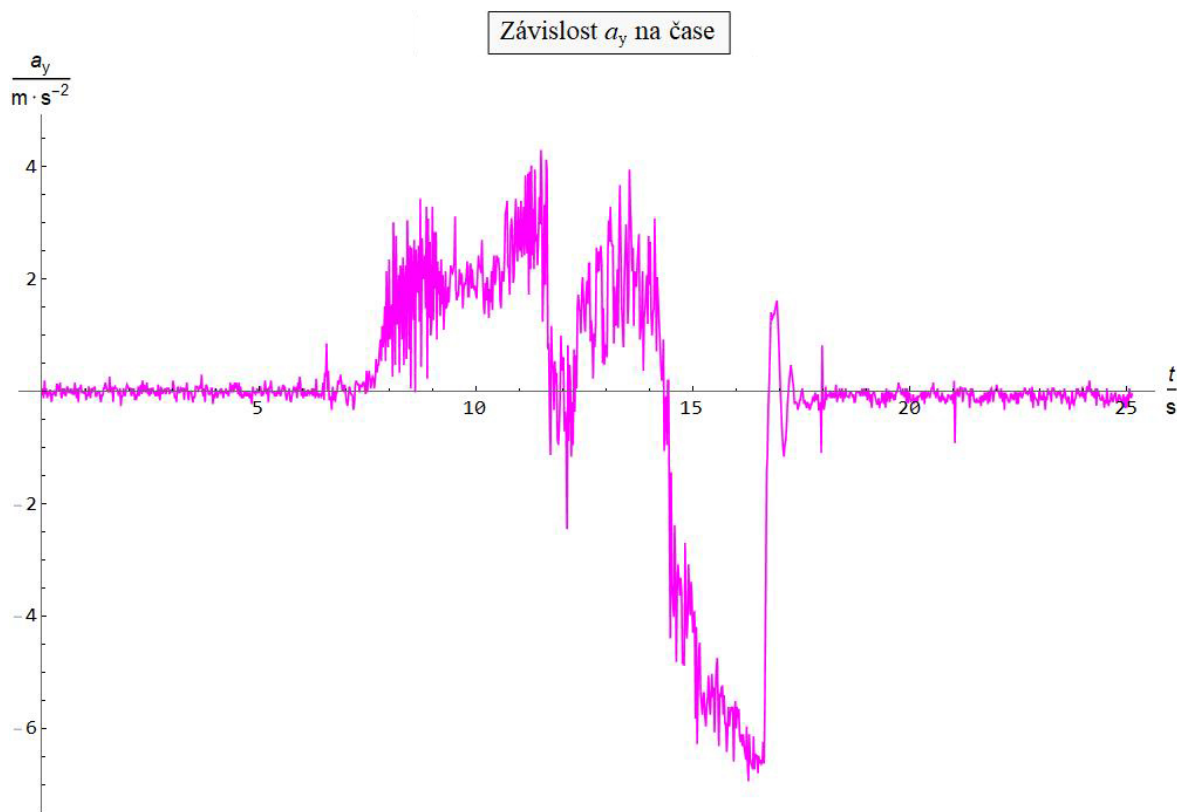
Naměřené velikosti okamžitého zrychlení jsou nespojitě body. Proto je nutné použít metodu řešení diferenčních rovnic, kdy hodnotu nové fyzikální veličiny (v našem případě velikost rychlosti a poté i dráhu) počítáme v jednotlivých časových krocích, které jsou dány vzorkovací frekvencí použitého čidla. V případě použitého akcelerometru je tedy $\Delta t = 0,02$ s.

Výpočet brzdné dráhy vychází ze základního definičního vztahu pro velikost zrychlení: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, kde Δv je změna velikosti rychlosti, která nastala za dobu Δt . Z uvedeného vztahu postupně vyjádříme $\Delta v = a \cdot \Delta t$, přičemž platí, že $\Delta v = v - v_0$. A nyní už dostáváme finální vztah $v = v_0 + a \cdot \Delta t$. Veličinu v je nutné chápat jako nově vypočtenou velikost rychlosti na základě předchozí velikosti rychlosti v_0 .

Analogicky pro výpočet dráhy uražené automobilem vyjdeme ze vztahu $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, z něhož vyjádříme $s = s_0 + v \cdot \Delta t$, kde s_0 je dráha vypočítaná v minulém kroku a s je dráha vypočítaná v aktuálním kroku výpočtu.

Následující grafy jsou vykresleny na základě měření na letních pneumatikách při aktivovaném ABS při velikosti počáteční rychlosti 40 km/h. Data jsem ale pochopitelně zpracoval pro všechna měření.

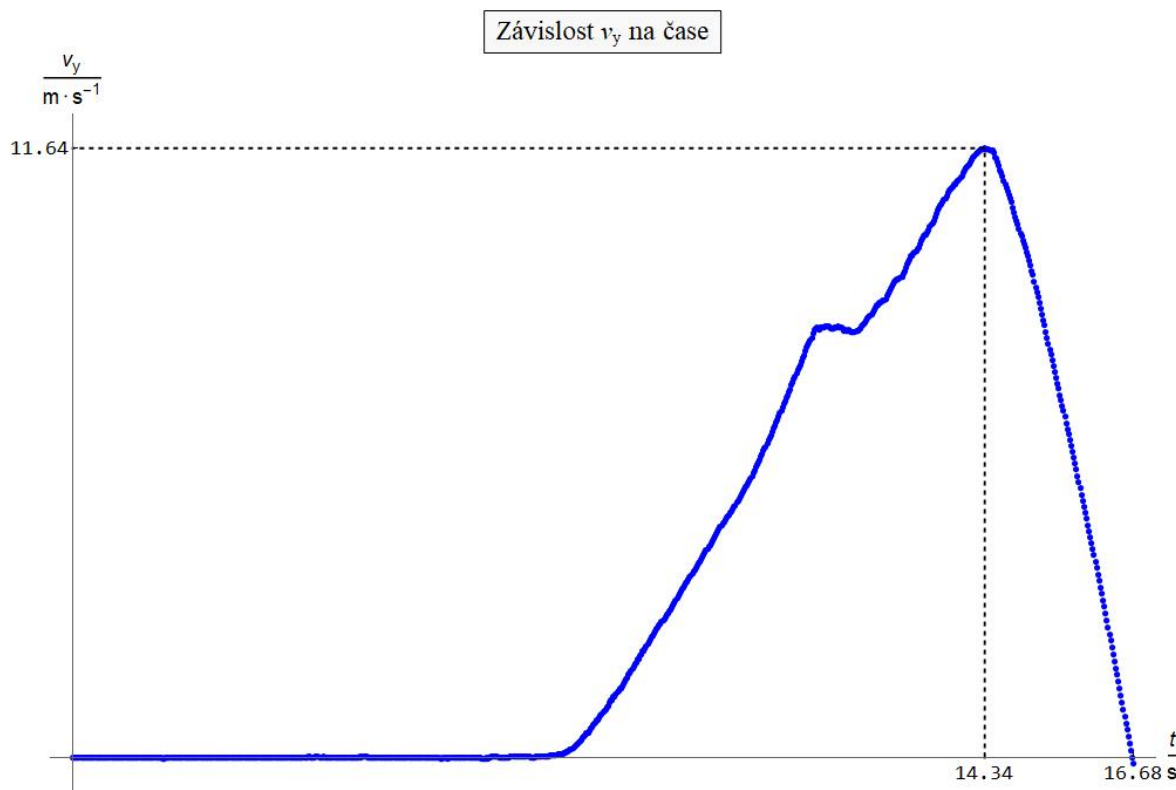
V grafu na obr. 3 je zobrazena závislost velikosti zrychlení a_y na čase t . (Vykreslení složky a_y vyplývá z umístění senzoru zrychlení v automobilu.) Ze začátku je zrychlení v podstatě nulové, neboť v tu chvíli automobil stál na místě, od sedmé sekundy je vidět první „záškub“: v tu chvíli se automobil začal rozjíždět. Do cca dvanácté sekundy se automobil rozjíždí, pak je vidět změna ve velikosti zrychlení, čemuž odpovídá přecházení na další převodový stupeň. Od cca patnácté sekundy je velikost zrychlení záporná, což odpovídá brzdění automobilu. Zastavení automobilu odpovídá pokles velikosti zrychlení na nulu.



Obr. 3. Graf závislosti zrychlení a_y na čase.

Závislost velikosti rychlosti v_y na čase t je zobrazena v grafu na obr. 4. Jak bylo zmíněno již u přechodícího grafu, krátká prodleva v nárůstu velikosti rychlosti je zapříčiněna přecházením na vyšší převodový stupeň. Z maxima grafu lze vyčíst maximální velikost

rychlosti v_y , v tomto případě $11,64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, což odpovídá $41,9 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Dále lze z grafu odečíst dvě pro nás kritické hodnoty času: časy $14,34 \text{ s}$ a $16,68 \text{ s}$ - čas začátku brždění a čas konce brždění. Tyto hodnoty budou podstatné dále.

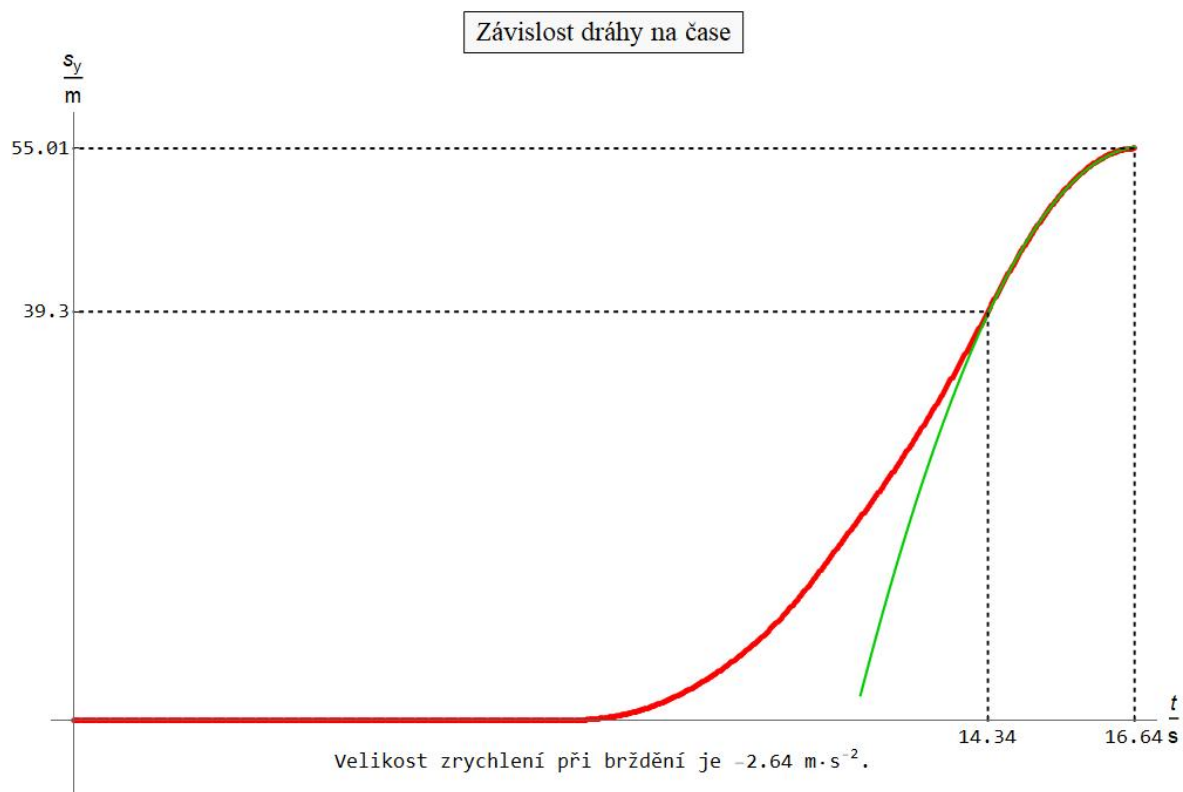


Obr. 4. Graf závislosti velikosti rychlosti v_y na čase.

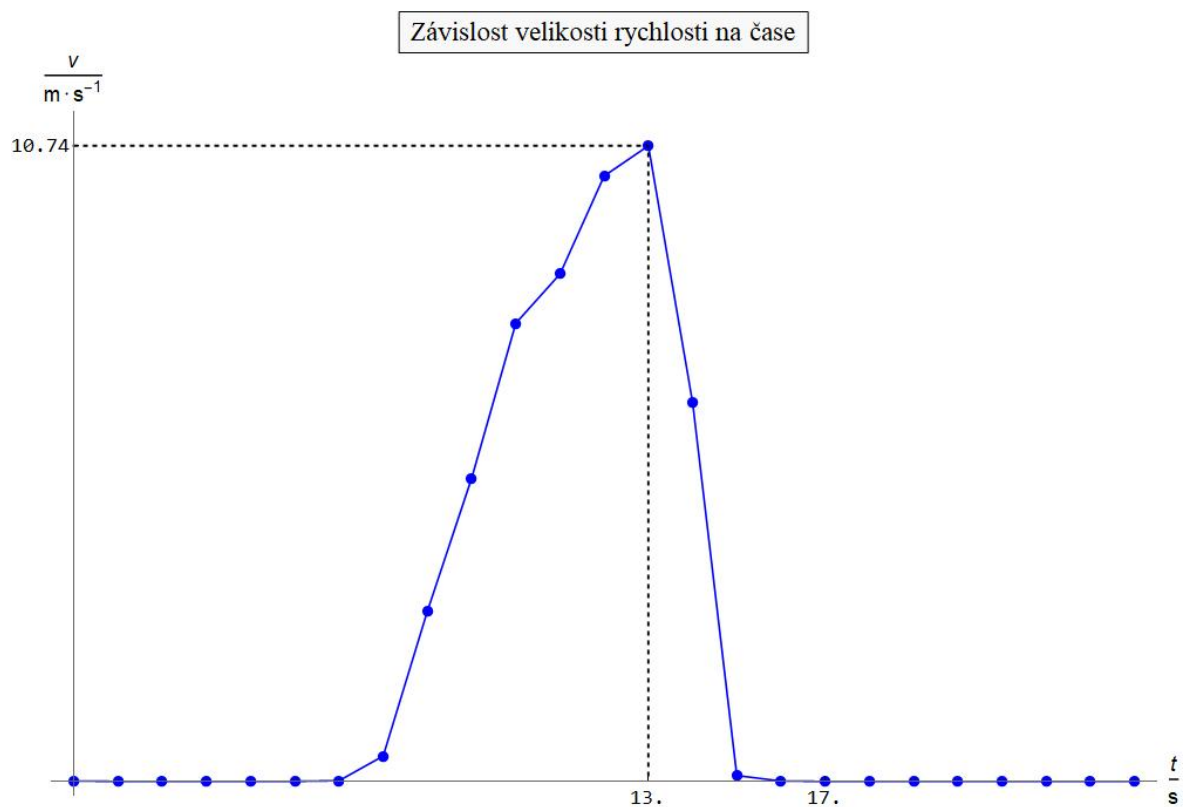
Třetí a nejdůležitější graf je graf závislosti dráhy s_y na čase t , který je zobrazen na obr. 5. V grafu jsou vyznačeny i z minulého grafu odečtené hodnoty času začátku a konce brždění. Na základě těchto časů určíme brzdnou dráhu $15,7 \text{ m}$. V grafu je také zobrazena spojitá křivka prokládající tu část grafu, která odpovídá brždění automobilu. Za předpokladu, že by automobil brzdil se stálým zrychlením, by bylo možné brzdnou dráhu počítat pomocí vztahu $s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$, který odpovídá kvadratické funkci v proměnné t . A právě touto křivkou je uvažovaná část grafu proložena. Na základě této závislosti vychází velikost zrychlení při brždění $a_y = -2,64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Na první pohled se může zdát být podivné, že jak závislost dráhy na čase, tak závislost velikosti rychlosti na čase pro brždění odpovídá rovnoměrně zrychlenému pohybu. V grafu závislosti velikosti rychlosti na čase je brždění popsáno lineární závislostí (což odpovídá teorii) a totéž brždění je popsáno v grafu závislosti dráhy na čase kvadratickou funkcí. Přitom ale graf závislosti velikosti zrychlení na čase rovnoměrně zrychlenému pohybu neodpovídá (velikost zrychlení není konstantní). Příčinou je použitá metoda diferenčních rovnic, která drobné nepřesnosti dokáže vyhladit.

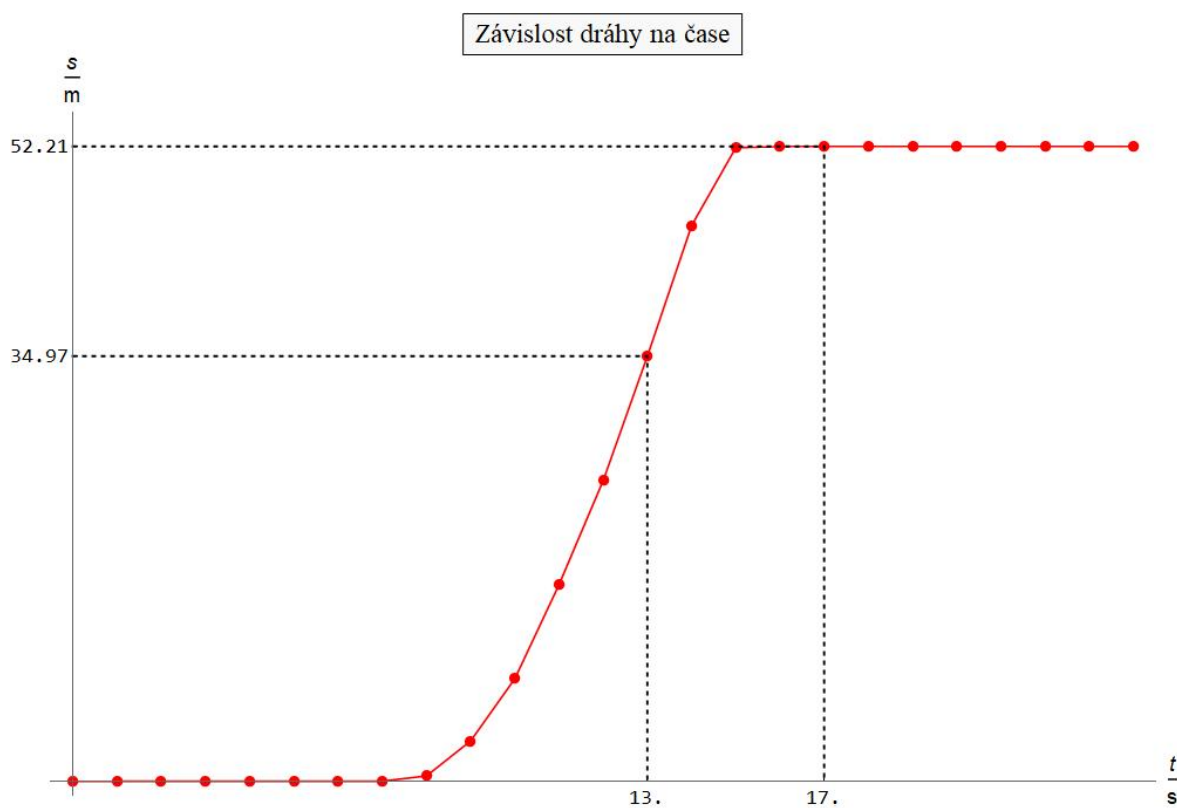
Ačkoliv všechny zobrazené grafy vypadají spojitě, jedná se bodové grafy vykreslené na základě naměřených dat velikostí zrychlení a dopočítaných (bodových) velikostí rychlostí a dráhy. Jedinou spojitou funkcí je kvadratická funkce prokládající data v části grafu odpovídajícímu brždění (viz obr. 5).



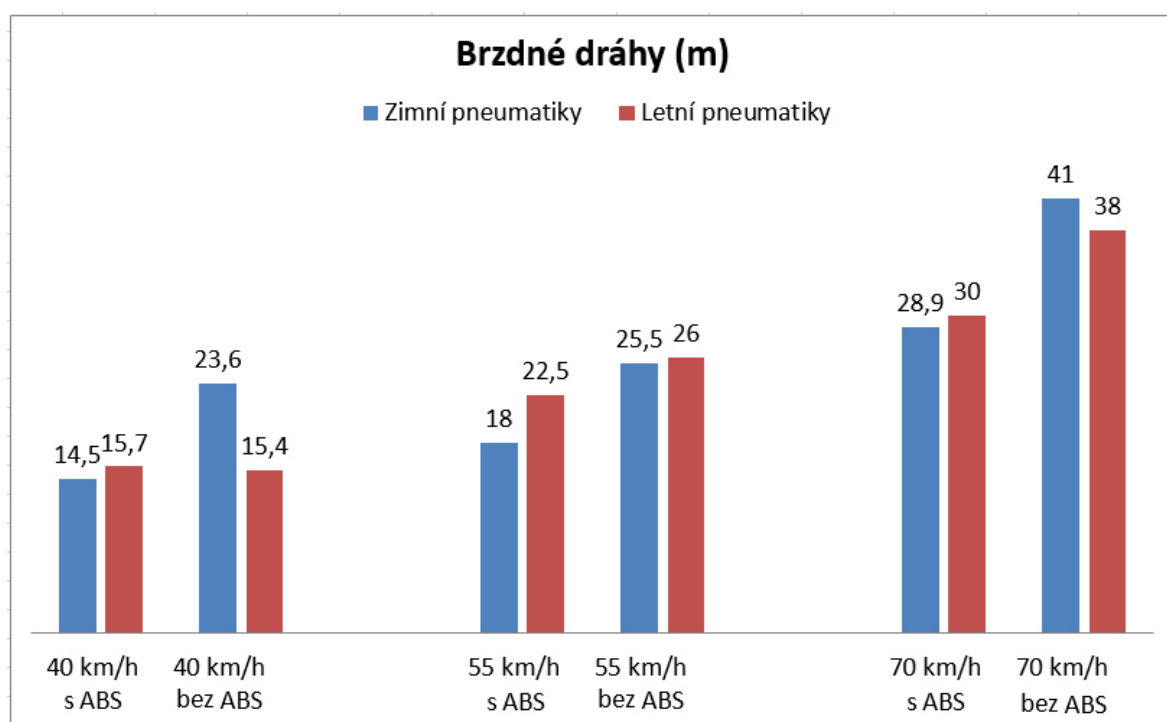
Obr. 5. Graf závislosti dráhy na čase.



Obr. 6. Graf závislosti velikosti rychlosti na čase (senzor GPS).



Obr. 7. Graf závislosti dráhy na čase (senzor GPS).



Obr. 8. Závislost brzdné dráhy na počátečních parametrech automobilu.

Pro porovnání přikládáme ještě grafy závislosti velikosti rychlosti na čase (viz obr. 6) a závislosti dráhy na čase (viz obr. 7) získané na základě dat ze senzoru GPS. Naměřené zeměpisné souřadnice bylo nutné přepočítat na souřadnice polohy (viz např. článek [5]). Ze zobrazených grafů je patrné, že vzorkovací frekvence senzoru GPS není pro přesné měření dostatečná (senzor snímá data pouze jednou za sekundu).

I senzor GPS poskytuje podobné výsledky, jako senzor zrychlení. Pro vyhodnocení měření a vzájemné porovnání brzdných drah byla ale použita data získaná ze senzoru zrychlení.

Analogicky byla provedena další měření (viz popis v podkapitole Vlastní měření), která byla vyhodnocena stejným způsobem. Přehledně naměřené brzdné dráhy zobrazuje obr. 8. Již na první pohled je patrné, že automobil, který měl ABS aktivovaný, má až na jeden případ kratší brzdnou dráhu. (Pouze při počáteční rychlosti o velikosti 40 km/h vyšla brzdná dráha s aktivovaným ABS delší. To může být způsobeno právě malou velikostí počáteční rychlosti, které odpovídá i krátká doba brždění, během níž ABS není tak účinný.)

Závěr

Během příprav, vlastního měření a jeho zpracování jsem si ujasnil některé nové pojmy a souvislosti, po konzultaci s vedoucím práce jsem zvládnul problematiku řešení diferenčních rovnic a prohloubil znalosti o programu *Mathematica*. Proto považuji svá měření za úspěšná.

Ač takto komplexní práce vypadala na počátku téměř neřešitelně, díky mému zájmu a díky podpoře vedoucího práce jsem vše zdárně dokončil. Pokud se bude chtít některý z učitelů či žáků zabývat podobným problémem, neváhejte! Nic není tak komplikované, jak to na začátku vypadá!

Literatura

- [1] Černý F.: *ABS*, absolventský projekt, SPŠST Panská, Praha
- [2] Síly působící na kolo. [citováno 10. 8. 2020]. Dostupné online: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17678
- [3] Kammova kružnice přilnavosti. [citováno 10. 8. 2020]. Dostupné online: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/kammova-kruznice-prilnavosti/>
- [4] ABS. [citováno 10. 8. 2020]. Dostupné online: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/abs-anti-lock-braking-system/>
- [5] Reichl J: *Měření se systémem GPS*. [citováno 10. 8. 2020]. Dostupné online: <https://clanky.rvp.cz/clanek/c/G/13539/mereni-se-senzorem-gps.html/>

Horkovzdušný balón

Iva Dostálová Sekaninová

Základní škola Olomouc, Mozartova 48

Abstrakt

Příspěvek přináší návod na výrobu horkovzdušného balónu jako didaktické pomůcky pro výuku vztahové síly působící na těleso v atmosféře Země.

Balón je na výrobu velmi jednoduchý a při použití ve výuce efektivní.

Pomůcky

Výroba balónu: izotermická folie (běžně dostupná v lékárně), lepidlo Chemoprén

Pro provedení experimentu: horkovzdušná pistole

Postup výroby

Izotermickou folii není nutno jakkoliv upravovat ani zastříhovat, pouze ji rozložíme a na polovinu nanese lepidlo – viz obrázek. Nános lepidla záměrně cca 10 cm vynecháme, jinak dbáme na to, aby vrstva naneseného lepidla byla souvislá (vyhneme se tím netěsnostem). Potom folii přeložíme, slepíme a necháme cca hodinu zaschnout. Před použitím ve výuce provedeme zkoušku těsnosti balónu. Takto vytvořený balón lze opakovaně použít.



Obr. 1. Výroba balónu – šipkou je označené místo, kde bude otvor pro nafukování.

Experiment

Horkovzdušnou pistoli zasuneme dovnitř balónu a začneme nafukovat. Po naplnění celého objemu ještě chvíli vzduch uvnitř pistolí zahříváme a následně balón vypustíme. Ten se samovolně vznese a v závislosti na okolních podmínkách se může i na několik sekund udržet u stropu učebny (chodby). Následně pomalu klesá. Izotermická folie bez problémů odolá horkému vzduchu z horkovzdušné pistole, který dosahuje teploty cca 550 °C.



Obr. 2. Nafukování balónu.



Obr. 3. Vypouštění balónu.

Závěr

Experiment lze provést jako problémovou úlohu. Jak vytvořit horkovzdušný balón ve třídě? Nejprve nafoukneme mikrotenový sáček na odpadky pomocí teplého vzduchu z fénu. Tento model horkovzdušného balónu žáky rozhodně neuspokojí. Pomocí návodných otázek a společné diskuze se shodneme, že je nutno zvětšit objem balónu a také teplotu vzduchu uvnitř, tedy zmenšit hustotu plynu uvnitř balónu v porovnání s atmosférickým vzduchem okolo. Tím je problém vyřešen a odhalen princip činnosti horkovzdušného balónu. 😊



Jak vážit pomocí ampérmetru a voltmetru aneb vyrobte si (skoro) Kibblovy váhy

Leoš Dvořák

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

Kilogram je od roku 2019 definován nově. Pro jeho praktickou realizaci, resp. přesné měření hmotnosti se používají tzv. Kibblovy váhy. Příspěvek popisuje, jak si lze zhotovit jednoduchou levnou pomůcku, která umožní demonstrovat základní princip tohoto přístroje.

Motivace: jak se dnes váží kilogram

S platností od 20. května 2019 jsou v soustavě SI nově definovány základní jednotky. Kilogram je nyní definován pomocí Planckovy konstanty. Novou definici zde nebudeme uvádět ani blíže komentovat. (Přesné znění viz např. v [1], znění i s komentáři lze najít i na Wikipedii [2], [3].) Zaměříme se na to, jak lze kilogram realizovat, resp. změřit, tedy spíše zvážit.

Starší definice kilogramu byla názorná a pochopitelná, a to i na úrovni základní školy. Když si představíme, co si z ní může pamatovat laik, bude to něco ve stylu: „Kilogram je prostě to, co je zavřené někde v Sèvres u Paříže.“

Novou definici si laik nejspíš vůbec nepředstaví, možná si ze všech výkladů vezme jen něco jako „Kilo je pořád kilo, jak ho znám, jen to teď ti vědci dělají hrozně složitě přes nějaké konstanty.“

Možná je tohle maximum, čeho u laiků můžeme dosáhnout. ☺ Na druhou stranu bychom přece jen ve výuce fyziky asi neměli rezignovat na možnost dát žákům alespoň nějakou představu, jak lze jednotku kilogram podle nové definice realizovat. To znamená, že bychom v tom měli mít alespoň trochu jasno my, fyzikáři.

Uvažovaných možností, jak realizovat kilogram, je víc, viz např. příspěvek M. Rottera [4]. Nejčastěji se uvádějí *Kibblovy váhy*, určující sílu na základě měření napětí a proudu. Tato měření dnes mohou být až neuvěřitelně přesná. Například v článcích [5], [6], si můžeme přečíst, že napětí a proud lze měřit pomocí kvantových efektů, konkrétně tzv. Josephsonova efektu a kvantového Hallova jevu. Ty umožňují realizovat normály napětí a odporu, jejichž nejistoty jsou jen řádu 10^{-9} . Z napětí a odporu pak dostaneme i velmi přesnou hodnotu proudu. Ve vztazích pro hodnoty daných normálů se objevuje Planckova konstanta h a hodnota elementárního náboje e . V součinu $U \cdot I$ přitom zbyde jen h , tedy konstanta, přes kterou je definován kilogram.

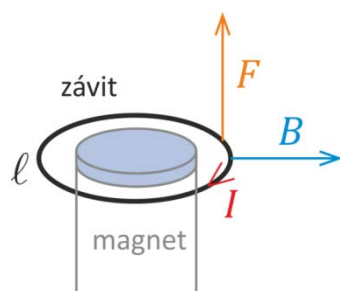
Tyto kvantové záležitosti zde ovšem blíže rozebírat nebudeme, ostatně jsou několik pater nad středoškolskou fyzikou. Podstatné je, že pokud umíme dostatečně přesně měřit hmotnost pomocí napětí a proudu, máme toto měření navázáno na Planckovu konstantu – a tedy na novou definici kilogramu.

Princip daného měření navrhl v roce 1975 Bryan Kibble, podle něhož se dnes tyto váhy nazývají. (Lze se setkat i s dříve používaným názvem „wattové váhy“, anglicky *watt balance*). Cílem tohoto příspěvku je ukázat na jednoduché pomůcce, jak toto zařízení funguje a jak se pomocí něj měří.

Kibblovy váhy měří sílu

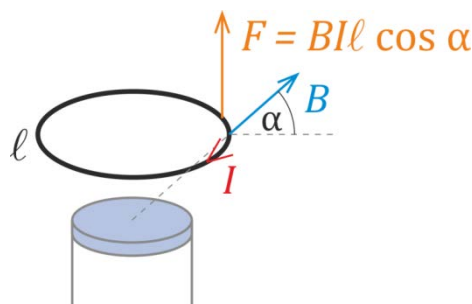
Hned na počátku zdůrazněme, že Kibblovy váhy měří *sílu* – při měření závaží tedy tíhovou sílu mg . Pro určení hmotnosti m tedy potřebujeme znát hodnotu tíhového zrychlení; ta se při profesionálních měřeních stanovuje přesnými gravimetry.

Tíha závaží se vyvažuje silou, kterou působí magnetické pole na vodič s proudem. Situaci pro jeden závit s proudem ukazuje obr. 1.



Obr. 1. Síla působící na závit v magnetickém poli.

Pokud je magnetická indukce \vec{B} kolmá na proud a má ve všech bodech závitu stejnou velikost, je velikost síly daná známým vzorcem $F = B I \ell$, kde I je proud a ℓ je délka závitu. Pokud by magnetická indukce v jednotlivých bodech závitu svírala s rovinou závitu úhel α , bude ve vztahu pro sílu ještě $\cos \alpha$, viz obr. 2.



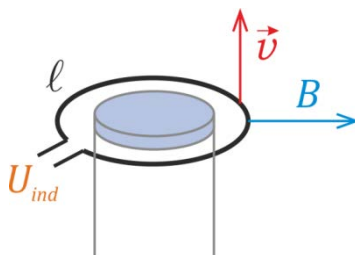
Obr. 2. Síla působící na závit když magnetická indukce není v rovině závitu.

Sílu můžeme vypočítat i v obecnějším případě, ovšem příslušný výpočet už spadá spíše do vysokoškolské fyziky.

Podstatné ale je, že zatímco proud můžeme měřit velmi přesně (alespoň to velmi přesně umí fyzikové při využití zmíněných kvantových jevů), měření délky závitu a velikosti a směru magnetické indukce už zdaleka není tak přesné. (Reálně se k měření používá ne jeden závit, ale cívka, a pro přesné měření bychom museli velmi detailně znát geometrii celého uspořádání a rozložení magnetického pole.) Takže ani sílu bychom dost přesně měřit neuměli – nebýt vskutku skvělého Kibblova nápadu.

Kibblova myšlenka

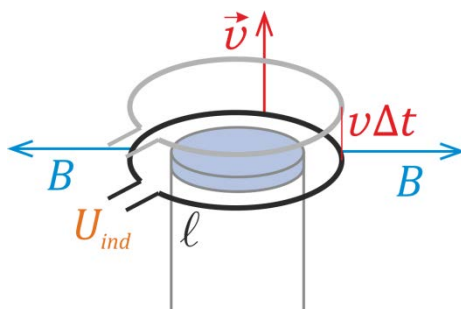
Základní myšlenka B. Kibbla byla nechat stejné magnetické pole, a závitem (resp. cívkou) hýbat nahoru a dolů, jak to ukazuje obr. 3. A měřit přitom indukované napětí.



Obr. 3. Při pohybu závitem (ve stejném magnetickém poli) měříme indukované napětí.

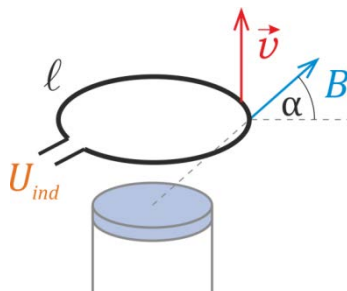
Velikost indukovaného napětí je $U = v B l$. Poznamenejme, že ve středoškolské fyzice se tento vztah odvozuje pro přímý vodič pohybující se v homogenním magnetickém poli. V případě našeho závitu můžeme závit rozdělit na malé kousky, každý z nich brát jako dostatečně rovný, napětí na kousku vzít $\Delta U = v B \Delta l$ a sečíst přes všechny kousky, takže opravdu vyjde $v B l$.

Alternativně lze tento vztah vyvodit ze zákona elektromagnetické indukce: Za malý čas Δt se závit ve svislém směru posune o $v \Delta t$, viz obr. 4. Pláštěm myšleného válečku, jehož podstavy tvoří závit v čase t a $t + \Delta t$, teče magnetický indukční tok $\Delta \Psi = B \Delta S = B v \Delta t l$. O $\Delta \Psi$ se zmenší magnetický indukční tok tekoucí závitem. Pak již stačí vzít $\Delta \Psi / \Delta t$.



Obr. 4. K odvození indukovaného napětí ze zákona elektromagnetické indukce.

Pokud není magnetická indukce rovnoběžná s rovinou závitu, uplatní se ve vztahu pro napětí jen složka $B \cos \alpha$, viz obr. 5.



Obr. 5. Indukované napětí pro závit v obecnější poloze je $U = v B l \cos \alpha$.

Proč je Kibblova myšlenka skvělá

Síla působící na závit v situaci dle obr. 2 je

$$F = I B \ell \cos \alpha . \quad (1)$$

Napětí, indukované v pohybujícím se závitě v situaci dle obr. 5 je

$$U = v B \ell \cos \alpha . \quad (2)$$

Vydělením vztahů (1) a (2) dostaneme

$$\frac{F}{U} = \frac{I}{v} \Rightarrow F = \frac{U I}{v} . \quad (3)$$

To znamená, že pro výpočet síly *nepotřebujeme znát* ani velikost magnetické indukce, ani délku závitu, ani směr, který magnetická indukce svírá s rovinou závitu!

Prostě nejdříve závitem hýbeme známou rychlostí v a měříme napětí U , které se v něm indukuje. Pak na závit zavěsíme závaží, které chceme měřit a nastavíme proud I , aby síla F , kterou magnetické pole působí na závit, vyvažovala tíhu závaží. Ze vztahu (3) pak dostaneme tíhu závaží. Celá konstrukce bývá opravdu realizována jako váhy s vahadlem, podobně jako to známe ze starých laboratorních vah. Místo jednoho závitu je ovšem použita cívka o mnoha závitech.

Celé odvození lze provést i obecněji a ukáže se, že výsledek nezávisí ani na geometrii daného uspořádání. Například pól magnetu nemusí být na ose cívky, takže velikost magnetické indukce bude různá v různých bodech závitu – i v tomto případě bude platit výsledek (3).

Poznamenejme, že vztah (3) lze upravit na $F v = U I$. Výrazy na obou stranách mají rozměr výkonu – to je zjevně důvod, proč se dříve dané zařízení označovalo jako „wattové váhy“. Vlastně je to označení nepřesné, protože síla a rychlost se měří v různých fázích experimentu, podobně je tomu pro proud a napětí. Dodejme, že o přejmenování na Kibblovy váhy rozhodla konzultační komise Mezinárodního úřadu pro míry a váhy dva měsíce po smrti B. Kibbla v roce 2016.

Demonstrace principu Kibblových vah: výsledky profesionálů a naše ambice

Profesionální Kibblovy váhy (viz například obrázky a fotografie v příspěvku [4] nebo na Wikipedii [7]) dnes dosahují přesnost až řádu 10^{-8} , a jsou samozřejmě nesmírně drahé. Fyzikové z amerického National Institute of Standards and Technology (NIST) a University of Maryland postavili již před šesti lety demonstrační verzi Kibblových vah. V článku [6] ji popisují jako konstrukci z LEGa, nicméně v ní využívají i výrazně sofistikovanější technologie. Pomocí „senzoru stínu“ určují polohu cívky s přesností na $50 \mu\text{m}$; jejich cívka má 3 tisíce závitů. Pohyb vahadla budí proudem do cívky na druhém rameni, opět v poli permanentního magnetu. Celkově dosáhli přesnosti lepší než asi 1 %.

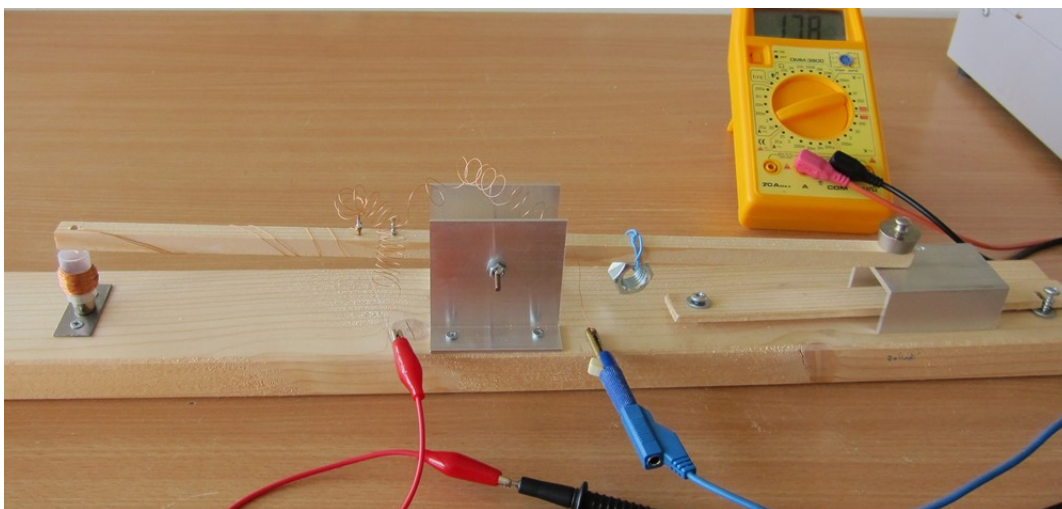
A jaké mohou být ambice českého fyzikáře?

- Udělat pomůcku levnou, „z latěk a dostupných materiálů“.
- A co do přesnosti: „Kéž by to vyšlo alespoň řádově...“ (Řekněme na 20 až 30 %.)

„Kibblovy váhy českého fyzikáře“ – první pokusy

První teoretické odhady vycházející ze vztahů (1) a (2) ukázaly, že při použití neodymových magnetů a cívky o několika stovkách závitů by princip Kibblových vah bylo možno demonstrovat. Také z prvních pokusů, kdy se magnetem v cívce hýbalo rukou, vyšla řádová shoda poměrů F/U a I/v ve vztahu (3).

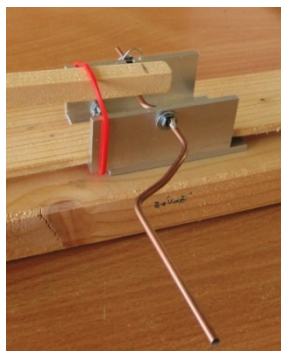
První konstrukce „Kibblových vah českého fyzikáře“ měla skutečně vahadlo z dřevěné laťky. Cívka byla navinuta na uříznuté plastové stříkačce, měla 200 závitů vinutých poměrně dívoce přes sebe. (V radioamatérské praxi se takovým cívám skutečně říká „vinuté nadivoko“.) Cívka byla k laťce připevněna tak, že trn plastové stříkačky se zasunul do díry vyvrtané v laťce. Vahadlo bylo vyváženo maticí přivázanou zvonkovým drátem. Neodymový magnet o průměru 1 cm a délce 2 cm se vlastní magnetickou silou držel na ocelovém plíšku přišroubovaném k základní destičce vah. Závažíčko bylo prostě položeno na druhém rameni vah. Celou konstrukci ukazuje obr. 6.



Obr. 6. První konstrukce demonstrační pomůcky.

Při vyvažování závažíčka byla cívka napájena laboratorním zdrojem, proud byl měřen multimetrem. Pro závaží 20 g byly váhy vyváženy při proudu 180 mA. Síla $F = mg$ byla tedy asi 0,196 N, poměr $F/I \doteq 1,09$.

Pohyb cívky v druhé části pokusu byl u této konstrukce realizován otáčející se „vačkou“ ze zahnutého drátu, otáčela se rukou pomocí klíčky, viz obr. 7.

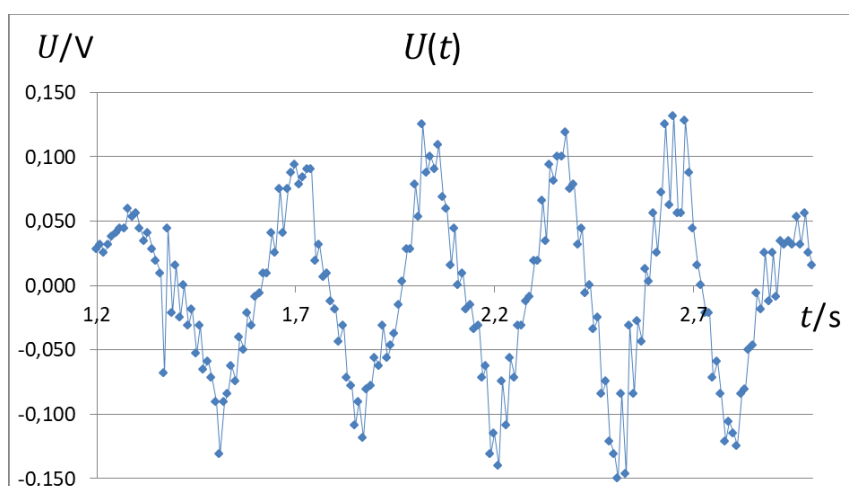


Obr. 7. „Vačka“ z drátu při otáčení kmitá vahadlem nahoru a dolů.

Napětí indukované v cívce bylo snímáno LabQuestem2 se senzorem na 6 V, hodnoty pak byly vyexportovány do Excelu. Z průběhu napětí šlo určit periodu kmitů T a amplitudu napětí U . Za předpokladu, že průběh kmitů je harmonický (tedy „sinusový“) lze pak z amplitudy A kmitů cívky a úhlové frekvence $\omega = 2\pi/T$ určit maximální rychlost cívky jako $v = A \omega$. Amplituda kmitů je přitom dána „excentricností vačky; v našem případě byla asi 0,5 cm.

Perioda kmitů byla v konkrétním případě ze záznamu napětí určena na asi 0,32 s, po dosažení vycházela maximální rychlost asi 0,1 m/s.

Záznam napětí v závislosti na čase ukazuje, že průběh napětí bohužel není příliš harmonický, viz obr. 8.



Obr. 8. Průběh záznamu napětí v první verzi pomůcky.

Zjevně tedy nelze očekávat od této verze pomůcky příliš. Nicméně když odhadneme maximální hodnoty napětí asi na 0,14 V, vychází poměr $U/v \approx 1,4$.

Ze vztahu (3) vychází, že teoreticky by mělo být $\frac{F}{I} = \frac{U}{v}$. V našem případě jsou poměry 1,09 a 1,4, liší se tedy asi o 30 %. Fakticky tedy už tato jednoduchá verze pomůcky splňuje výše vytyčené ambice. Ovšem zejména záznam průběhu napětí na obr. 8 ukazuje, že by bylo záhodno konstrukci vylepšit.

Problematická místa první verze naší pomůcky jsou po chvíli úvah celkem zřejmá:

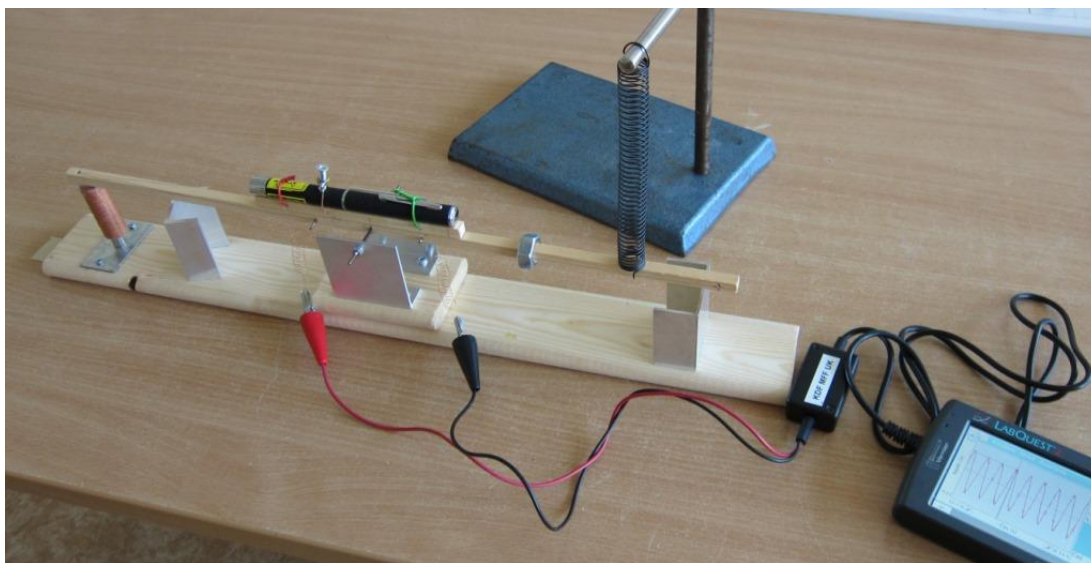
- V cívce vinuté „nadivoko“ indukované napětí závisí, kromě rychlosti pohybu, výrazně i na poloze magnetu vůči cívce. (Napětí tedy nemusí být maximální, když je rychlost maximální.)
- Při ručním otáčení klikou není rychlost otáčení rovnoměrná, kmity vahadla proto zřejmě nejsou harmonické. (K „zubatému“ průběhu napětí na obr. 8 navíc asi může přispívat nerovný povrch latky v místech, kde po ní klouže „vačka“.)
- Dosti nepřesné je zřejmě určení amplitudy kmitů. Při amplitudě 0,5 cm (měřené navíc běžným pravítkem, maličko „od oka“) znamená odchylka o 1 mm relativní chybu 20 %.

Uvedené zdroje nepřesností se pokusila zmírnit druhá verze modelu Kibblovy vah.

Druhá verze vah

V druhé (a zatím poslední) verzi modelu Kibblových vah je:

- Lepší cívka. Opět je vinuta na kusu plastové stříkačky, ale tentokrát pečlivě, závit vedle závitu (smaltovaným drátem o průměru 0,224 mm), ve dvou vrstvách, celkem 330 závitů. Délka cívky je 5 cm. V rovnovážné poloze je pól magnetu uprostřed cívky. (Magnet je neodymový, průměru 1 cm, délky 4 cm, složený ze dvou magnetů délky 2 cm.)
- Ve fázi pokusu, kdy se cívka pohybuje, vahadlo kmitá díky pružině. (Byla použita pružina délky 15 cm, průměru 1,5 cm, z nějaké starší školní sady. Tuhost použité pružiny byla asi 50 N/m, na přesné hodnotě nezáleží.)
- Amplituda kmitů byla určována pomocí laseru připevněného na rameno vahadla, viz obr. 9. Laserová stopa dopadala na stupnici, při konkrétním měření byla stupnice vzdálena 280 cm. Maximální výchylku stopy bylo možno určit již při pozorování pouhým okem (na to se hodí mít pomocníky); při konkrétním měření (na které byl autor sám) byl pohyb stopy natáčen fotoaparátem s rychloběžným videem (210 snímků/s), amplituda byla poté odečtena v programu Tracker.
- Navíc měřené závaží nebylo na vahadlo jen pokládáno, ale bylo zavěšeno na niti. Tím se zpřesnilo určení vzdálenosti závaží od osy otáčení.



Obr. 9. Provedení druhé verze modelu Kibblových vah – fáze měření s pohybem cívky.

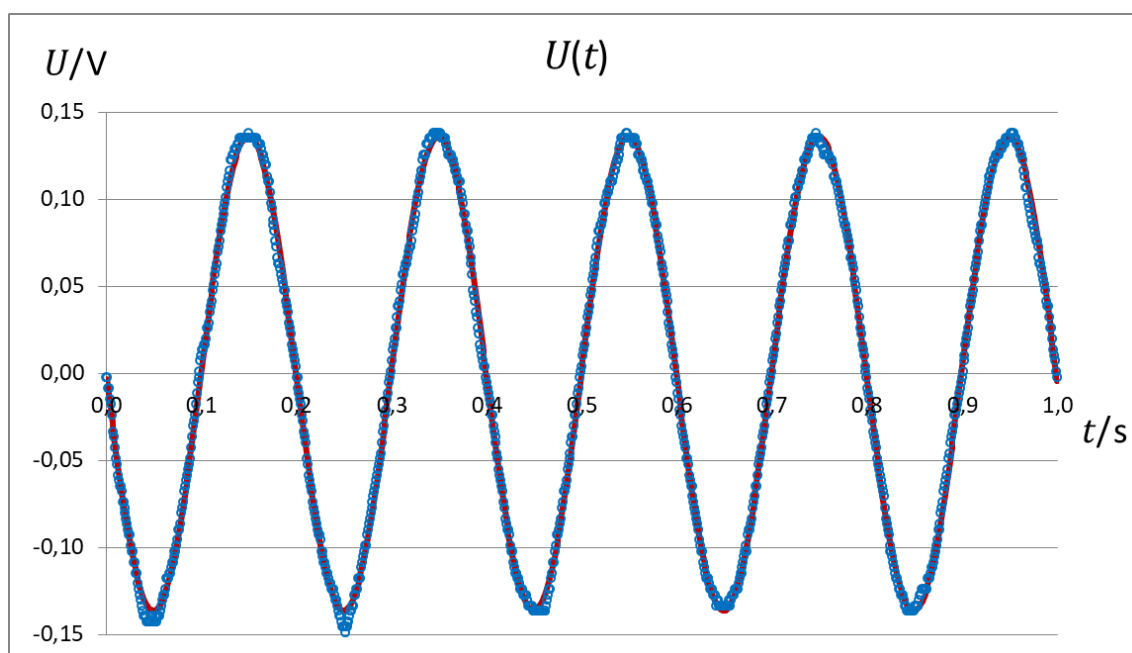
Měření na druhé verzi vah

Při měření síly bylo závažíčko 10 g vyváženo při proudu 163 mA. Rozvážení bylo jasně patrné již při změně proudu o 1 až 2 mA. Poměr síly a proudu vychází $F/I \doteq 0,602 \text{ N/A}$.

Při měření napětí indukovaného na pohybující se cívce byla perioda kmitů asi 0,20 s. (Určení kmitočtu z frekvenčního spektra kmitů dalo $f \doteq 5,005 \text{ Hz}$. Že to vyšlo zrovna takhle, je samozřejmě náhoda, frekvence závisí na tom, v jaké vzdálenosti od osy pružinu

k vahadlu připevníme.) Kmity mají poměrně malé tlumení: za 20 s jejich amplituda klesla asi na jednu polovinu. Jak ukazuje obr. 10, kmitání již lze „s rozumnou přesností“ brát jako harmonické, alespoň při subjektivním posouzení grafu.

Poznámka: V grafu jsou modře zobrazeny naměřené hodnoty, červená křivka za nimi je proložená harmonická závislost, přesněji řečeno sinusovka s exponenciálně klesající amplitudou. Parametry proložené křivky lze nastavovat zkusmo „ručně“, nebo v Excelu využít Řešitele. Tak můžeme zjistit přesnější hodnotu amplitudy, pro přibližné určení ji samozřejmě můžeme odečíst přímo z grafu.



Obr. 10. Napětí indukované na pohybující se cívce.

Při konkrétním měření byla amplituda kmitů cívky 7,0 mm, z toho vyplývá maximální rychlost asi 0,22 m/s. Amplituda napětí zjištěná pomocí Řešitele vycházela 0,136 V; z grafu bychom ji patrně odečetli jako 0,14 V. Poměr napětí a rychlosti odtud vychází $U/v \doteq 0,618 \text{ V}/(\text{m/s})$.

Porovnáním vidíme, že U/v a F/I se liší jen asi o 2,7 %. (Kdybychom použili méně přesnou hodnotu amplitudy napětí odečtenou přímo z grafu, byla by odchylka necelých 6 %.)

Hodnoty U/v můžeme počítat i z dalších oblastí grafu $U(t)$. V konkrétním měření se například hodnoty U/v zjištěné v čase okolo 5 s lišily od F/I asi o 3,9 %, pro hodnoty zjištěné v čase okolo 12 s byla odchylka asi 1,7 %.

Z daných měření můžeme předběžně uzavřít, že s naším modelem Kibblových vah **dosahujeme přesnosti asi 2 až 4 %**, obecně tedy jednotky procent. Na skutečné přesné vážení to samozřejmě nestačí, ale při demonstraci principu realizace kilogramu pomocí Kibblových vah se daná konstrukce může uplatnit.

Možná další vylepšení?

Přesnost našeho modelu Kibblových vah by snad bylo možno ještě trochu zvýšit. (Ostatně skutečnost, že v dosavadních měřeních vycházel poměr U/v ku F/I vždy o něco větší než 1, ukazuje na to, že se zde vyskytuje nějaká zatím neznámá systematická chyba.)

Jedním zdrojem nepřesností může být měření senzorem Diferenciální voltmetr (DVP-BTA) připojeným k Labquestu. Napětí s amplitudou 0,1 až 0,15 V, která se na cívce indukují, jsou pro tento senzor dost malá. (V návodu se uvádí, že daný senzor má citlivost asi 3 mV a šum až 18 mV.) Pokud nechceme vinout cívku s mnohem větším počtem závitů, nabízí se možnost postavit zesilovač napětí se zesílením dejme tomu 10 (šlo by až 40, protože daný senzor má rozsah do 6 V), s použitím operačního zesilovače půjde o poměrně jednoduchou konstrukci.

Při zpřesňování měření by bylo vhodné zkontrolovat i to, jak přesně měří multimetr měřící proud. (Návod k použitému typu multimetru uvádí přesnost měření proudu $\pm 1,2\%$.)

Pozornost také určitě bude třeba věnovat měření amplitudy výchylky, pro zpřesňování toto může být kritické. Při dalším zpřesňování by zřejmě již bylo nutno nemít cívku pevně spojenou s ramenem, ale zavěsit ji na nějaký břitový závěs... ale tím už by se konstrukce začala komplikovat.

Závěr: K čemu to je a může být dobré

Na otázku „k čemu je to dobré“ lze dát více odpovědí.

Jednak nám popsaná pomůcka snad může přiblížit, jak se dnes „váží kilogram“ a Kibblovy váhy pro nás už pak nebudou něčím zcela podivným a záhadným.

Za druhé může jít o námět na projekty pro žáky a studenty. Takový projekt lze realizovat jak v jednoduché variantě, kdy by nám opravdu stačila přesnost řádu třicet i více procent, tak v náročnějších verzích až po velmi sofistikované konstrukce, výrazně převyšující model vah popsaný v tomto příspěvku.

A konečně se při výrobě dané pomůcky a jejím zdokonalování a měření s ní lze spoustu věcí přiučit. Z vlastní zkušenosti mohu uvést třeba:

- Využití digitální techniky při sběru dat z měření.
- Využití počítačových programů a aplikací při zpracování výsledků měření (třeba použití Řešitele v Excelu).
- Trénování trpělivosti při vinutí cívek. (☺)
- Trénink kreativity při vymýšlení, jak zlepšit přesnost.
- A konečně i trénink a rozvíjení pokory, když po zásazích s cílem vylepšit měření člověk zjistí, že se výsledná přesnost zhoršila...

Těm z vás, pro něž je tento příspěvek inspirací postavit si, ať už sami nebo se svými žáky, podobný model umožňující vážit pomocí ampérmetru a voltmetru, přeji, ať si to maximálně užijete.

Literatura

- [1] Česká metrologická společnost, z.s.: *Nové definice základních jednotek SI*. Dostupné online: <https://spolky.csvts.cz/cms/content/nove-definice-zakladnich-jednotek-mezinarodni-soustavy-si>
- [2] Wikipedia: *Nové definice SI*. Dostupné online: https://cs.wikipedia.org/wiki/Nov%C3%A9_definice_SI
- [3] Wikipedia: *2019 redefinition of the SI base units*. Dostupné online: https://en.wikipedia.org/wiki/2019_redefinition_of_the_SI_base_units
- [4] Rotter M.: *Redefinice fyzikálních jednotek SI*. (Příspěvek v tomto sborníku.)
- [5] Schlamminger S, Darine H.: *The Kibble balance and the kilogram*. Comptes Rendus Physique 20, No. 1-2, (Jan-Feb 2019), p. 55-63. Dostupné online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631070518301336?via%3Dihub>
- [6] Chao L. S. et. al.: A LEGO Watt balance: An apparatus to determine a mass based on the new SI. Amer. J. Phys. 83 (2015), p. 913-922
- [7] Wikipedia: *Kibble balance*. Dostupné online: https://en.wikipedia.org/wiki/Kibble_balance

Z cizích luhů a hájů

Irena Dvořáková

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

V příspěvku budou představeny experimenty a fyzikální zajímavosti, které jsme buď získali od kolegů z ciziny, nebo jsme si je přivezli z cest po světě.

Úvod

Na cestách po naší republice i po světě může být zajímavé si všimat nejen architektonických památek a přírodních krás, ale i fyzikálních zajímavostí. Jste-li učitel fyziky, tak z fotografií těchto zajímavostí mohou vzniknout netradiční úlohy do hodin, ale třeba i do písemek. V první části příspěvku jsou uvedeny příklady úloh, které takto vznikly. Ve druhé části pak uvádím experimenty, které jsme získali od kolegů z Irska, Velké Británie a ze Slovenska.

Úlohy do sbírky

1. Zrcadlení

Zadání: *Popiš a vysvětli jev, který vidíš na fotografiích:*



Obr. 1, 2. Zrcadlení na silnici (foto z USA).

Komentáře a řešení: Zrcadlení samozřejmě není ničím neobvyklým ani na českých silnicích, kvůli němu není třeba jezdit do Spojených států. Při řešení úlohy by žáci měli popsat, že na povrchu silnice se utváří tenká vrstva rozpáleného vzduchu, který je opticky řidší než vzduch nad ním. Světlo se tedy na rozhraní opticky hustšího a řidšího prostředí láme a dochází k úplnému (totálnímu) odrazu. Proto se nám zdá, že je na silnici louže vody, ve které se světlo odráží.

2. Optický sloup

Zadání: Jak je možné, že světlo udělá takový sloup, jaký vidíš na fotografii? Proč průvodci v tomto místě národního parku Antelope Canyon v USA vyhazují do vzduchu písek?



Obr. 3. Světelný sloup (foto z Antelope Canyonu, USA).

Komentáře a řešení: V národním parku Antelope Canyon jsou krásné chodby a jeskyně vymleté v pískovci. V jednom jediném místě v určitou hodinu dopadají paprsky Slunce přímo dovnitř. My jsme měli štěstí, že jsme tento jev viděli a mohli obdivovat krásný světelný sloup. Průvodci vyhazují do vzduchu písek, aby se světlo více rozptýlovalo a sloup byl lépe vidět. S žáky lze diskutovat, zda si všimli podobného jevu někde jinde. Dobře bývají paprsky slunce pozorovatelné například u oken kostelů, kde se šikmo dopadající světlo rozptyluje na prachových zrnkách.

3. Zrcadlový objekt

Zadání: Vysvětli, jaký optický jev pozoruješ na fotografii. Jaký obraz vzniká? (3 přídavná jména)



Obr. 4. Zrcadlová „bublina“ (foto z Chicaga, USA).

Komentáře a řešení: V centru Chicaga je tento skleněný objekt, který zobrazuje okolní předměty jako deformované vypuklé zrcadlo. Obraz je tedy vzpřímený, zmenšený a zdánlivý. Opět je možné diskutovat se žáky, zda znají podobná zrcadla ze svého okolí, neboť kromě zrcadlových labyrintů se občas objevují podobné objekty jako reklamní předměty.

4. Slapové jevy

Zadání: *Obě fotografie byly udělány ze stejného místa. Popiš a vysvětli rozdíl mezi nimi. Odhadni, jaký nejkratší čas musel přibližně uběhnout mezi pořízením fotografií.*



Obr. 5, 6. Odliv a příliv (foto ze San Sebastienu, Španělsko).

Komentáře a řešení: V místech, kde je výrazný rozdíl mezi přílivem a odlivem, lze udělat podobné efektní fotografie. Důležité je, abyste je pořizovali pokud možno ze stejného místa s výrazným pozadím, aby žáci viděli rozdíl výšek hladin. Při řešení úlohy si žáci musí uvědomit, že se příliv a odliv opakuje dvakrát během dne, tedy doba mezi pořízením fotografií je nejméně zhruba šest hodin.

5. Zpětné zrcátko

Zadání: Na zadní stěně dodávky jsme viděli tuto ceduli. Vysvětli, co cedule říká, a proč si ji řidič na zadní stěnu dal.



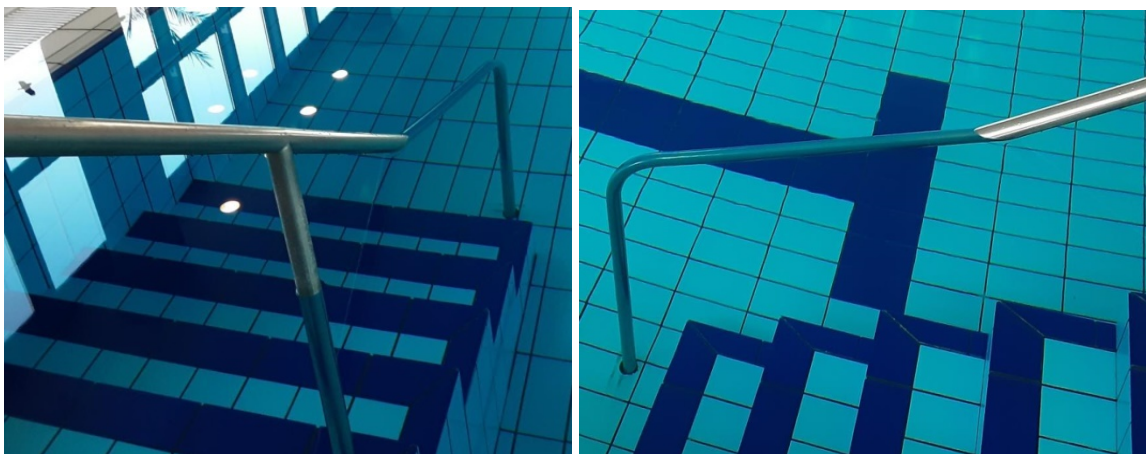
Obr. 7. Nápis na zadní stěně dodávky.

(překlad: „Nevidíš moje zrcátka? Pak ani já nemohu vidět tebe.“, foto z Dublinu, Irsko)

Komentáře a řešení: Při řešení této úlohy si žáci musí uvědomit a popsat vlastnosti rovinného zrcadla. Podobná úloha je například: *Když si vezmeš malé zrcátko a nastavíš ho tak, abys v něm viděl tvář spolužáka, může on ve stejném zrcátku vidět tebe? Můžeš zrcátko nastavit tak, aby tvoji tvář vidět nemohl? Zdůvodni pomocí obrázku.* Na rozdíl od situace na fotografii je možné žákům zrcátka dát a nechat je řešení vyzkoumat pomocí experimentu.

6. Lom světla

Zadání: U schůdků do bazénu jsem vyfotila podivné zábradlí. Popiš, co je na obrázku podivné a vysvětli pozorovaný jev.



Obr. 8a, 8b. Zábradlí u bazénu (foto z lázní Bükfürdő, Maďarsko).

Komentáře a řešení: U těchto fotografií bylo nejnáročnější vystihnout chvíli, kdy v bazénu nikdo není a hladina je klidná. „Zlomené“ zábradlí v místě hladiny vody je tak dobře vidět. Při úplném řešení úlohy by žáci měli popsat lom světla od kolmice na rozhraní voda-vzduch (zdrojem světla je pro nás ponořená část zábradlí). Paprsky dopadají do oka, to si je prodlouží a vytvoří zdánlivý obraz zábradlí v menší hloubce, než zábradlí skutečně je. Zdá se tedy, že je zábradlí zlomené směrem k hladině. Jedná se o stejný problém jako ve známé úloze, kde je ve skutečnosti ryba, kterou vidíme ve vodě při pohledu ze břehu.

6. Archimédův zákon

Zadání: *Prohlédni si obě fotografie, které vznikly v rozmezí několika sekund, a popiš rozdíl mezi nimi. Jak tento rozdíl nejspíše vznikl? Jak by se situace lišila, kdyby žena neplavala v bazénu termálních lázní se slanou vodou, ale v normálním bazénu?*



Obr. 9a, 9b. Archimédův zákon v bazénu (foto z lázní Bükfürdő, Maďarsko).

Komentáře a řešení: Mé tělesné proporce mi dovolují „spát“ v bazénu. Tedy vznášet se ve vodě bez pohybu, aniž bych se topila. Díky tomu mohla vzniknout tato dvojice fotografií – s nádechem a bez něj. V termálním bazénu se slanou vodou je to ještě jednodušší díky větší hustotě vody (tu jsme ale neměřili).

7. Rozcestník

Zadání: *V některých oblastech se na rozcestnících neuvádí vzdálenost v kilometrech, ale v hodinách. V jakých oblastech a proč se to dělá?*



Obr. 10. Rozcestník v horách (foto ze Slovenska).

Komentáře a řešení: Tato jednoduchá úloha vede žáky k přemýšlení o tom, že v horách je vhodnější měřit „vzdálenosti“ v hodinách místo v kilometrech. Při plánování výletu je výrazný rozdíl, zda půjdeme jeden kilometr po rovině nebo jeden kilometr s převýšením třeba 300 metrů.

Experimenty

1. Určení hustoty tužky

Tato laboratorní práce má velmi jednoduché zadání, snadno dostupné pomůcky, přesto však je pro žáky (a často i pro učitele) překvapivě náročná. Lze ji zkrátit tím, že žákům zadáme pouze první úkol. Doporučuji laboratorní práci zadávat žákům 8. či 9. ročníku, nikoliv žákům 7. třídy, kde se obvykle Archimedův zákon probírá. Úlohu jsem převzala od Petera Horvátha z FMFI Bratislava. Podrobnější popis aktivity je uveden ve Sborníku z dílen Heuréky 2009-2010 [1].

Úkol: *Urči (průměrnou) hustotu tužky pouze s uvedenými pomůckami. Výsledek ověř výpočtem pomocí vzorce.*

Pomůcky pro 1. úkol: zkumavka (dostatečně velká, aby v ní tužka plovla, a přitom část tužky přesahovala vršek zkumavky), voda, neořezaná tužka, měřítko délky (například papírový metr; je potřeba, aby žáci nemohli s rozumnou přesností měřit průměr zkumavky či tužky).

Pomůcky pro 2. úkol: digitální váhy, posuvné měřítko.

Tato laborka je poměrně náročná. Děti si musí uvědomit, že mohou využít toho, že tužka ve vodě plove, takže platí rovnováha mezi vztakovou a tíhovou silou působící na tužku. Ve zkumavce musí tužka plovat ve svislé poloze, takže je možné vyjádřit obě síly pomocí příslušného objemu tužky (označení veličin V_t – objem celé tužky, V_{pon} – objem ponořené části tužky, ρ_t – hustota tužky, ρ_k – hustota vody):

$$F_g = V_t \cdot \rho_t \cdot g$$

$$F_{vzt} = V_{pon} \cdot \rho_k \cdot g$$

Tužka má stejný průřez, takže lze za objem dosadit součin průřezu a výšky, a získáme vztah, kdy poměr délky ponořené části tužky k celé tužce je roven poměru hustoty tužky a hustoty vody.

Ve druhé části laborky žáci měří rozměry tužky, vypočítají její objem, zváží a spočtou hustotu.

Nezbytnou součástí této laboratorní práce by podle mého názoru měla být reflexe, kdy žáci uvažují o tom, co vlastně během laborky dělali, co se naučili, jaký byl cíl jejich práce. Učitel by měl žáky pomocí vhodných otázek dovést k tomu, že hlavním cílem nebylo určení hustoty tužky, to asi v praxi nikdy takto dělat nebudou. Žáci by si měli uvědomit, že během laborky se hlavně učili pracovat „s písmenky“, upravovat algebraické výrazy. Je vhodné žákům promítnout řešení nějaké podobné úlohy např. ze Sbírky řešených úloh [2] a ukázat, že fyzika pracuje hlavně s písmeny, číselně se dosazuje až do konečného vzorce. Žákům obvykle dělá problém úprava algebraických výrazů, a tato laborka se bez nich neobejde. Není možné dosadit číselné hodnoty na začátku práce, prostě proto, že je není možné získat.

Úlohu je možné pro pokročilejší žáky nebo studenty ztížit tak, že dostanou k dispozici ořezanou tužku a musí diskutovat, zda (a jak) výsledek závisí na tom, že tužka nemá pravidelný tvar.

2. Experimentální odvození a aplikace Archimédova zákona (Jon Ogborn, UK)

Následující experiment, pocházející od kolegy z Anglie, jsem zařadila jako důležitou část výuky Archimédova zákona v metodice projektu Heuréka. Zde uvádím část této metodiky, nejen samotný experiment.

Děti se rozdělí do skupin, každá skupina má k dispozici průhledné plastové kalíšky 0,3 litru a 0,5 litru (lze použít i jinou vhodnou nádobu). Ve větším kalíšku je voda. Jedno dítě vloží malý kalíšek do vody a silou ho do vody zastrčí. Vnímají tak vztlakovou sílu, která působí přes kalíšek na ruku. Vedte děti k tomu, aby si všimly a popsaly, že síla, kterou musí vynaložit, aby kalíšek ve vodě udržely, závisí na tom, jak moc je kalíšek ponořený. Tedy vztlaková síla závisí ne na objemu celého tělesa, ale jeho ponořené části.

Zeptejte se dětí, jak by se dalo udělat, aby byl kalíšek ponořený stejně, jako je nyní, ale nikdo by ho nedržel. Děti by měly přijít na to, že by do kalíšku daly nějaké závaží, písek, apod. Nechte je to udělat.

Potom navrhněte, aby jako závaží použili vodu (ještě lépe obarvenou vodu, např. čaj). Jedno dítě zastrčí do vody prázdný kalíšek, drží ho v klidu, druhé dítě lije opatrně obarvenou vodu do ponořeného kalíšku tak dlouho, dokud se síly na kalíšek nevyrovnají. Děti popíší, kolik vody do kalíšku musely nalít. Možná s překvapením zjistí, že hladina v nádobě i v kalíšku bude stejně vysoko.

Pak nechte děti vlastními slovy formulovat závěr: Vztlaková síla se přesně rovná tíze kapaliny v kalíšku, neboť hladiny jsou vyrovnané (tíha kalíšku je zanedbatelná). Děti tedy z tohoto experimentu odvodí Archimédův zákon.



Obr. 11. Kalíšky s kapalinami.

V další části výuky můžete dětem zadat navazující problémové úlohy:

Připravte si barevně označené větší kalíšky naplněné obyčejnou vodou, slanou vodou a lihem, a stejně označené menší kalíšky se stejnými tekutinami.

Už víme, že v předchozím pokusu (voda – voda) byly hladiny vyrovnané. Nechte děti vymýšlet, jak se situace změní, když ponoříme například do velkého kalíšku s vodou malý kalíšek se slanou vodou (můžete použít libovolné další kombinace kalíšků).

Dle mých zkušeností tyto experimenty pomáhají dětem lépe porozumět Archimédovu zákonu, který bývá pro děti velmi obtížný.

3. Archimédův zákon ještě jednou (David Keenahan, Irsko)

Zadání úlohy: Lodička je uprostřed v prázdném bazénku, který je položený na hraně nějaké podložky. Síly jsou vyrovnané, lodička je v klidu (viz obr. 12a). Pokud lodičku přesuneme ke kraji bazénku, rovnováha se poruší, bazének přepadne přes hranu. (viz Obr. 12b).



Obr. 12a, 12b. Lodička v prázdném bazénku.

Poté do bazénku nalijeme vodu a experiment zopakujeme (Obr. 13a, 13b).



Obr. 13a, 13b. Lodička v bazénku s vodou.

Jak situace v Obr. 13b dopadne – překlápí se bazének, nebo zůstane v rovnováze?

Realizace experimentu (vyříznutá PET lahev jako bazének, lodička z polystyrénu se závažím):

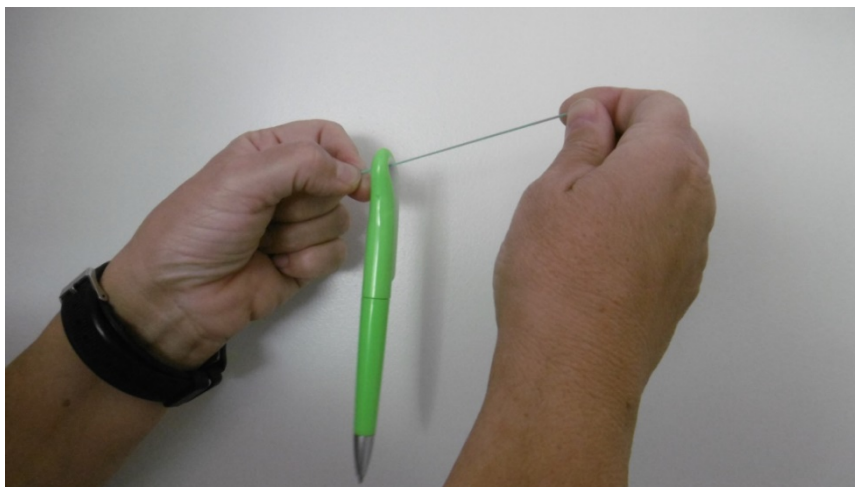


Obr. 14. Lodička v bazénku.

I z fotografie experimentu je vidět, že se lahev po posunutí lodičky nepřeklopila, zůstala v klidu. Vzhledem k tomu, že se posunutím lodičky ve vodě nemění poloha těžiště soustavy, není důvod, aby se láhev překlápěla.

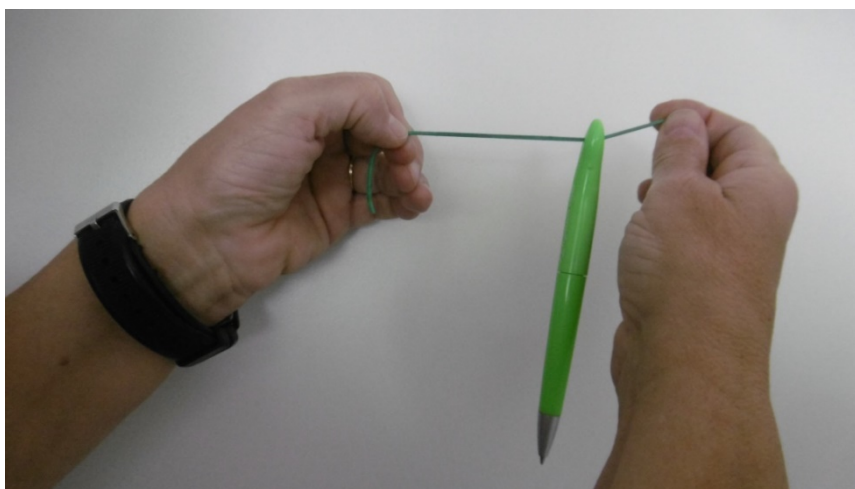
4. Kouzlo s gumičkou (Paul Nugent, Irsko)

Velmi překvapivý experiment nám ukázal kolega z Irska. Vzal do rukou gumičku, na které byla pověšená tužka, gumička byla mírně šikmo nahoru:



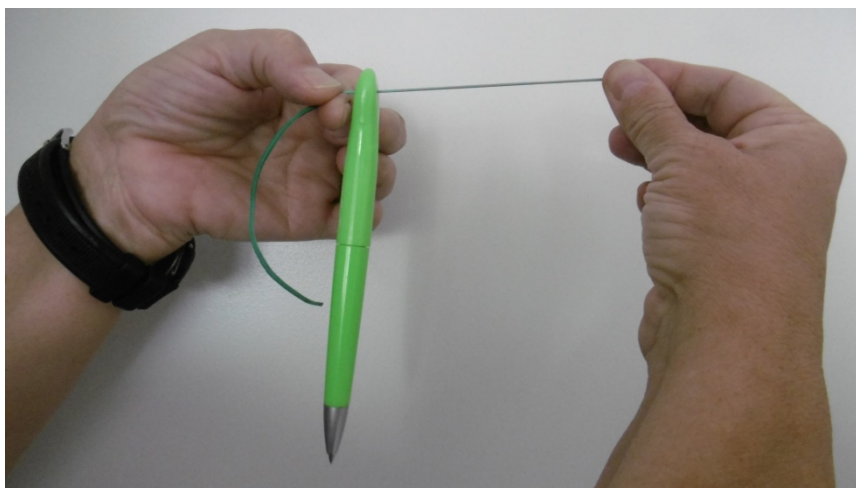
Obr. 15. Začátek kouzla s gumičkou.

Pak jsme s údivem pozorovali, jak se tužka pomalu sune směrem nahoru, přestože se ruce nehýbou, až do situace na Obr. 16.



Obr. 16. Závěr kouzla s gumičkou.

Při hledání vysvětlení z publika přicházejí různé nápady – že experimentátor gumičkou kmitá, takže tužka „poskakuje“ nahoru, že gumičkou otáčí a pomocí valivého tření se tužka posouvá atd. Nic z toho není správně. Vysvětlení nabízí fotografie na Obr. 17.



Obr. 17. Vysvětlení kouzla s gumičkou.

Na začátku experimentu „kouzelník“ gumičku natáhne a její zbytek schová do dlaně. Pomalým uvolňováním tohoto kousku se viditelná část gumičky smršťuje, a přitom se tužka posouvá vzhledem k dlaním (vzhledem ke gumičce zůstává tužka v klidu). Při pozornějším pohledu je vidět, jak se v průběhu experimentu změnila tloušťka gumičky.

Kouzlo je třeba předem nacvičit, aby ruce skutečně zůstávaly v klidu a nevzdalovaly se od sebe.

5. Kouzlo s lahví a tužkami (Paul Nugent, Irsko)

Od stejného autora jako kouzlo s gumičkou pochází i následující kouzlo. Asi všichni učitelé znají experiment, kdy se sklenička naplněná vodou překryje papírem a otočí dnem vzhůru. Díky rozdílu tlaků a povrchovému napětí papír vodu ve sklenici udrží. Pokud je sklenička upravena tak, že je na její okraj nalepeno sítko či část punčochy, aby při zběžném pohledu úprava nebyla vidět, lze experiment zopakovat – nalít do skleničky vodu, přiložit papír, otočit dnem vzhůru – voda v ní drží. Potom však předvádějící sundá papír, a děti s překvapením pozorují, že voda ve skleničce stále drží. Není však možné do skleničky něco vložit.

Paul Nugent nám předvedl ještě lepší variantu. Vzal PET lahev plnou vody, odšrouboval víčko, otočil ji vzhůru dnem a pak začal do lahve vsouvat malé tužky a párátka (viz Obr. 18a). Náš údiv byl skutečně velký.

Řešení problému je však jednoduché. Lahev je uzavřena kolečkem, ve kterém je otvor o průměru 8 mm. Díky povrchovému napětí voda z lahve nevytéká, otvor je však dost velký, aby jím prošla tužka (viz Obr. 18b). Kolečko mi vytiskl kolega na 3D tiskárně¹.

¹ Pokud byste měli zájem o zaslání programu na tisk kolečka, napište mi na mail irena.dvorakova@mff.cuni.cz

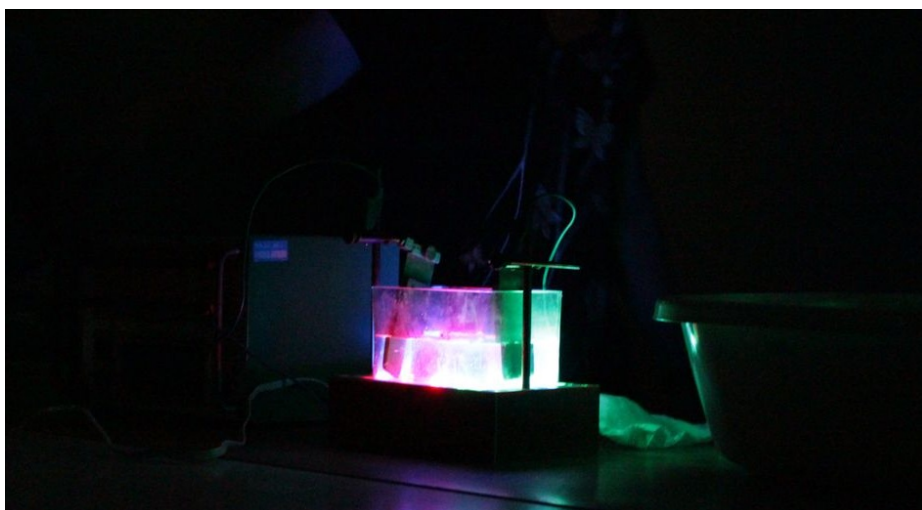


Obr. 18a, 18b. Vkládání další tužky do lahve s vodou; detail víčka.

6. Kouzlo s LEDkami (Matúš Lazúr, Bratislava)

Následující experiment možná znáte ve variantě, kdy LEDky položené na kouscích polystyrénu plovou na hladině osolené vody, kterou prochází proud, a při správné polaritě se LEDky rozsvítí. Žáci pak mohou zkoumat, za jakých podmínek LEDky svítí.

Ve variantě předvedené na konferenci jsme hrst LEDEK vhodili do akvária a ty se rozzářily (viz Obr. 19).



Obr. 19. Svítící LEDky ve vodě.

Použili jsme malé akvárium (stačí cca 15 cm dlouhé), libovolné elektrody (přinejhorším lze použít i dva kusy alobalu), zdroj stejnosměrného napětí cca 30 V, přívodní vodiče, různobarevné (nejlépe velké) LED s od sebe roztaženými kontakty a osolenou vodu.

Tuto variantu doporučuji použít jako překvapivý motivační experiment před zkoumáním lodiček s LEDkami.

Závěr

Věřím, že nabídnuté úlohy a experimenty zpestří Vaši výuku a třeba Vás budou inspirovat k hledání fyzikálních zajímavostí na Vašich cestách po Česku i po světě.

Literatura

- [1] Horváth P.: *Experimenty inšpirované históriou*. In: Dílny Heuréky 2009-2010. Sborník konferencí projektu Heuréka. Ed.: L. Dvořák. Prometheus, Praha 2011. ISBN 978-80-7196-424-7. Dostupné online:
https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2009-2010.pdf
- [2] Sbírka řešených úloh. *Válec ponořený ve vodě*. Dostupné online:
<http://reseneulohy.cz/149/valec-ponoreny-ve-vode>

Paprsková optika na magnetické tabuli a v programu Algodoo

Zbyněk Fišer

Přírodovědecká fakulta MU, Brno

Abstrakt

Paprsková optika je základní částí středoškolské fyziky a disponuje poměrně širokou možností demonstračních experimentů. V tomto příspěvku se podíváme na to, jak jednoduše demonstrovat některé základní experimenty z paprskové optiky přímo na magnetické tabuli, což může být někdy velmi výhodné. Navíc doplníme předvedené experimenty simulacemi v programu Algodoo, který bude stručně představen, a následně budou demonstrovány jeho možnosti využití ve výuce optiky.

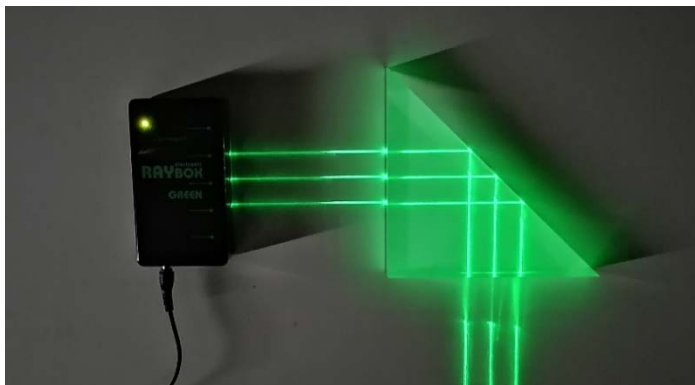
Paprsková optika na magnetické tabuli

Paprsková optika nabízí poměrně široké možnosti k demonstraci základních principů pomocí experimentů. Zpravidla se jedná o oblast fyziky, kde není o experimenty nouze. Zajímavou roli zde hrají experimenty na magnetické tabuli, které je možné provádět pomocí vhodných optických komponent a vícepaprskových zdrojů světla s možností přichycení na magnetickou tabuli. Toto provedení má hned několik výhod. Mezi ty hlavní patří to, že učitel může přímo do teoretického nákresu vložit reálné komponenty a ihned ověřit teorii experimentem. Navíc je možné přímo do experimentálního uspořádání přidávat poznámky a komentáře. Další výhodou je poměrně rychlá a snadná manipulace, která je oproti některým klasickým experimentům časově méně náročná.

V tomto příspěvku si ukážeme tři jednoduché experimenty, které je možné demonstrovat na magnetické tabuli a následně si ukážeme jejich demonstraci v programu Algodoo. K demonstraci experimentů jsme využili vícepaprskové zelené laserové zdroje (o vlnové délce 520 nm), které mají až 3× lepší viditelnost v porovnání s červenými (to umožňuje provádět experimenty i s menším zatemněním).

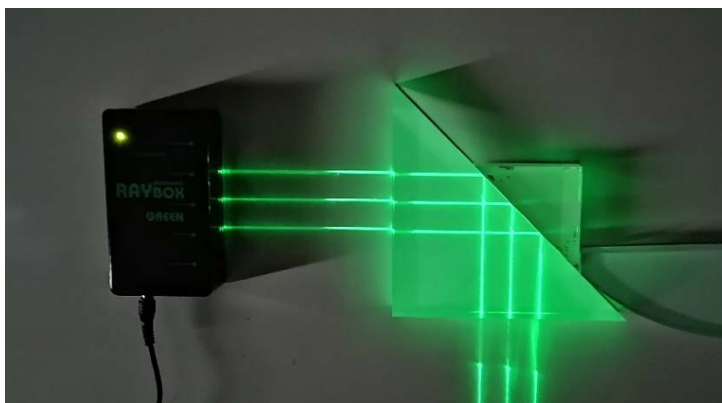
Totální odraz

První experiment se týká totálního odrazu, který patří k základním optickým jevům. K experimentu jsme využili rovnoramenný trojúhelník z průhledného plexiskla, který jsme umístili tak, aby jedna odvěsna byla rovnoběžná s dopadajícími paprsky a druhá na ně kolmá, jak je vidět na obr. 1. Při tomto uspořádání dojde na prvním rozhraní (vzduch-plexisklo) k průchodu paprsků do trojúhelníku (kolmý dopad). Na druhém rozhraní (plexisklo-vzduch) dojde již k totálnímu odrazu z důvodu šikmého dopadu paprsků na přeponu. Tyto paprsky se odrazí a pokračují dále ve směru kolmém vzhledem k původnímu. Na spodním rozhraní (plexisklo-vzduch) dojde k průchodu paprsků z důvodu kolmého dopadu.



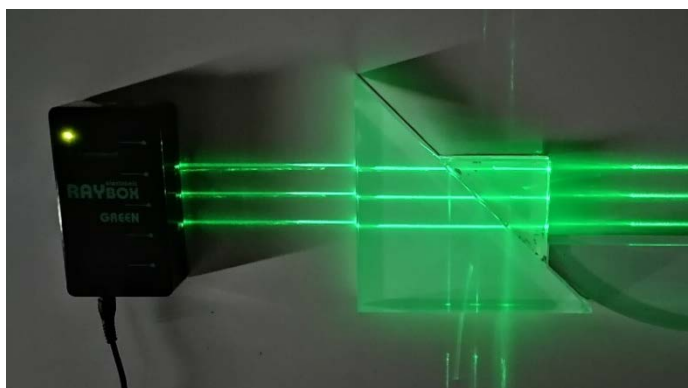
Obr. 1. Demonstrace totálního odrazu.

Pokud nyní umístíme k prvnímu trojúhelníku další rovnoramenný trojúhelník (z identického materiálu), tak by mělo dojít k průchodu paprsků oběma trojúhelníky. To se ale nestane, jak vidíme na obr. 2. (čočka na obrázku vpravo přidržuje druhý trojúhelník).



Obr. 2. Totální odraz na rozhraní dvou trojúhelníků.

Důvodem neprůchodnosti je tenká vrstva vzduchu mezi trojúhelníky. Pokud tuto vrstvu vzduchu nahradíme něčím, co má index lomu podobný plexisklu, tak již paprsky nedopadají pod mezním úhlem a mohou přecházet do dalšího prostředí. Zde postačí klasická voda, která má index lomu bližší indexu lomu plexiskla. Pokud potřeme stěny dotyku obou trojúhelníků vodou, tak dojde k průchodu paprsků, jak je vidět na obr. 3.



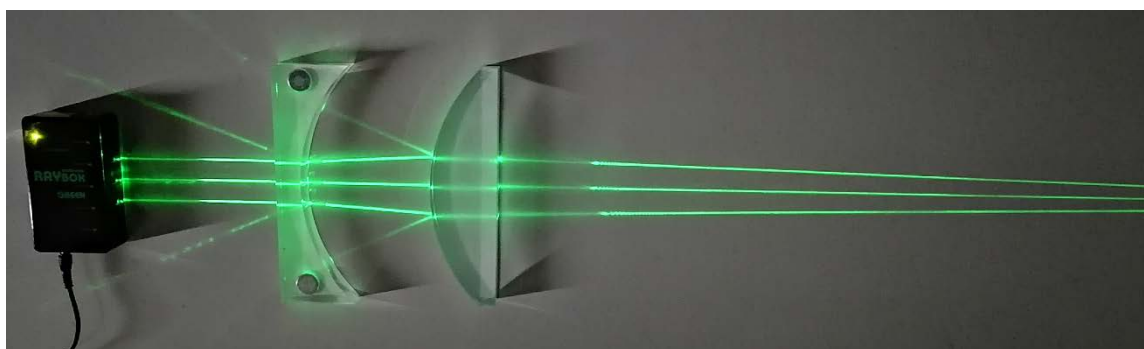
Obr. 3. Průchod paprsků oběma trojúhelníky po potření vodou.

Optická soustava

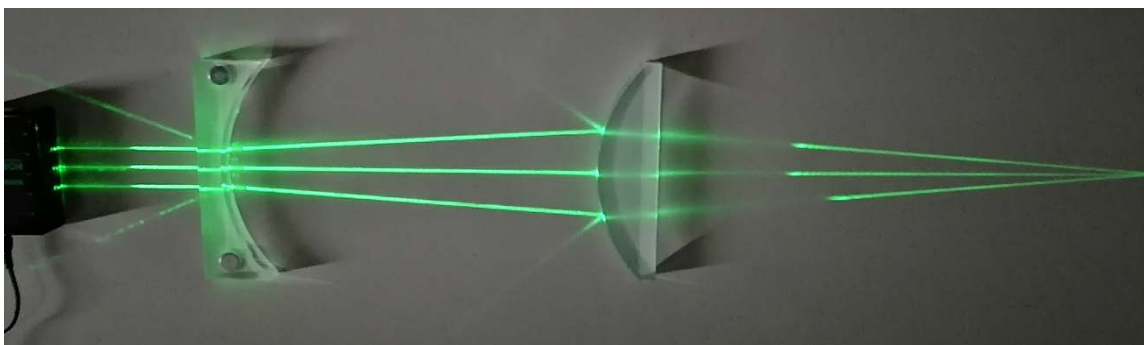
Druhý experiment se týká optické soustavy, což je soustava dvou (a více) čoček. Tato soustava se ve výsledku chová jako jedna čočka o ohniskové vzdálenosti f dané ohniskovými vzdálenostmi jednotlivých čoček f_1 a f_2 a jejich vzájemnou vzdáleností d podle vztahu (pro tenké čočky)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

Pomocí tohoto principu je možné pomocí dvou vhodných čoček dosáhnout libovolné ohniskové vzdálenosti (v daném intervalu) jenom pomocí změny vzájemné vzdálenosti mezi čočkami. Toto je vidět na obr. 4. a obr. 5, kde je umístěna spojka a rozptylka (z průhledného plexiskla) v různých vzájemných vzdálenostech. Tohoto principu se využívá například u zoomu fotoaparátu.



Obr. 4. Soustava rozptylky a spojky (1).



Obr. 5. Soustava rozptylky a spojky (2).

Závislost ohniskové vzdálenosti na indexu lomu

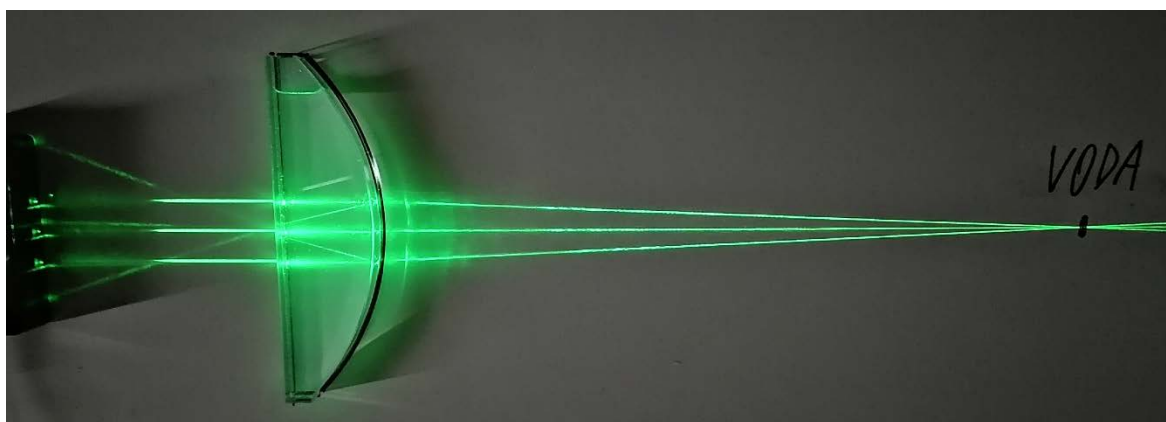
Poslední experiment je zaměřený na určení ohniskové vzdálenosti čočky f . Na magnetickou tabuli se dají pořídit i duté optické komponenty, které je možné naplnit různými kapalinami o rozdílných indexech lomu. To umožňuje demonstrovat závislost ohniskové vzdálenosti právě na indexu lomu. Obecně je ohnisková vzdálenost čočky dána poloměry křivosti r_1 a r_2 , tloušťkou čočky d a indexem lomu čočky n

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{d(n - 1)^2}{nr_1 r_2}$$

Jedná se již o poměrně komplikovaný vztah, který se nyní pokusíme zjednodušit. V našem případě uděláme poměrně silnou aproximaci tenké čočky (tedy $d \rightarrow 0$). Nicméně uvidíme, že i s touto silnou aproximací, lze získat dobré výsledky. Dále vidíme na obr. 6., že čočka je ploskovypuklá, tedy $r_2 \rightarrow \infty$. Ve výsledku tedy dojde k velkému zjednodušení předchozího vztahu a již přímo vyjádříme f pomocí r_1 a n

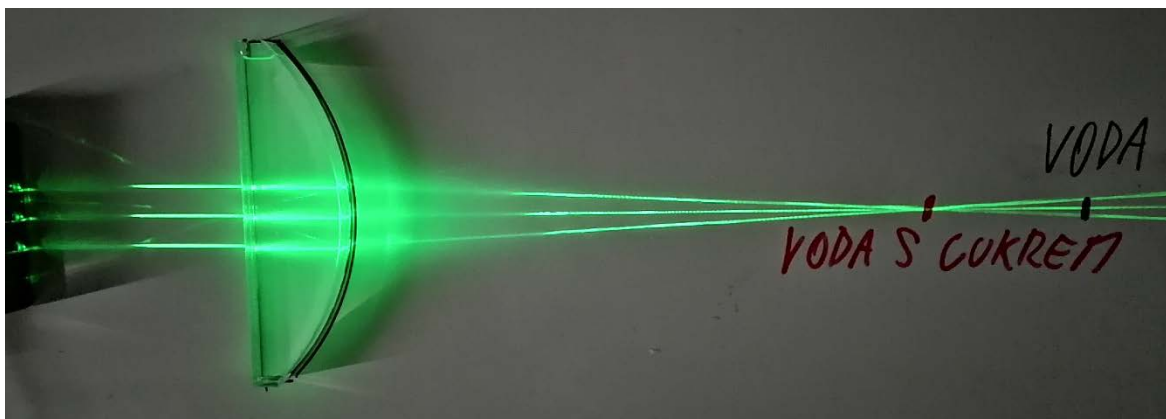
$$\frac{1}{f} = (n - 1) \frac{1}{r_1} \rightarrow f = \frac{r_1}{n - 1}$$

Tento jednodušší vztah je již použitelný na střední škole. Jelikož index lomu kapaliny je známý nebo je možné jej určit například pomocí zákona lomu. Jediným problémem by ještě mohlo být určení poloměru křivosti r_1 . Nicméně ten se dá určit poměrně jednoduše z geometrických parametrů čočky. Námi použitá čočka má tento poloměr křivosti 17,3 cm. V prvním případě jsme dutou čočku naplnili čistou vodou, která má známý index lomu 1,33 a poznačili si místo ohniska, jak je vidět na následujícím obr. 6.



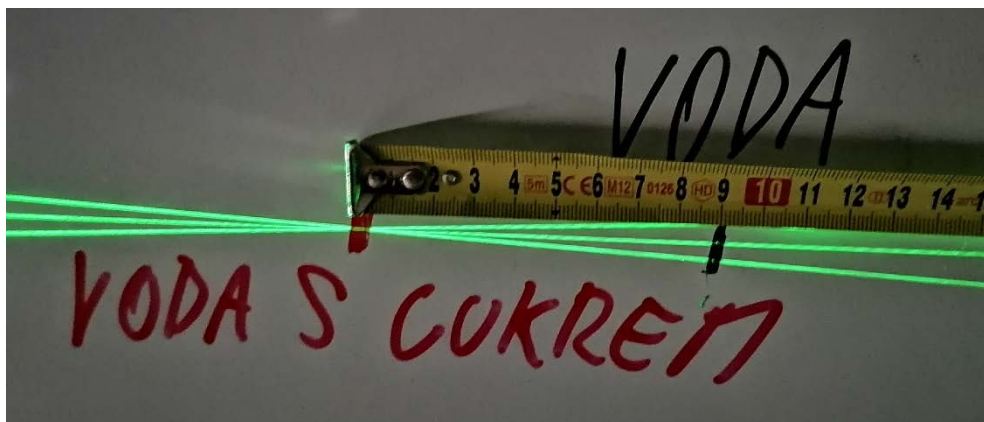
Obr. 6. Zobrazení dutou spojkou naplněnou vodou.

Poté jsme do stejného místa umístili identickou čočku, ale tentokrát naplněnou vodou s cukrem v poměru 1:1. Index lomu této kapaliny nám pomocí zákona lomu vyšel 1,41. Tento výsledek je v dobré shodě s daty uvedenými v [1]. Rozdíl v ohniskové vzdálenosti je zcela patrný na následujícím obr. 7.



Obr. 7. Zobrazení dutou spojkou naplněnou vodou s cukrem (v poměru 1:1).

Rozdíl v ohniskové vzdálenosti je způsoben pouze změnou indexu lomu, jelikož se použila pro oba případy identická čočka a geometrické parametry (poloměr křivosti) jsou tedy stejné. Výsledný rozdíl v ohniskové vzdálenosti je asi 9 cm, jak je vidět na detailním obr. 8.



Obr. 8. Detail na rozdíl v ohniskové vzdálenosti spojky naplněné vodu a vodou s cukrem.

Vidíme, že experimentální rozdíl v ohniskové vzdálenosti je cca 9 cm. Pokud nyní provedeme teoretický výpočet, tak hodnota ohniskové vzdálenosti pro čistou vodu vyjde

$$f_v = \frac{r_1}{n - 1} = \frac{17,3}{1,33 - 1} = 52,4 \text{ cm}$$

Pro vodu s cukrem vychází

$$f_{vc} = \frac{r_1}{n - 1} = \frac{17,3}{1,41 - 1} = 42,2 \text{ cm}$$

Teoretický rozdíl ohniskové vzdálenosti vychází tedy 10,2 cm. V porovnání s experimentální hodnotou 9,0 cm se jedná o poměrně dobrou shodu s ohledem na provedené aproximace a nepřesnost samotného experimentálního uspořádání. Tento experiment doplněný výpočtem, který je možné udělat přímo během demonstrace, je možné využít k demonstraci vztahu pro výpočet ohniskové vzdálenosti čočky. Může ale také posloužit jako například námět na úlohu do laboratorních cvičení apod.

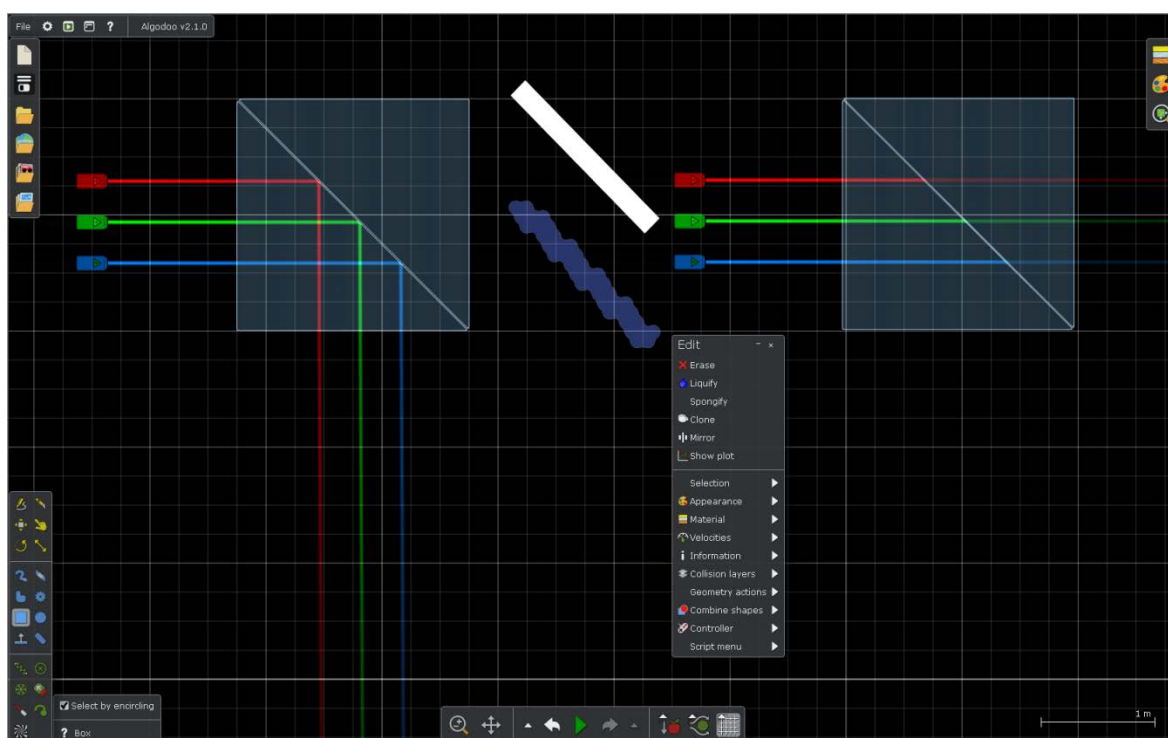
Paprsková optika v programu Algodoo

Demonstrace výše uvedených experimentů (a spousty dalších) na magnetické tabuli vyžaduje patřičné vybavení, které asi nepatří mezi základní a nejlevnější vybavení středních škol. Zajímavou alternativou proto může být program Algodoo, jelikož se jedná o volně dostupný program společnosti Algoryx Simulation AB, který je ke stažení na webových stránkách [3]. Jedná se o jednu z možností, jak studentům přiblížit paprskovou optiku i bez experimentálního vybavení. Tento program umožňuje vytvářet simulace fyzikálních jevů ve 2D i s časovým vývojem. Fyzika je v programu řešena na dobré úrovni a chování fyzikálních jevů je realistické. Program umožňuje navíc vykreslovat grafy a tato data je možné exportovat, takže dává i přímé hodnoty spojené s danou simulací. Ty je možné poté porovnat s reálnými experimentálními daty. Další výhodou je grafické zpracování, které může některé studenty zaujmout. Program je primárně zaměřený na mechaniku a paprskovou optiku, ale je možné jej s trochou kreativity využít i v dalších

oblastech fyziky. V další části si ukážeme simulace výše demonstrovaných experimentů právě pomocí programu Algodoo. [2,3]

Totální odraz v programu Algodoo

Totální odraz jsme demonstrovali pomocí rovnoramenného trojúhelníku, kdy jedna odvěsna byla rovnoběžná s dopadajícími paprsky a druhá na tento směr kolmá. K totálnímu odrazu poté docházelo na přeponě (rozhraní plexisklo-vzduch). Při přidání druhého rovnoramenného trojúhelníka došlo k průchodu paprsků až poté, co jsme tenkou vrstvu vzduchu mezi trojúhelníky vyměnili za vrstvu s vodou, která má index lomu bližší indexu lomu plexiskla. Tento průchod pomocí vrstvy vody je možné také demonstrovat v programu Algodoo, jak je vidět na obr. 9, kde jsou dvě situace. V prvním případě vlevo je demonstrován totální odraz, díky tenké vzduchové mezeře mezi trojúhelníky. Ve druhém případě vpravo jsme mezi trojúhelníky vložili vrstvu vody, kterou jsme získali zkapalněním bílého obdélníku. Vidíme, že paprsky v tomto případě již prochází napříč trojúhelníky bez změny směru.

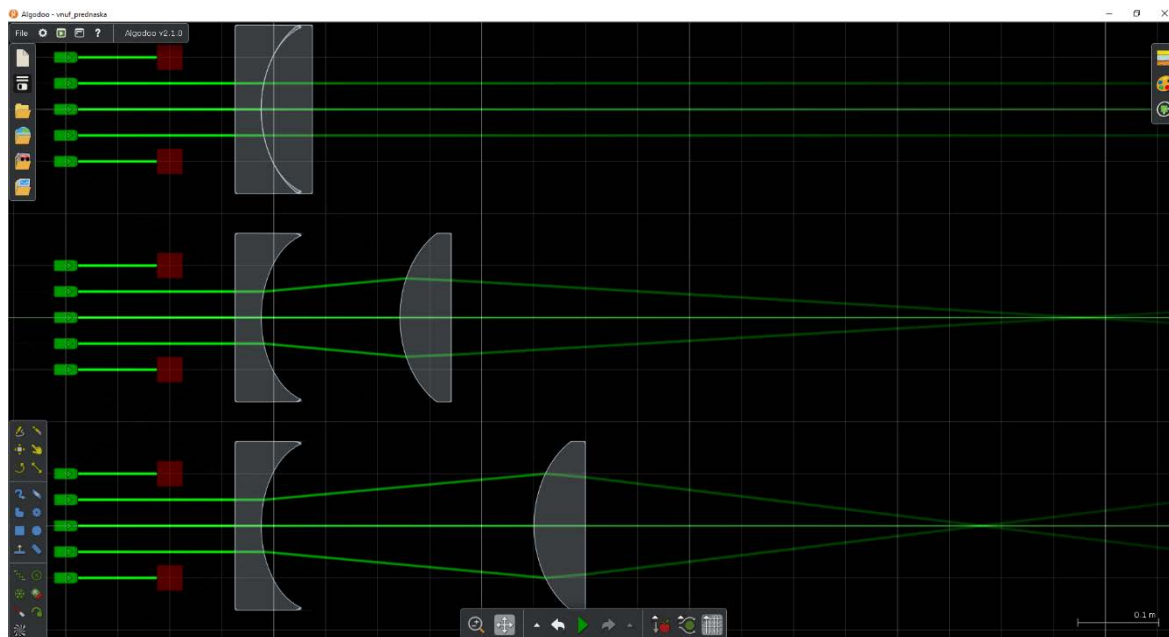


Obr. 9. Demonstrace totálního odrazu a průchodu pomocí vodní vrstvy v programu Algodoo.

Optická soustava v programu Algodoo

Druhý experiment ukazoval optickou soustavu, kterou lze využít jako čočku s proměnnou ohniskovou vzdáleností. Jedná se o důležitý princip v optice, jelikož nám umožňuje pomocí dvou čoček o daných ohniskových vzdálenostech vytvořit čočku o proměnné ohniskové vzdálenosti, kterou můžeme měnit pomocí vzájemné polohy těchto dvou čoček. Tento princip je možné jednoduše demonstrovat v programu Algodoo, jak je vidět na obr. 10. V horním případě máme spojku a rozptylku (o doplňkové ohniskové vzdálenosti) u sebe a vidíme, že dochází ke kompenzaci ohniskových vzdáleností a optická

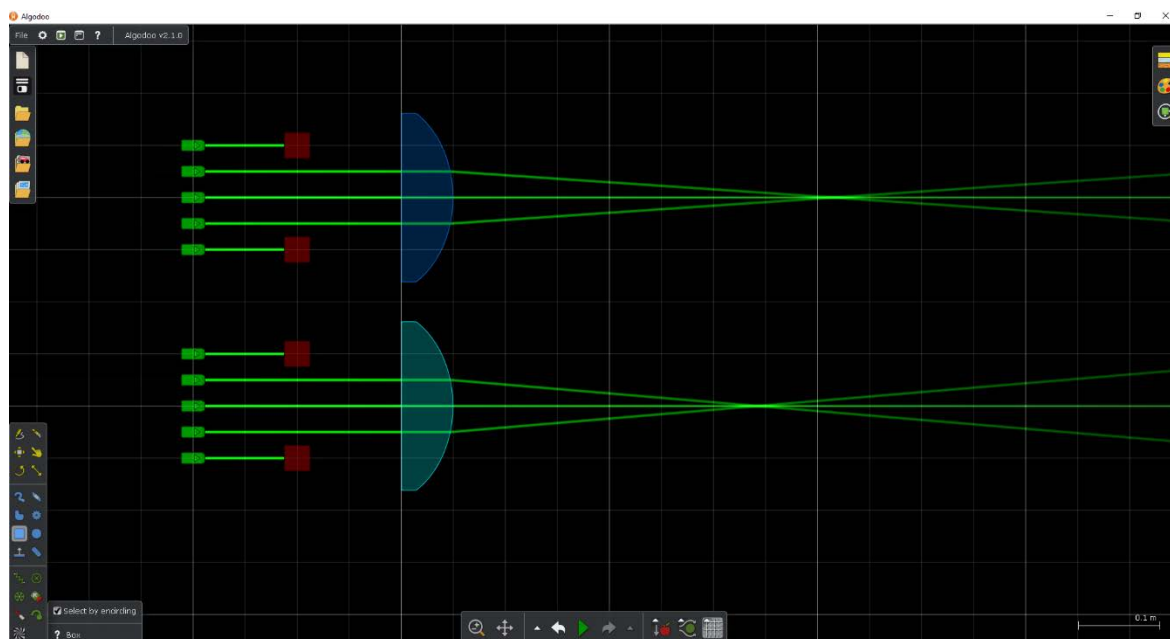
soustava nemění směr paprsků (ohnisko je v nekonečnu). V dalších dvou dolních případech jsou použity stejné čočky v nenulové vzájemné vzdálenosti a vidíme, že nyní se optická soustava chová jako spojka. Pomocí pohybu čoček je možné jednoduše demonstrovat závislost výsledné ohniskové vzdálenosti na vzájemné vzdálenosti čoček.



Obr. 10. Demonstrace optické soustavy v programu Algodoo.

Závislost ohniskové vzdálenosti na indexu lomu v programu Algodoo

Poslední experiment se zabýval závislostí ohniskové vzdálenosti čočky na indexu lomu čočky. Pomocí aproximace pro tenkou ploskovypuklou čočku jsme ukázali, že se dá i s touto silnou aproximací dosáhnout dobré shody mezi teoretickými a experimentálními výsledky. Navíc je možné tento výpočet zařadit do středoškolské fyziky. Tuto závislost ohniskové vzdálenosti na indexu lomu je možné demonstrovat také v programu Algodoo, kde lze jednoduše ve vlastnostech materiálu měnit spojitě index lomu čočky, jak je vidět na následujícím obr. 11. Na tomto obrázku jsou dvě geometricky identické spojky, kde horní spojka má nastavený index lomu na hodnotu 1,33 (čistá voda) a dolní spojka má nastavený index lomu na hodnotu 1,41 (voda s cukrem v poměru 1:1). Rozdíl v ohniskové vzdálenosti způsobený rozdílem indexu lomu je zřetelný. V programu Algodoo je navíc ještě možné jednoduše měnit i geometrický tvar čočky a ukazovat závislost ohniskové vzdálenosti i na geometrickém tvaru (poloměru křivosti).



Obr. 11. Závislost ohniskové vzdálenosti na indexu lomu v programu Algodoo.

Závěr

V tomto příspěvku jsme si ukázali tři jednoduché experimenty z paprskové optiky, které je možné demonstrovat na magnetické tabuli. Experimenty jsme ještě doplnili výpočty, které jsou vhodné i na střední školu a mohou posloužit jako například námět na laboratorní cvičení nebo motivační experiment. Ve druhé části byl stručně představen volně dostupný program Algodoo, který může posloužit jako zajímavý motivační prvek ve výuce fyziky. V tomto programu jsme poté simulovali demonstrované experimenty. Tento program může posloužit jako doplněk k experimentům, nebo může posloužit dokonce i jako náhrada za samotný experiment. Možnosti využití programu Algodoo ve výuce fyziky jsou opravdu široké.

Literatura

- [1] A. Belay, G. Assefa. *Concentration, Wavelength and Temperature Dependent Refractive Index of Sugar Solutions and Methods of Determination Contents of Sugar in Soft Drink Beverages using Laser Lights*. Journal of Lasers, Optics & Photonics. 2018.
- [2] M. Černý. *Počítačové simulace a modelování ve výuce fyziky v programu Algodoo*. Matematika – fyzika – informatika. 22, 2013.
- [3] <http://www.algodoo.com/>

Vybrané kapitoly z Vybraných kapitol

Stanislav Gottwald

Gymnázium, Praha 9, Špitálská 2

Abstrakt

Příspěvek ve stručnosti nastiňuje obsah semináře Vybrané kapitoly z fyziky (VkF), který je závislý na přístupu a kreativitě studentů v duchu hesla „jaký si to uděláš, takový to máš“, a ukazuje pár pokusů a aktivit, se kterými se studenti v minulých letech na semináři setkali.

Základní charakteristika předmětu VkF

Seminář Vybrané kapitoly z fyziky se na našem gymnáziu vyučuje řadu let a vesměs ho vyučuji já. Jeho základní charakteristika je uvedena v ŠVP školy, tedy v [1]. Podle daného dokumentu má „vyučovací předmět ... časovou dotaci dvě hodiny týdně. Vyučuje se ve třetím ročníku čtyřletého studia a v septimě osmiletého studia, případně nepovinnou formou od druhého ročníku čtyřletého studia a sexty osmiletého studia.

Důraz je kladen na samostatnou práci a vyhledávání informací z různých informačních zdrojů, rozvoj samostatného kreativního myšlení a zkoumání v oblastech fyziky, které si žáci samostatně volí. Žáci zpracovávají projekty, provádějí měření, chodí na exkurze a veřejné přednášky (AV, MFF apod.). Snahou je zejména podnítit žáky k samostatnému kladení otázek a jejich řešení za pomoci experimentů, vzájemné diskuse, vyhledávání informací na internetu i ve spolupráci s odborníky (zejména na MFF UK). Probíraná témata jsou značně ovlivněna přáním a vlastní iniciativou a aktivitou samotných žáků.

Samotný obsah je vymezen dosti volně tak, aby byl velmi variabilní a mohlo se opravdu v co největší míře přihlídnout k aktuálnímu složení semináře a požadavkům a schopnostem žáků v daném školním roce. Žáci si vybírají z osvědčených aktivit (které mnohdy znají od svých starších spolužáků) nabízených vyučujícím a dále si sami volí, čím se budou v průběhu roku zabývat. Nejedná se o žádné převratné projekty, ale tímto způsobem se zaplňuje to, co na některých školách probíhá formou povinné (někdy i maturitní) práce. I když se naše škola na dnech otevřených dveří prezentuje zejména přírodovědnými předměty (pokusy jsou vždy lukrativní) a sportovními úspěchy, vedení důsledně dbá o všeobecnost přípravy studentů.

Některé aktivity v rámci semináře

V rámci semináře jsou některé kapitoly (témata) striktně dány (i když je hloubka obsahu opět dána volněji a závisí na požadavcích studentů), většinu dalších aktivit si ale určují studenti sami. Z toho důvodu je první seminář věnován diskusi o tom, co studenti od semináře očekávají, co je ve fyzice nejvíce oslovuje a čím by se chtěli zabývat (většinou mezi požadavky studentů se objevují i závazná témata). Pravidelně jsou pak zařazovány informace studentů o tom, jak jsou v oblasti, kterou si vybrali a kterou budou prezentovat, daleko. Nejpozději v pololetí se studenty reflektují naši společnou práci a případně upravíme plán na pololetí další.



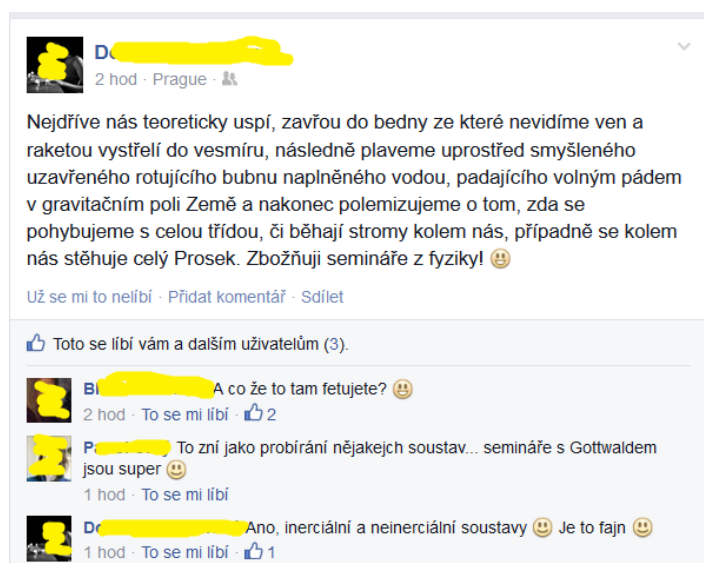
Obr. 1. Elektrostatika v IFLu na MFF UK.

Závazná témata

Mezi závazná témata, tedy části fyziky, kterými se máme v semináři podrobněji zabývat, patří základní koncepty mechaniky, speciální teorie relativity (STR) a astrofyzika. Poslední dvě témata se na běžných hodinách zmiňují jen okrajově, pro studenty jsou ale atraktivní a sami je zpravidla na prvním sezení (prvním vyučovacím bloku) požadují.

Většinou začínáme mechanikou, tj. Newtonovými zákony, pohyby v tíhovém poli Země a vztažnými soustavami. Ačkoli se většina studentů domnívá, že Newtonovy zákony a mechanika vůbec je velice jednoduchá a intuitivní část fyziky, kterou zvládají „levou zadní“, společně hledáme miskoncepce, které právě v této oblasti mají a snažíme se je překonat. Těžištěm je správné použití Newtonových zákonů při popisu reálných situací.

Následně se zabýváme inerciálními a neinerciálními soustavami. V běžných hodinách se snažím o důsledný popis z pohledu IS, o NIS se bavíme jen zběžně. I když NIS znají studenti z hodin zeměpisu, domnívám se, že znají jen prázdné pojmy bez hlubšího pochopení a že je tento koncept pro studenty poměrně složitý, proto také odkládám podrobnější a hlubší rozbor na pozdější dobu. Na semináři různé pohyby popisujeme z pohledu jak soustavy IS, tak NIS. Snažím se o to, aby studenti rozlišovali a chápali pojmy pravá a nepravá síla a kdy mohou tyto pojmy správně použít.



Obr. 2. Po semináři o soustavách na Facebooku 😊.

Náhodou jsem na Facebooku narazil na jednu konverzaci, která se týkala zmiňovaného semináře a udělal jsem si její PrintScreen. I když se jedná o subjektivní pohled, není od věci si ho přečíst a udělat si malý obrázek o tom, co se na semináři (z pohledu některých studentů) odehrává. Proto tento zajímavý pohled zveřejňuji (viz obr. 2).

Od vztažných soustav je pak jen krůček k transformacím souřadnic, skládání rychlostí, Michelsonovu pokusu a následně ke STR, paradoxům STR a případně k optickým jevům ve STR. Světlo je pak pojítkem mezi kvantovou fyzikou (mechanismus vzniku světla) a astrofyzikou. Toto spojení mikroskopického a makroskopického pohledu na svět je fascinující nejen pro mě jako vyučujícího, ale pevně věřím, že i pro mé studenty.

Pro odborný pohled na vesmír a děje probíhající v megasvětě se mi podařilo získat mého bývalého studenta a nyní pracovníka astronomického ústavu Akademie věd Richarda Wünsche, se kterým několik lekcí učíme již několik let v tandemu. Domnívám se, že je tato společná práce přínosná pro všechny strany (studenty, vyučujícího i „odborníka z praxe“). R. Wunsch je schopen zodpovědět nejzákladnější studentské dotazy na různé úrovni, případně pomoci při individuálním rozvoji studentů v oblasti astrofyziky, programování a modelování. I tomuto spojení přičítám navázání spolupráce mezi AV a jedním z našich studentů (D. Kománka), který pod vedením tohoto odborníka na Astronomickém ústavu vytvořil práci, která je prý na úrovni práce doktorandské. Pochopitelně jde o spojení, které se jen tak neopakuje, nicméně mě hřeje fakt, že k tomu přispěl seminář Vkf a moje popostrčení ☺.



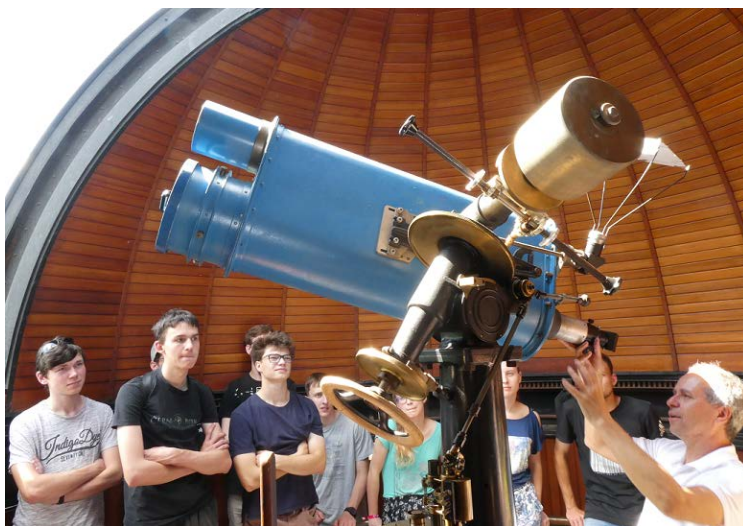
Obr. 3. Diskuse s pracovníkem AV R. Wünschem v rámci Astrofyziky.

Exkurze a přednášky

Součástí semináře jsou i návštěvy některých zajímavých vědeckých pracovišť a přednášek (pořádaných zejména MFF, ČVUT a AV), které jsou cíleny na středoškolské studenty i odbornou veřejnost. Snažím se vybírat přednášky, které by studenty mohly zajímat a nadchnout a byly podávány odpovídající formou (na SŠ úrovni, případně jí mírně překračující). Na semináři, který po absolvované přednášce následuje, pak krátce dané téma zopakujeme, případně dále rozvíjíme. Zabýváme se nejen odbornými aspekty

přednášky, ale i způsobem přednášení. Domnívám se, že i náročná a úrovní studentů neodpovídající přednáška má po jejím rozboru smysl. Předpokládám, že většina účastníků semináře půjde na VŠ a může se setkat s nesrozumitelným a přehnaně odborným výkladem, nesmí se však hned zaleknout a „složit zbraně“.

V rámci kapitol z astronomie navštěvujeme přednášky prof. Kulhánka (v Planetáriu, na ČVUT, některé z nich jsou i na internetu) a AU v Ondřejově. Další zajímavé přednášky pořádá MFF UK (např. Přednášky z moderní fyziky) a AV (v rámci akce Týden vědy a techniky).



Obr. 4. Exkurze na AV v Ondřejově.



Obr. 5. Přednáška na AV v rámci Týdne vědy.



Obr. 6. Po přednášce prof. Kulhánka na ČVUT.



Obr. 7. Při exkurzi na školní reaktor VR-1 na ČVUT.



Obr. 8. Po přednášce o holografii na SŠPS Preslova.

Pokusy a měření

Jako vyznavač heuristické výuky (projekt Heuréka) věřím, že organickou součástí vzdělávání musí být experiment, který si student provádí sám. Z toho důvodu zařazují pokusy, které si připravují a předvádějí sami studenti (viz část Samostatná vystoupení a projekty), ale i pokusy a měření, která doplňují a ilustrují látku probíranou v běžných hodinách. Opět záleží na přání a úrovni znalostí studentů ve skupině. Především se jedná o pokusy z mechaniky (pohyby v tíhovém poli a jejich videoanalýza, těžiště a stabilita těles), z elektřiny a magnetismu a z vlnové optiky. V rámci semináře navštívujeme i interaktivní fyzikální laboratoř (IFL) na MFF UK. Někteří studenti zůstanou na základní úrovni (pamatuji si na případ, kdy jedna dívka s radostí konstatovala, že konečně pochopila, jak funguje reostat a potenciometr a jak je to s tím kondenzátorem, a to jí nejvíce oslovilo, i když jsme nakonec pájeli a pracovali s kontaktními nepájivými poli), jiné pokus přivede k dalšímu zkoumání a měření.



Obr. 9. Měření v IFLu.

Samostatná vystoupení a projekty

Samostatná vystoupení si studenti volí podle svých zájmů, zkušeností a schopností. Pochopitelně jsou mezi studenty ti, kteří si buď nevěří, nebo si práci snaží co nejvíce usnadnit, tedy projít školou tou nejjednodušší cestou. V takovém případě je nutné tyto typy popostrčit, vyhecovat, podrobit tlaku okolí apod.

Většinou své studenty znám, vím, kdo je učil a jakým způsobem, co od nich mohu očekávat (jsme poměrně malá škola, takže jak studenti znají i učitele, kteří je neučí, tak já znám studenty a styly kolegů, obzvláště fyzikářů), takže tento „boj“ vede často k úspěchu, tedy k tomu dostat ze studentů co nejvíc. Nicméně vždy vše závisí na tom, co od semináře samotní studenti očekávají. Domnívám se, že pokud sami nechtějí pracovat, je to spíš jejich mínus a „problém“, nijak moc je to neposune a čas, který jim škola a seminář dává, vlastně promarní. Jsem přesvědčen, že by mělo být v jejich zájmu „vysosat“ z nabídky co nejvíc. Jde ale o seminář, který si vybírají (i když mnohdy povinnou formou), a to v době, kdy už znají své preference ohledně dalšího studia, a proto to až tak veliký problém nebývá.

Zpravidla začínáme jednoduchými „předváděčkami“ a pokusy. Pro některé studenty i to je něco, s čím se nesetkali, pro některé je to rutina. Domnívám se, že i na jednoduchých pokusech se dá dělat krásná fyzika, nacvičit si vystupování před ostatními a prozkoumat

řadu maličností. Jak víme, ďábel se skrývá v detailu a při šťouravých otázkách se někdy dost zapotíme a zjistíme, že i to, co se zdálo jednoduché, jasné, ba přímo tzv. primitivní může být hodně zapeklité. Mnohdy se právě na jednoduché pokusy díváme dosti povrchně, ale zde se můžeme nad nimi více zamyslet a vše řádně prodiskutovat. Při podrobnějším pohledu se mohou ukázat i věci, kterých si normálně nevšimneme. V neposlední řadě je řada pokusů „jen“ krásná sama o sobě.



Obr. 10. Jednoduché pokusy. Fyzika je krásná.

Někteří studenti si už na začátku vyberou rozsáhlejší projekty, jiní se k rozsáhlejšími projektům nechají vyprovokovat na základě příkladů svých spolužáků. Tito studenti mohou být dobrým příkladem pro ostatní a pro ně pak může být seminář jen dalším krokem k profesnímu růstu a rozvoji. To je i hlavní smysl semináře. V neposlední řadě pak mohou vzniknout zajímavé projekty, které mohou být prezentovány i mimo školu. Takovými projekty byly např. dvě multimediální CD (vytvořené všemi studenty dvou seminářů) prezentované na Veletřích nápadů učitelů fyziky v Brně a Olomouci (viz [2] a [3]), případně prezentace prací jednotlivých studentů v Hradci Králové (viz [9]) i v letošním roce (viz [10]).

Vybrané pokusy

V poslední části bych rád představil pár oblíbených, a proto často zařazovaných, aktivit. Mezi ně patří zejména následující:

- Stabilita těles a Leonardovy samonosné mosty
- Nenewtonovské kapaliny
- Měření rychlosti střely
- Pokusy s vysokým napětím (přenosová soustava, indukční pec, růžková bleskojistka, Lichtenbergerovy obrazce) apod.

Stabilita těles

Jako úvod do studia stability těles zařazují hravé experimenty a soutěže, které jsou zajímavé snad pro každou věkovou kategorii a dají se použít ve fyzice, na adaptačních kurzech či jiných aktivitách vyžadující spolupráci týmu. Mám na mysli aktivitu pod názvem

Marshmallow challenge (viz např. [4]), kdy skupina staví co nejvyšší věž pomocí špaget tak, aby udržela marshmallow. V původní verzi této aktivity jde především o týmovou spolupráci, nicméně pomocí ní se dá odstartovat pěkná diskuse o stabilitě, pevnosti a pružnosti těles. Marshmallow challenge jsem s úspěchem použil v sekundě, druhém ročníku gymnázia v rámci osobnostní a sociální výchovy, na semináři Vkf i na jednom ze setkání učitelů fyziky v rámci centra Elixíru do škol. Na tuto aktivitu se pak dá navázat odbornějším přístupem a měřeními, které jsou popsány např. v [7] a [8].

Podobně pěknou aktivitou je stavba samonosných mostů (viz [5]). Dalšími zajímavými a podnětnými aktivitami je stavba konstrukcí z kostek, které mohou přerůst ve výpočet polohy těžiště, stavby klenutí apod. Dá se užít např. materiálů fyzikální olympiády [6].



Obr. 11. Stabilita těles.

Nenewtonovské kapaliny

Studium nenewtonovských kapalin je také oblíbené téma. Zde bych rád zmínil Laborky ve Slaném, či televizní pořad Zázraky přírody, kde jsou zajímavé pokusy ve velkém (viz např. [11]). My se omezujeme na menší rozměry, nicméně ukázka kapalin, které se chovají jinak než voda (jako nejrozšířenější a nejznámější kapalina). Je zajímavá i diskuse o chování bažin, případně tekutého mýdla, těsta apod.



Obr. 12. Hrátky s nenewtonovskými kapalinami.

Měření rychlosti střely

Pro studenty velmi zajímavým problémem je i měření rychlosti střely (konkrétně diabolky) vystřelené ze vzduchovky. Nejdříve si odhadneme (a pak na internetu vyhledáme) rychlost vystřelené diabolky a pak diskutujeme různé způsoby, jak by se dala tato rychlost změřit. Podrobněji je možné se o různých metodách dočíst na internetu. Dvě metody jsme se seminářem zpracovali v digitální podobě na CD a prezentovali na [2]. V současnosti používáme tři až čtyři metody (balistická metoda, průstřel dvojicí rotujících kotoučů, z akustického záznamu výstřelu a dopadu střely, střelba do špalíku a určení smykového tření), jejichž přesnost pak můžeme porovnávat a diskutovat.



Obr. 13. Měření rychlosti střely pomocí dvojice rotujících kotoučů.

Lichtenbergerovy obrazce

Velmi oblíbené jsou pokusy s vysokým napětím. Při těchto pokusech je ale třeba dbát zvýšené opatrnosti a bezpečnostních pokynů!! Tyto pokusy nepředvádějí studenti sami a je třeba je upozornit, aby je neprováděli sami, a to ani v budoucnu (např. doma). Možná proto jsou také tyto pokusy oblíbené a lákavé. Na výzvu jednoho ze studentů jsme se před cca dvěma roky začali zabývat tzv. Lichtenbergerovými obrazci.

Jedná se o zajímavé fraktální struktury, které vznikají vlivem rozvětvených tvarů výboje na povrchu izolantů. Jsou pojmenovány podle významného německého spisovatele, fyzika, matematika a astronoma druhé poloviny 18. století. Lichtenberg tyto obrazce zviditelňoval jemným práškem, kterým posypal izolant po výboji a následně obtiskl na papír. (Jde vlastně o první popis fyzikálního základu xerografie.) Podobné obrazce mohou vznikat např. na golfovém hřišti po zásahu kovové tyče s praporkem bleskem, nebo na povrchu kůže po zásahu elektrickým výbojem (např. bleskem).



Obr. 14. Lichtenbergerovy obrazce na golfovém hřišti.



Obr. 15. Lichtenbergerovy obrazce na lidském těle. Zdroj [13].

Na internetu existuje celá řada návodů, jak tyto obrazce např. vypálit do dřeva. Máte-li však k dispozici rozkladný transformátor, je ho možné s úspěchem použít (podobně jako k dalším výše zmiňovaným pokusům s vysokým napětím). Za primární cívku transformátoru (s uzavřeným lístkovým jádrem) jsme zvolili cívku s 600 závitů (neradíme používat menší počet závitů, nechcete-li vyhodit jističe třeba i na celém patře), sekundární cívka měla závitů 12 000. Vše je nutné umístit do upínacího zařízení. Elektrody (hřebíky) zatlučeme do měkkého dřeva, které pak potřeme vodným roztokem jedlé sody. Destičku položíme na izolační podložku (je lepší nehořlavá, ale někdy stačí jen polystyrénová deska) a připojíme elektrody k sekundární cívkce. Primární cívku připojíme na síťové napětí 230 V. Kvůli větší bezpečnosti doporučujeme připojení přes prodlužovací šňůru s vypínačem. Je lepší, když hřebíky nejsou příliš zatlučeny do dřeva, na druhou stranu je vhodné, aby ve dřevě držely i při připojení k sekundárnímu vedení. Pokud jednu elektrodu přidržujete vhodným izolovaným nástrojem tak, aby se hrot hřebíku jen povrchu dřeva dotýkal, jsou výsledné obrazce hezčí, manipulace je však méně bezpečná. Jsou-li hřebíky příliš zatlučeny nebo roztok vsáklý hluboko do dřeva, může výboj, a tedy žádaný obrazec, vzniknout uvnitř dřeva a výsledný efekt není tak zajímavý. Trsy výboje (větvení) a směr, kudy povede hlavní výboj, jsou dosti náhodné a záleží na celé řadě podmínek, které ani mnohdy neumíme ovlivnit. Se studenty můžeme tyto podmínky diskutovat, nicméně realizace je poměrně složitá. Např. při zkoumání závislosti na druhu dřeva těžko dodržíme stejné další podmínky, leč i samotná diskuse je zajímavá a podnětná. Podobný pokus můžete shlédnout také v [12].



Obr. 16. Vytváření Lichtenbergerových obrazců na dřevěné desce.

V době loňských prázdnin si jeden z čerstvých absolventů, který si právě Lichtenbergerovy obrazce vybral jako svůj projekt, postavil elektrickou kytaru a vzor na ní jsme vypálili výše popsaným způsobem. Výsledek byl nad očekávání dobrý.



Obr. 17. Tělo kytary s vypálenými L. obrazci.



Obr. 18. Výsledný produkt.

Místo závěru

Na závěr bych chtěl zmínit, že můj příspěvek vznikl jako „předskokan“ k vystoupení dvou studentů Jakuba Janduse a Vítka Železného, kteří se pouští do řady zajímavých projektů, poslední pak prezentovali právě po mém vystoupení na letošním ročníku Veletrhu.

V poslední době na závěr semináře dávám studentům krátký dotazníček, ve kterém mimo jiného hodnotí práci na semináři. Proto bych místo závěru několik takových vyjádření citoval.

„Velice oceňuji to, že na koncích zařazujete nějakou zpětnou vazbu, souhrny a hodnocení hodiny. I když to na jednu stranu nemám moc rád, protože někdy nevím, jak odpovědět, ale je to super věc. Takhle by podle mého měla vypadat hodina ...“

„Líbilo se mi uvolněné prostředí a různorodost obsahu – každou hodinu jsme dělali něco jiného, většinou různé pokusy sem tam i nějaká teorie nebo počítání.“

„Díky semináři jsem se zbavila některých nesprávných domněnek týkajících se Newtonovské mechaniky“

„Hodně věci z fyziky mi během letošního semináře došlo, ať už na přednáškách, ve škole nebo v thajské restauraci ☺“

„Líbilo se mi skupinové přemýšlení nad fyzikálními problémy. Ideálně, když na vše přijdem sami“

„Líbily se mi prezentace projektů, ale i práce na mém projektu a rozebírání toho, co jsme si připravili“

Literatura

- [1] Školní vzdělávací program pro gymnaziální vzdělávání ve čtyřletém oboru gymnázia a vyšším stupni víceletého oboru gymnázia [cit. 19. 8. 2020]. Dostupné online: <http://www.gymspit.cz/index.php?page=dokumenty>
- [2] Gottwald S.: Pokusy z fyziky na CD. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 9, Brno 2004
- [3] Gottwald S.: Pokusy z fyziky na CD II. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 11, Olomouc 2006
- [4] Tom Wujec: Build a tower, build a team [cit. 24. 8. 2020]. Dostupné online: https://www.youtube.com/watch?v=H0_yKBitO8M
- [5] Lipertová K.: Leonardův samonosný most. In: Dílny Heuréky 2008
- [6] Stavba šikmé věže z kvádrů, Úlohy 1. kola 59. ročníku FO, kat. D [cit. 25. 9. 2020]. Dostupné online: http://fyzikalniolympiada.cz/archiv/59/fo59d1_z.pdf
- [7] Jílek M.: Ohýbání špejlí. In: Dílny Heuréky 2003-2004. Sborník konferencí projektu Heuréka Ed.: L. Dvořák. Prometheus, Praha 2005. ISBN 80-7196-316-X. Dostupné online: https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2003-2004.pdf
- [8] Dvořák L.: Další nápady z Malé Hraštic 2: Špagetová fyzika. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 17, Praha 2012. Dostupné online: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/17-09-Dvorak.html>

- [9] Lázníčka M.: *Balistika a její demonstrace v praxi*. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 24, Hradec Králové 2019. Dostupné online: [https://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_24_\(Hradec_Kralove_2019\).pdf](https://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_24_(Hradec_Kralove_2019).pdf)
- [10] Jandus J., Železný V.: *LEGO-LIGO a její demonstrace v praxi*. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 25, Praha 2020
- [11] Projekt Běh bažinou - www.laborky.cz [cit. 15. 9. 2020]. Dostupné online: <https://www.youtube.com/watch?v=M9oDGURgVHY>
- [12] Lichtenbergovy obrazce - Pokusy vladimíra Kořena-Zázraky přírody [cit. 15. 9. 2020]. Dostupné online: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/10214135017-zazraky-prirody/7810-pokusy-vladimira-korena/28322-lichtenbergovy-obrazce/>
- [13] Lichtenberg Figures – The Fractal Patterns of Lightning Strike Scars. [cit. 15. 9. 2020]. Dostupné online: <https://twistedsifter.com/2012/03/lichtenberg-figures-lightning-strike-scars/>

Modely zrcadlových dalekohledů

Filip Hložek

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

Představíme dva jednoduché 2D modely zrcadlových dalekohledů, které lze využít k demonstračním pokusům na magnetické tabuli. Tyto modely lze snadno vyrobit s pomocí 3D tisku a několika dalších pomůcek.

Úvod

Dalekohledy jsou atraktivním tématem pro žáky, přitom na ně ve výuce často není prostor (jsou probírány jako rozšiřující učivo). Dvojměrné modely čočkových dalekohledů existují v několika školních experimentálních optických sadách, zrcadlové ale v podstatě nenajdete. Přitom největší dalekohledy světa (Hubble Space Telescope, Very Large Telescope, budoucí Extremely Large Telescope a další) jsou právě zrcadlové.

Zde uvedené náměty na začlenění dalekohledů do výuky můžete použít jako demonstrační experiment, samostatné práce žáků nebo jako dlouhodobý projekt. Jsou vhodné pro žáky na 2. stupni ZŠ, na střední škole a v odpovídajících ročnících gymnázií. Práce s modely otevírá prostor k diskuzi se žáky o dalších typech dalekohledů a optických vadách.

Typy dalekohledů

Dalekohledy můžeme dělit do tří skupin: čočkové (refraktory), zrcadlové (reflektory) nebo čočково-zrcadlové (katadioptrické). Zde popisované modely jsou reflektory – Newtonův a Cassegrainův, které jsou často používány astronomy amatéry. Podívejme se, jaké části tyto teleskopy obsahují (viz [1], kde je popsáno mnoho dalších typů dalekohledů, jak čočkových tak zrcadlových):

Newtonův dalekohled: Nejjednodušší reflektor tvořený dvěma zrcadly obsahuje parabolické primární zrcadlo a rovinné sekundární zrcadlo, které je vzhledem k optické ose otočeno o úhel 45° a paprsky jsou tak vedeny do boku tubusu. Aby byl zástin primárního zrcadla co nejmenší, měli bychom půdorys sekundáru vyříznout eliptický.

Cassegrainův dalekohled: Primární zrcadlo je opět parabolické, sekundární je však vypuklé hyperbolické. Paprsky se od sekundáru odrážejí zpět k primáru. Proto je v parabolickém zrcadle otvor, kterým paprsky projdou do sekundárního ohniska. Největším dalekohledem tohoto typu je Haleův teleskop v Palomaru v Kalifornii. (Ve skutečnosti funguje ve třech možných konfiguracích – Newton, Cassegrain a Coudé, ale v konfiguraci Cassegrain se používá nejčastěji.)

Optické vady zrcadel

Astronom se u modelů musí vypořádat s mnoha optickými vadami. V těchto modelech lze pozorovat zejména dvě (pro rozsáhlý přehled vad dalekohledů odkazujeme opět na [1]):

Kulová vada: V případě kulového zrcadla klesá ohnisková vzdálenost paprsků s rostoucí vzdáleností od optické osy. Paprsky rovnoběžné s optickou osou se tedy neodrážejí do jednoho bodu. U parabolických zrcadel se tato vada nevyskytuje.

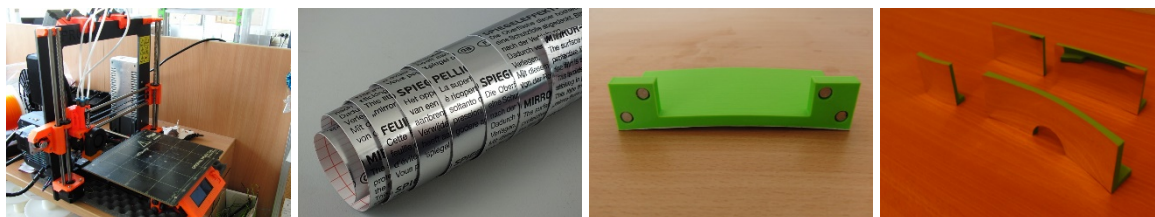
Koma: Vzniká, když svazek paprsků dopadá na paraboloid zešikma (mimoosový svazek). Obrazem bodu je pak protáhlá ploška připomínající tvarem kometu (odtud název). Jde o nejvýraznější vadu Newtonova i Cassegrainova dalekohledu.

Aktivity s modely Newtonova a Cassegrainova dalekohledu

Vytvoření modelu

Už samotné vytvoření modelu může být zajímavou aktivitou pro žáky. Prvky k vytištění na 3D tiskárně naleznete připravené na stránce [2], nicméně zručnější žáci jsou schopni takové modely zrcadel připravit v grafickém programu sami (například v rámci kroužku nebo semináře).

Postup výroby je znázorněn na obrázku 1. Stažené nebo vytvořené modely vytisknete na 3D tiskárně. Na přední část modelu přilepíte odrazivou fólii. V předpřipravených modelech jsou ve spodní části otvory, kam lze vlepít neodymové magnety (nejlépe vteřinovým lepidlem). To umožňuje demonstrační použití na magnetické tabuli. Pokud chcete nechat žáky pracovat s optickými prvky položenými na lavici, jsou magnety zbytečné.

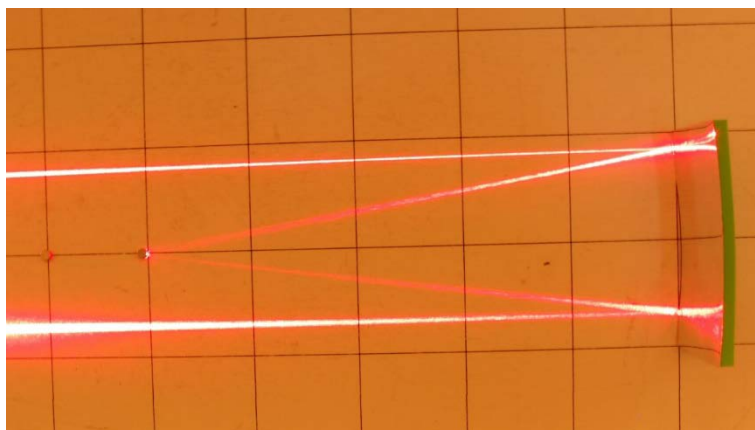


Obr. 1. Schematicky znázorněný postup výroby modelu.

Na stránce [1] jsou k dispozici také nákresy obou dalekohledů. Ty umožňují snadné umístění zrcadel na vyznačená místa. Nákres vytiskněte na papír ve formátu A3. Při samostatné práci žáků je ovšem lepší nechat je pracovat bez nákresu, aby mohli sami přijít na vhodné uspořádání zrcadel.

Určení ohniskové vzdálenosti zrcadel

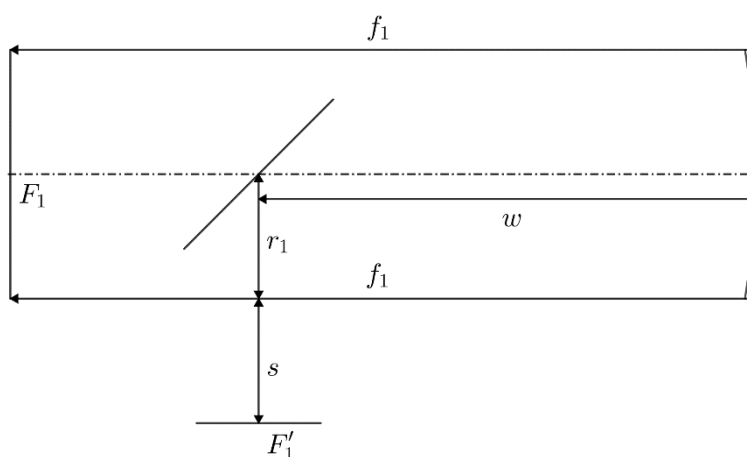
Takováto úloha se dělá běžně v rámci hodiny nebo laboratorní práce. Je příhodné využít k tomu právě tyto modely zrcadel. Nalepením zrcadlové fólie se totiž může změnit ohnisková vzdálenost, kterou by „zrcadlo“ (samotná plocha modelu) mělo mít bez ní. Na obrázku 2 vidíte situaci, kdy se původně navržená $f = 30$ cm zmenšila u modelu parabolického zrcadla na 25 cm. Na ohniskových vzdálenostech pak závisí rozmístění komponent dalekohledu. Místo k položení zrcadel mohou žáci určit „od oka“ nebo s využitím geometrických vztahů (viz dále).



Obr. 2. Určení ohniskové vzdálenosti parabolického zrcátka. Nalepení odrazivé fólie zkrátilo původně navrženou ohniskovou vzdálenost z 30 cm na 25 cm.

Geometrické vztahy

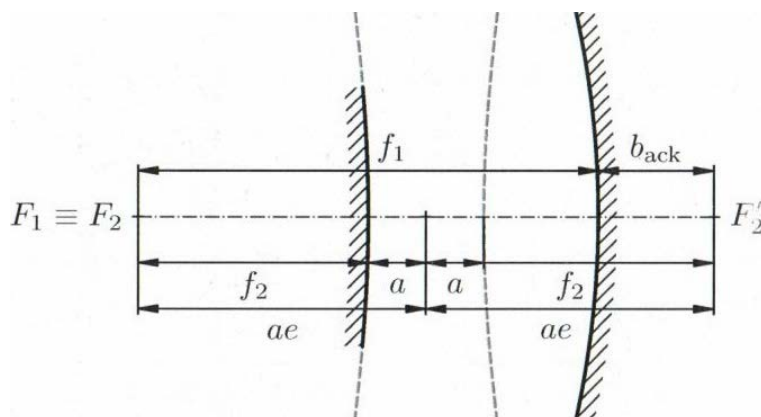
Z nákresu Newtonova dalekohledu, viz obrázek 3, lze jednoduše odvodit rozložení ohniskové vzdálenost f_1 na součet vzdálenosti primáru a sekundáru w , poloměru tubusu r_1 (myšlena poloviční šířka vytištěného zrcadla) a vzdálenosti s výsledného ohniska od okraje tubusu: $w + r_1 + s = f_1$. Tento vztah mohou žáci odvodit sami, nebo jim může být vysvětlen a diskutován.



Obr. 3. Schéma Newtonova dalekohledu včetně vyznačených vzdáleností.

Ze známých parametrů žáci dopočítají pozici, kam umístit sekundární zrcadlo. Například zrcadlo na obrázku 2 má parametry $f_1 = 25$ cm, $r_1 = 5$ cm. Vzdálenost ohniska od okraje „tubusu“ (který v modelu samozřejmě není) lze určit libovolně. Tak kupříkladu pro hodnotu $s = 5$ cm vychází, že sekundár je potřeba umístit do vzdálenosti 15 cm od primárního zrcadla. Alternativně mohou žáci měnit vzdálenost obou zrcadel a sledovat, jak se při tom mění hodnota s , a tedy poloha výsledného ohniska.

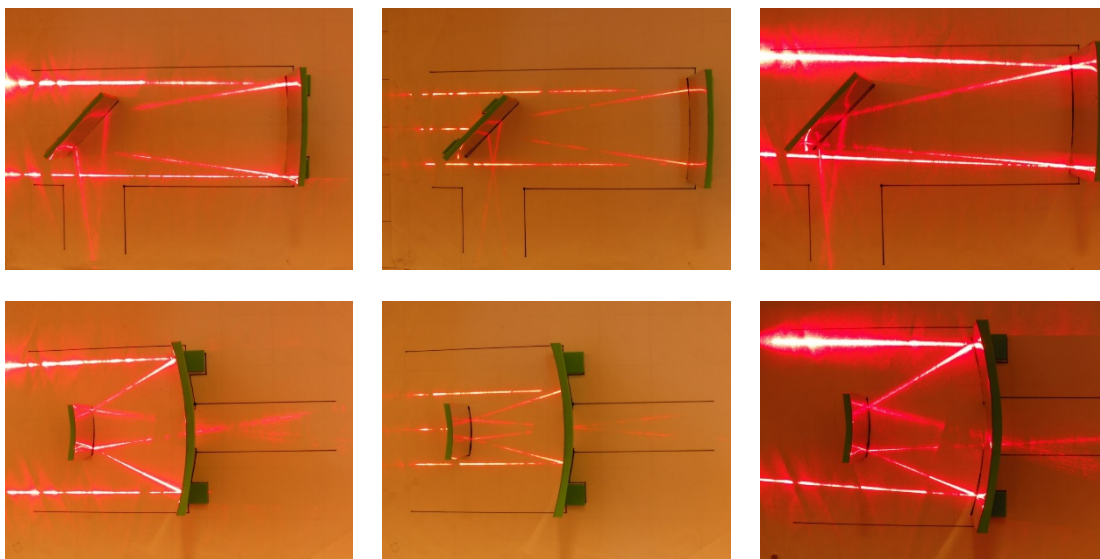
Díky tomu, že v Cassegrainově dalekohledu splývá primární a sekundární ohnisko, stačí k přesnému umístění obou zrcadel znát jejich ohniskové vzdálenosti, viz obrázek 4. Úplný soupis vztahů mezi parametry komponent Cassegrainova dalekohledu najdete v [1].



Obr. 4. Schéma Cassegrainova dalekohledu včetně vyznačených vzdáleností. Převzato z [1].

Modelování chodu paprsků

Tuto činnost lze provádět na magnetické tabuli před žáky. Pokud ale máme k dispozici více vytištěných modelů a laserových zdrojů, mohou si žáci zobrazování těchto optických soustav vyzkoušet sami. V obou případech s žáky pozorujeme polohu výsledného ohniska dalekohledu. Nejprve necháme na primární zrcadlo dopadat svazek paprsků rovnoběžný s optickou osou. Poté svazek necháme dopadat šikmo a pozorujeme, kterým směrem se ohnisko posunulo. Zde se hodí probírat vady dalekohledů, např. pro obě soustavy je typická koma (k jejímu znázornění je vhodné namísto laserových paprsků použít plošný zdroj bílého světla).



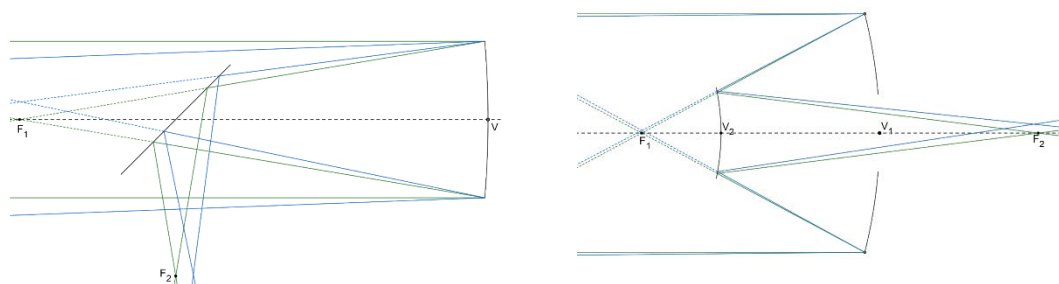
Obr. 5. Znázornění chodu světelných paprsků v Newtonově a Cassegrainově dalekohledu.

Je vhodné s žáky také prodiskutovat, že zrcadlová fólie nemusí zcela přesně kopírovat plochu modelu zrcadla. Paprsky se proto nechovají všude tak, jak bychom čekali. Diskuzi pak lze rozvinout ohledně obtížnosti reálného astronomického pozorování (přesnost, vybroušení odrazivých ploch, seřízení optických prvků dalekohledu apod.).

Geogebra

Využít tento dynamický matematický software na stránkách [3] se pro geometrickou optiku přímo nabízí. Žáci zde mohou měnit sklon svazku dopadajících rovnoběžných paprsků, poloměr křivosti zrcadel nebo polohu jednotlivých komponent. K tomuto účelu se skvěle hodí nástroj posuvník, jehož použití je pro žáky velmi atraktivní a názorné. Snadno a přesně tu lze také předvést vady kulového a parabolického zrcadla.

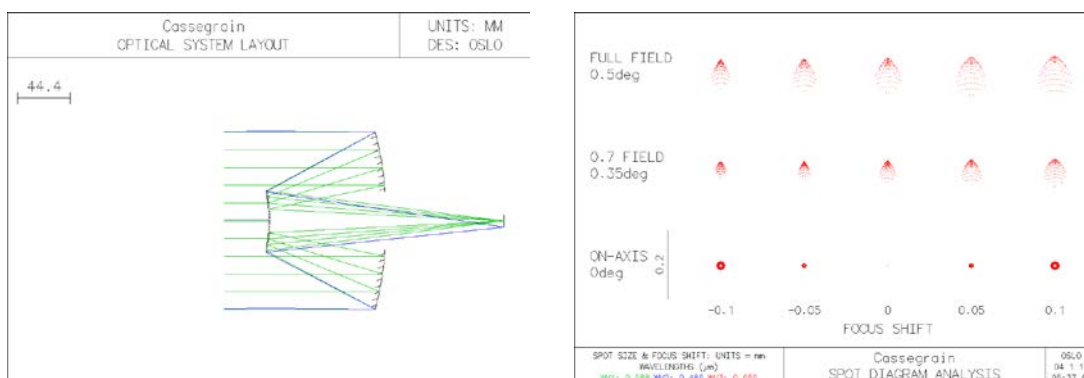
K vyznačení chodu světelných paprsků ale stačí i obyčejná tužka a pravítka. Rýsování tečen a osových souměrností nicméně může zabrat hodně času, a to i žákům na vyšším stupni gymnázií. Praktická aplikace rýsování však může být pro žáky dobrou motivací v hodinách matematiky.



Obr. 6. Schéma zobrazení Newtonova i Cassegrainova dalekohledu s vyznačenými ohnisky a vrcholy zrcadel. Svazek rovnoběžných paprsků přicházející pod úhlem 0° je vyznačen zeleně, a pod úhlem $0,5^\circ$ modře (standardní značení v programu OSLO).

OSLO EDU

Jedná se o pokročilý program určený k modelování a analýze optických systémů. Svou náročností je vhodný spíše na seminář. Umožňuje modelovat chod paprsků a analyzovat výsledný obraz. Například z rozptylového diagramu na obrázku 7 vidíme, že mimo osu se výrazně projevuje koma. Podobný obrázek bychom dostali i v případě Newtonova dalekohledu. Program je volně dostupný na stránkách [4].



Obr. 7. Vlevo: Schéma zobrazení Cassegrainova dalekohledu pomocí programu OSLO EDU. Svazek rovnoběžných paprsků přicházející pod úhlem 0° je vyznačen zeleně, a pod úhlem $0,5^\circ$ modře. Vpravo: Rozptylový diagram Cassegrainova dalekohledu.

Závěr

Možností použití dvojrozměrných modelů zrcadlových dalekohledů je celá řada. Nemusí se jednat jen o kreslení chodu světelných paprsků na tabuli. Kromě fyzikálních experimentů, kdy si žáci hrají se zrcadly a snaží se je vůči sobě vhodně umístit, se nabízí propojení s matematikou a informatikou. Celou práci vytvoření modelů zrcadel, znázornění chodu světelných paprsků a analýzu zobrazování dalekohledů, lze pojmut jako menší školní projekt. Ve výuce se můžete zabývat i jinými modely reflektorů a přiblížit tak žákům práci vědců na současných (i budoucích) astronomických observatořích.

Podrobnější text o tvorbě modelů najdete v diplomové práci [5], kde je mimo jiné detailněji rozepsán výpočet parametrů zrcadel (ohnisková vzdálenost, průměr zrcadla) pro oba uvedené typy dalekohledů. Součástí práce jsou také dvě úlohy s těmito modely dalekohledů, které se používají v Praktiku školních pokusů při výuce budoucích učitelů na Katedře didaktiky fyziky.

Literatura

- [1] Brož M., Wolf M.: *Astronomická měření*. MatfyzPress, Praha 2017. ISBN 978-80-7378-354-9.
- [2] *Optická sada*. [cit. 1. 9. 2020]. Dostupné online: <http://kdf.mff.cuni.cz/optickasada>
- [3] *Geogebra*. [cit. 1. 9. 2020]. Dostupné online: <http://geogebra.org>
- [4] *OSLO EDU*. [cit. 1. 9. 2020]. Dostupné online: <http://lambdares.com/edu>
- [5] Hložek, F.: *Pokusy z geometrické optiky pro výuku na základní a střední škole*, Diplomová práce obhájená na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy, 2019.

Fyzika na stopě – když se při chůzi rozvazují tkaničky

Renata Holubová

Katedra experimentální fyziky PŘF UP Olomouc

Abstrakt

Určitě jste se již setkali s problémem, že se Vám po několika krocích rozvázaly tkaničky u obuvi. Tkaničky si musíme opětovně zavázat nebo problém řešíme například tak, že tkaničky zauzlujeme dvakrát (nebo si kupujeme tkaničky, které jsou ploché a mají drsnější povrch). V tomto příspěvku se pokusíme tento problém analyzovat z hlediska fyziky – jak vysvětlit chování tkaniček pomocí známých fyzikálních zákonitostí a poukázat na řešení této problematiky z obecného hlediska i matematiky.

Úvod

Problematika uzlů hraje závažnou roli v různých oblastech vědy i běžného života. Snad každý z nás se setkal s problémem, že se mu při chůzi nebo běhu po čase začnou rozvazovat tkaničky u bot. Podíváme-li se do literatury, zjistíme, že je tento fenomén sice diskutován, ale jen v omezené míře. Mnohem více informací se dočteme o topologii uzlů z hlediska matematického, kdy byly vydány obsáhlé publikace k tomuto tématu. Odhalování fyzikálních zákonitostí tvorby uzlů je významné při využití v mnoha oblastech našeho života (chirurgické šití, uvazování lodí, horolezectví, uzly přírodních vláken – DNA, atd.).

Problematiku uzlů řešil v minulosti například francouzský vědec Basile Audoly, který prezentoval jednoduchý model uzlu a představil jeho kvantifikaci. [1] Záhy však bylo zjištěno, že tyto závěry neplatí pro složitější uzly (Pedro Reis). Důvodem rozporu bylo to, že byl podceněn vliv tření.

Reis nepoužíval k testům obyčejný provázek, ale pružný niklo-titanový drát. Připravil si na něm jednoduchý neutažený uzel, jeden konec drátu upevnil do svorky a za druhý pak táhl mechanickou rukou. Uzel se utahoval a Reis měřil, jakou silou přitom ruka na drát vyvíjí. Porovnával sílu potřebnou k utažení různých uzlů a vyšlo mu, že desetinasobný uzel utáhne, jen když vyvine 1000krát větší sílu, než jaká je zapotřebí k utažení jednoduchého uzlu. To bylo mnohem víc, než předpovídaly Audolyho výpočty. Tím byla potvrzena významná úloha tření. [2]



Obr. 1. Jednoduché křížení.

Ve vícenásobných uzlech je materiál v kontaktu na mnohem větší ploše a při jejich utahování je nutné překonat odpor, který vzniká třením. Výsledkem společné práce Basila Audolyho a Pedra Reise je vzorec, který dovoluje velmi přesně spočítat sílu potřebnou k utažení uzlu v závislosti na tloušťce drátu, jeho tuhosti a počtu kliček v uzlu. Teoretické výpočty jsou v souladu s naměřenými daty i pro desetinásobný uzel a pomocí extrapolace dovolují určit sílu potřebnou k utažení uzlů s ještě větším počtem kliček. Výsledky výzkumu francouzsko-amerického týmu zveřejnil přední fyzikální časopis *Physical Review Letters*.



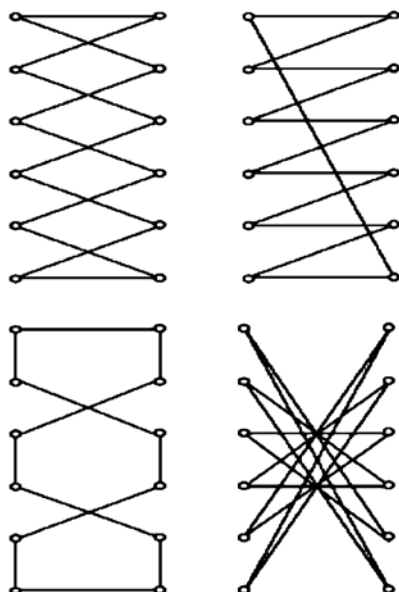
Obr. 2. Vícenásobné křížení.

Teorie Audolyho a Reise platí jen pro jednoduché uzly s různým počtem kliček. S pomocí jejich vzorce se nedá spočítat síla potřebná k utažení uzlů, jaké umí uvázat každý kluk či děvče, například ambulantní spojky, dračí smyčky či škotového uzlu. Teorie obou vědců by se měla stát základem pro další výzkum složitějších uzlů. Využití těchto zkoumání by bylo možné např. při chirurgických výkonech. Lékař by měl možnost posoudit kvalitu svého uzlu při šití ran podle toho, kolik kliček použije. Další aplikace najdeme v přírodních vědách – jak se uzlí např. šroubovice DNA či RNA, jak velké síly působí v buňkách při dělení buněk.

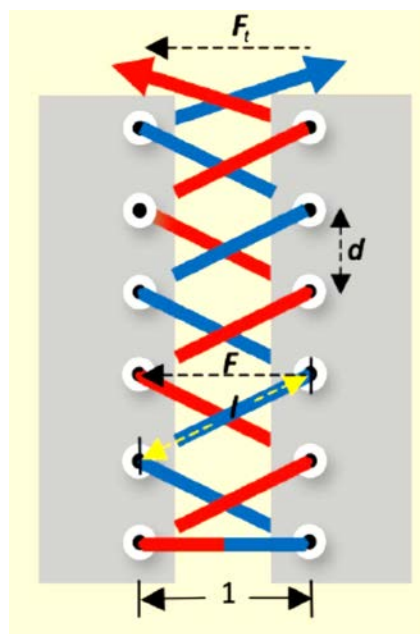
Uzel z pohledu fyziky (a matematiky)

Tolik úvodem a nyní se budeme věnovat uzlům z hlediska fyziky. Zde je třeba si uvědomit, že při analýze daného problému je třeba brát v úvahu jak vlastnosti prostorové při spojitých deformacích (jako je například tah, kroucení), tak i dynamické a technické (materiálové) aspekty daného fenoménu.

Pokud vážeme tkaničky nebo provázky, existuje mnoho možností jak tkaničky zavázat. [6] V praxi se ale setkáváme nejčastěji se dvěma klasickými postupy – buď cik-cak nebo do kříže. Objevují se i postupy nazvané motýl či čert (viz obr. 3a).



Obr. 3. a) Vázání tkaniček (vlevo nahoře křížení, vpravo nahoře cik-cak, dole vlevo motýl, dole vpravo čert).



Obr. 3. b) K odvození vztahu pro výpočet působící tahové síly (v tomto případě na každé straně působí síla $6F$).

Při matematickém popisu vázání tkaniček u obuvi předpokládáme, že se jedná (v případě boty) o systém $2n$ otvorů, které se nacházejí v rovině na spojnici dvou vertikálních a n horizontálních linií. Vertikální vzdálenost mezi jednotlivými dvojicemi otvorů je d , horizontální (vodorovnou) vzdálenost otvorů volíme jako jednotkovou. Při počtu protažení n si lze použitou část tkaničky představit jako ukončenou dráhu v rovině sestávající z $2n$ lineárních segmentů, jejich zakončení představují právě $2n$ dírky. Pro daný otvor (díрку) předpokládáme, že alespoň jeden ze dvou segmentů, které v něm končí, neleží na stejné straně jako uvedená dírka. V praxi to znamená, že každá dírka přispívá k tomu, že obě strany boty jsou taženy směrem k sobě. V případě šněrování obuvi se jedná o těsné šněrování, tzn. každý segment mezi jednotlivými stranami je střídán tam a zpět. Pomocí zákonů kombinačního počtu lze vyčíslit, kolik existuje možností zašněrování pro n párů otvorů

$$Z = \frac{(n!)^2}{2} \sum_{k=0}^m \frac{1}{n-k} \binom{n-k}{k}^2$$

$m = n/2$ platí pro sudá n a $m = (n-1)$ pro lichá n .

Pro těsné šněrování lze výraz zjednodušit na tvar

$$Z_d = \frac{n!(n-1)!}{2}$$

Pro $n = 7$ (běžná sportovní obuv) dostáváme tedy **382 838 400 možností šněrování**, z toho 1 814 400 těsných. Tím jsme ale doposud neodpověděli na otázku, která z těchto zašněrování jsou taková, že budou vyhovovat našim požadavkům. S tímto problémem nám musí pomoci fyzika. [3]

Z hlediska fyziky je vázání tkaniček analogií kladkostroje. Otvory představují jednotlivé kladky. Tím lze s vynaložením relativně malé síly docílit přiblížení obou stran obuvi k sobě.

Tahovou sílu tkaničky F lze v ideálním případě považovat za konstantu. Touto silou působíme v horizontálním směru, tj. ve směru částí obuvi, které chceme spojit. Velikost celkové síly je rovna

$$F_t = nF.$$

Vertikální segmenty mají horizontální část silového působení rovnu nule, proto nepřispívají k velikosti celkové síly F_t . Pro diagonální segmenty o délce l je horizontální část působící síly rovna $\frac{F}{l}$, pokud položíme vzdálenost mezi oběma otvory rovnu 1. Odtud plyne, že nejtěsnější n šněrování nesmí obsahovat žádné vertikální segmenty. Abychom zjistili, která z těchto variant je nejsilnější, musí být součet všech $\frac{F}{l_i}$ pro $i = 1, 2 \dots n$ maximální. Tzn., že délky l_i musí být co nejmenší. Pro $n = 2$ je jediná možnost vázání, tedy je to také možnost nejsilnější. Pro $n > 2$ dostaneme obě výše zmíněné varianty šněrování. Která z nich je silnější, závisí na vzdálenosti d otvorů. Existuje určitá vzdálenost d , pro kterou jsou obě možnosti stejné. Většina obuvi tuto podmínku vcelku splňuje. Délka křížového šněrování je v obou případech stejná. Lze psát:

- pro křížení s n otvory

$$L_k = 2 + \frac{2(n-1)}{\sqrt{1+d^2}}$$

- pro cik – cak způsob

$$L_s = n + \frac{n-1}{\sqrt{1+d^2}} + \frac{1}{\sqrt{1+(n-1)^2d^2}}$$

Pro určitou vzdálenost d_n jsou obě šněrování stejně dlouhá $L_k = L_s$. Z této podmínky lze potom vypočítat pro daný počet n otvorů vzdálenost d_n :

Tabulka 1. Výpočet vzdálenosti pro daný počet otvorů.

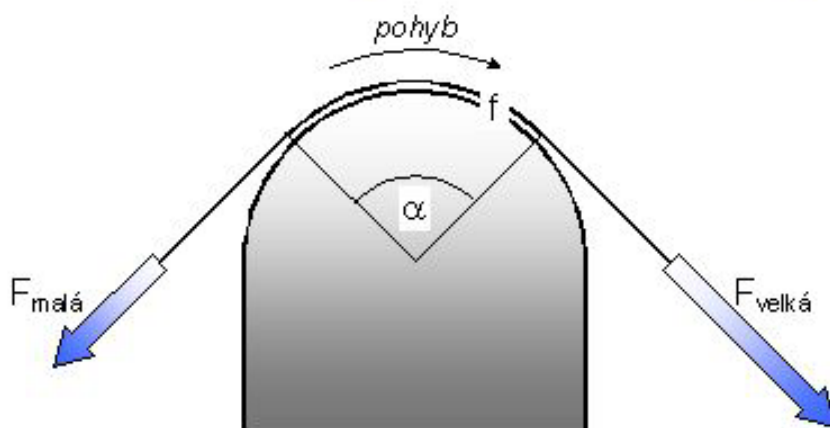
n	3	4	5	6	7	8
d_n	0,903	0,741	0,645	0,374	0,331	0,493

Úloha tření

Bez existence tření by se šněrování ihned povolilo, kdybychom jen mírně zmenšili sílu, kterou za tkaničky táhneme. V praxi dojde většinou k povolení jen první dvojice otvorů, u ostatních je spojení relativně pevné. Situace je obdobná tomu, když námořník upevní loď k molu obtočením lana kolem patníku. Třecí síla roste exponenciálně s úhlem, jedno obtočení odpovídá úhlu 360° . Třecí sílu můžeme popsat pomocí vláknového tření, které si lze představit jako tření lana, které je obtočené kolem válcové plochy, která je v klidu. Tento typ tření je popsán pomocí Eulerova vztahu:

$$\frac{F_2}{F_1} = e^{\alpha \cdot f}.$$

Slovně vyjádřeno – poměr sil v koncích lana je roven mocnině $e^{\alpha \cdot f}$, kde α je tzv. úhel opásání a f je koeficient smykového tření mezi lanem a tělesem. [5]



Obr. 4. Vláknové tření (převzato z [7]).

V podílu sil v lanech je v čitateli vždy síla, v jejímž směru se lano pohybuje. Tato síla je vždy větší než síla v opačném konci, protože kromě ní musí překonávat brzdný pasivní účinek a protože člen $e^{\alpha \cdot f}$ je vždy větší než jedna.

Pokud stáhneme obě strany boty k sobě, síla (napětí) bude působit nejen směrem k sobě, ale silové působení bude také působit směrem na nárt nohy. Už toto někdy stačí k tomu, aby obě strany obuvi držely u sebe. Opět za to odpovídají velké změny úhlu, které tkaničky svírají (mezi 90° a 180°).

Po protažení přes otvory je třeba oba konce tkaničky fixovat pomocí uzlu. Konce tkaničky kolem sebe obtočíme a potom zatáhneme. Tento poloviční uzel však sám nedrží. Až když uděláme další poloviční protiuzel a přitáhneme, dostaneme pevný uzel. Mezi konci tkaniček vzniká velká třecí síla, tahová síla na koncích tkaničky není schopna tuto odporovou sílu překonat. Je třeba si ale uvědomit, že záleží na typu tkaniček – hladké, kulaté tkaničky, které nelze stlačit, neumožní uvázat pevný uzel.

Nejběžněji používáme dva typy uzlů – křížový a tzv. granny uzel (starobabský). Oba uzly začínáme stejně, ale u starobabského uzlu druhou smyčku vedeme zezadu dopředu (nikoli zepředu). Tento rozdíl v topologii má vliv na fyzikální vlastnosti uzlů.

Křížový uzel – lze vidět symetrii mezi pevnými spodními konci a horními volnými konci tkaniček - při tahu se pohybují obě smyčky směrem k sobě a udržují úhel mezi volnými a pevnými konci 180° . V jedné rovině paralelní tkaničky jsou staženy ještě pevněji. U starobabského uzlu tkaničky při tahu směřují kolmo k tahové síle, úhel mezi pevnými a volnými tkaničkami je menší než 180° , tím se zmenší třecí síla.



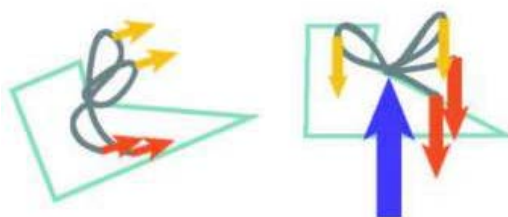
Obr. 5. Křížový a starobabský uzel.



Obr. 6. Křížový a starobabský uzel pod mikroskopem.

Samovolné otevření uzlu

Vliv na povolení uzlu má současné působení otřesu při došlápnutí obuté nohy na podložku a kmitání nohou. Při chůzi (běhu) se noha vychýlí a poté je prudce zbrzděna při došlápnutí na podložku. Pokud se podíváme na střed uzlu a konce tkaniček, setrvávají v původním pohybu směrem dopředu. Přitom mírně táhnou za uzel. Při došlápnutí ve stejném okamžiku působí na botu reakce podložky, tím také částečně na uzel, který je rozkmitán (třese se). Protože třecí síla, která drží uzel, je utvořena zahnutím tkaničky, je tato při pohybu narušena. Tím dojde k mírnému povolení uzlu. Pokud povolí mírně i třecí síla na koncích tkaniček, dochází k tahu na koncích tkaniček a procesu, který je analogický rozšňěrování bot. Tím se nepatrně prodlouží volné konce tkaniček, při dalších krocích se zvětšuje setrvačná síla, smyčky se zmenšují, proces se opakuje a uzel povolí.



Obr. 7. Směr působících sil při kmitu nohy a došlápnutí na podložku.

Tento jev lze podrobně zkoumat pomocí záznamu rychloběžnou kamerou a také na modelu v laboratoři. [4]

Návrhy žákovských laboratorních (experimentálních) úloh:

1. Naučte se vázat různé typy uzlů na tkaničkách.
2. Zkoumejte vnitřní strukturu tkaniček – pro studium využijte USB mikroskop.



Obr. 8. Struktura tkaničky pod USB mikroskopem (zvětšeno 20×).

Materiály, které jsou nejčastěji používány pro výrobu tkaniček, jsou bavlna, nylon, propylen a texturovaný polyester. Tkaničky jsou zakončeny kouskem plastu či kovovým proužkem. Tkaničky se vyrábějí ze šňůry nekonečné délky, která se zkracuje podle požadavků a zakončí se (okoncuje) např. hliníkovým „kloboučkem“. Průměr koncovky bývá o 5–10 % menší než je průměr tkaničky.

3. Určete tahovou sílu potřebnou k povolení uzlu.

Měření tahové síly:

Použitý senzor – Vernier dual force sensor

Kulatá tkanička:

Síla potřebná na dotažení při jednom otočení byla změřena $F_1 = 1,3$ N, pro dvě otočení

$F_2 = 3,7$ N, pro tři otočení $F_3 = 5,6$ N.

Plochá tkanička:

Síla potřebná na dotažení při jednom otočení byla změřena $F_1 = 1,7$ N, pro dvě otočení

$F_2 = 2,8$ N, pro tři otočení $F_3 = 4,6$ N.

Rozvázání tkaničky u tenisek (analogie experimentu Reise) – k uvolnění uzlu tahem za smyčku došlo u kulaté tkaničky silou 0,3 N, u ploché tkaničky silou 1,3 N. Tahová síla při utahování tkaničky u tenisek byla změřena $F = 11,8$ N. Pro utažení uzlu nesymetrického bylo třeba síly 9,4 N, u symetrického uzlu síly 8,3 N.

4. Změřte nášlapnou sílu (při dopadu nohy na podložku) při chůzi a běhu (využijte silovou plošinu – dodává Vernier i Pasco).
5. Dle možností využijte rychloběžnou kameru pro záznam povolování uzlů. Lze použít i chytrý telefon s touto funkcí (REDMI).
6. Proved'te rozbor záznamu rychloběžné kamery – pokud není k dispozici vlastní záznam, lze využít videa na internetových stránkách věnovaných této problematice (viz [8]).
7. Doplnující úkoly – studium historie výroby tkaniček, matematika uzlů, uzly v loďařství, horolezecké uzly atd.

Závěr

Výše popsaný námět na využití fyziky v každodenním životě může vést žáky k provádění celé řady jednoduchých experimentů. Mohou také využít svých moderních mobilních zařízení. Pokusy jsou vhodné pro žáky základních i středních škol – od kvalitativních experimentů a pozorování lze přejít až ke kvantifikovaným úlohám, které lze provádět ve formě laboratorních prací.

Literatura

- [1] Audoly, B., Clauvelin, N., Neukirch, S.: Elastic knots. Institut Jean le Rond d'Alembert, UMR 7190: CNRS & Université Pierre et Marie Curie, Paris, France, 2007. (dostupné on-line <http://www.lmm.jussieu.fr/~audoly/publi/ACNKnots-07.pdf>)
- [2] Jawed, M.K., Dieleman, P., Audoly, B., Reis, P.M.: Untangling the mechanics and topology in the frictional response of long overhand elastic knots. Dept. of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, USA, 2015. (dostupné on-line <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.115.118302>)
- [3] Schlichting, H.J., Ucke, Ch.: Zur Physik des Schuheschnürens. DOI: 10.1002/piuz.201901497.
- [4] Daily-Diamond, Ch.A., Gregg, Ch.E., O'Reilly, O.M.: The roles of impact and inertia in the failure of a shoelace knot. Department of Mechanical Engineering, University of California at Berkeley, Berkeley, CA 94720-1740, USA. OMO'R, 0000-0003-3773-4967 (dostupné on-line <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspa.2016.0770>)
- [5] <https://onlineschool.cz/statika/vlaknove-treni/>
- [6] <https://www.fieggen.com/shoelace/lacingmethods.htm>
- [7] <https://slideplayer.cz/slide/2757503/>
- [8] https://figshare.com/collections/Supplementary_material_from_The_roles_of_impact_and_inertia_in_the_failure_of_a_shoelace_knot_/3738116

Zážitková pedagogika ve fyzice

Zuzana Horálková

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

V příspěvku jsou představeny nově vytvořené aktivity, které vycházejí z teoretického rámce zážitkové pedagogiky (zážitkového učení) a lze je využít ve výuce fyziky. Aktivity se dotýkají jak "běžného" učiva, tak témat, která se často do hodin fyziky nevejdou – např. fyzika jako věda či zamyšlení žáka nad sebou či světem kolem něho. Aktivity vznikly jako součást bakalářské práce a jsou včetně všech dalších materiálů nutných k realizaci ve výuce veřejně dostupné (viz [1]).

Zážitková pedagogika

Zážitková pedagogika je pedagogický směr, který využívá zážitky z aktivity k tomu, aby se člověk něco naučil – o sobě, o skupině, o světě... Tedy zážitek znamená mnohem více než pouhé zpestření výuky, není cílem sám o sobě – je prostředkem pro učení, takovým sbíráním dat pro následnou práci s nimi.

Pro znázornění procesu učení se využívá *Kolbova cyklu učení* (viz obr. 1), který dělí proces učení do čtyř částí: zážitek, ohlédnutí se, zobecnění a aplikace. Často bývá zobrazován ne jeden ukončený cyklus, ale spirála, pro naznačení faktu, že proces učení není ukončený, že se člověk neustále učí novému a vstupuje do nového zážitku už s rozšířenými zkušenostmi.



Obr. 1. Kolbův cyklus učení.

Příklad dvou aktivit

Popisující fyzika

Tato aktivita je vhodná spíše do mimoškolního prostředí (např. na školní výlet). Žáci ve skupinách vyrábí stroje, které pak jiná skupina zkoumá. (Dostanou konkrétní zadání pro výrobu a materiál je jim poskytnut.) Při přehlídce strojů dojde k porovnání toho, jak a s jakým účelem byl stroj vyroben, a toho, co je možné o něm zjistit bez možnosti doptat se

skupiny, která ho vyrobila. Aktivita žáky skrze vlastní autentický zážitek a následnou reflexi vede k rozlišení mezi otázkami směřujícími k popisu a k vysvětlení konečného smyslu. Žáci si mohou sami vyzkoušet, že stejně jako oni nebyli schopni zodpovědět vše ohledně zkoumaného stroje, ani fyzika neodpovídá na všechny otázky. Více viz [2].

Zaměřeno na detaily – školní verze

Žákům je zadáno dívat se okolo sebe a nalézt během dvou týdnů „něco z optiky“, to vyfotografovat a daný jev popsat. Cílem je propojit školní učivo s reálným světem, rozvíjet dovednost všimnout si a být „tady a teď“. Jevy hledá každý žák samostatně, aktivita je zakončena společnou výstavou a diskusí. Podrobnosti viz [3].

Dále uvádím pro ilustraci fotografie (viz obrázky 2, 3 a 4) s popisky, které mi odevzdali žáci Gymnázia Oty Pavla při uvedení této aktivity.



Obr. 2. Kapky vody.

„Kapky vody na skle slouží jako spojná čočka. Fotka není úplně zaostřená, ale když se podíváme na jednotlivé kapky vody, uvidíme obrácený obraz. Na některých to opravdu není úplně vidět, ale podle barvy to je možné poznat. V pozadí jsou dole zelené stromy a nahoře modrá obloha, ale v kapce je to přesně naopak.“



Obr. 3. Odraz od skleněné tabule.

„Skleněná tabule většinu světla propouští, ale určitou část odráží. Díky tomu můžeme vidět odraz postavy ve skle. (...) Vidíme, jak se ruka zrcadlí skoro tak, jako by se dvě postavy dotýkaly. Obraz je stranově obrácený a má stejnou velikost jako zobrazovaný předmět. Tím, že je tabule zcela rovná, chová se jako rovinné zrcadlo (...). Výloha, ve které byla fotografie pořízena, byla z dvojitého skla, proto jsou vidět dva vzájemně posunuté odrazy.“



Obr. 4. Stín vržený lampou.

„Jak je vidět, světlo z lampy se promítá na stěnu ve zvláštních obrazcích. (...) Je to něco jako kdybychom rozsvítili žárovku v duté malině – povrch ze spousty malých kuliček dělá takovýto efekt. Jiný efekt bychom viděli u žárovky se stínítkem, které by mělo tvar obyčejné hladké borůvky.“

Odkazy

Téma jsem zpracovala v bakalářské práci [4]. Jestli vás zaujalo, doporučuji k nahlédnutí. Obsahuje teorii, podrobnosti k zde zmíněným aktivitám i další aktivity v tomto příspěvku nezmiňované, dále metodologickou část pro uvádění aktivit, ale i zamyšlení nad smyslem vzdělávání.

Aktivity (uvedené v tomto příspěvku i čtyři další) jsou v přehlednější podobě dostupné na stránkách FyzWebu [1].

Literatura

- [1] Horálková Z.: *Aktivity zážitkové pedagogiky ve fyzikálním vzdělávání*. [cit. 10. 9. 2020]. Dostupné online: <http://fyzweb.cz/materialy/zazitkovka/>
- [2] Horálková Z.: *Aktivity zážitkové pedagogiky ve fyzikálním vzdělávání, Popisující fyzika* [cit. 10. 9. 2020]. Dostupné online: <http://fyzweb.cz/materialy/zazitkovka/3-Popisujici-fyzika.pdf>.
- [3] Horálková Z.: *Aktivity zážitkové pedagogiky ve fyzikálním vzdělávání, Zaměřeno na detaily – školní verze* [cit. 10. 9. 2020]. Dostupné online: <http://fyzweb.cz/materialy/zazitkovka/3-Popisujici-fyzika.pdf>.
- [4] Horálková Z.: *Využití zážitkové pedagogiky ve výuce fyziky*. Praha, 2020. Bakalářská práce (vedoucí Koupilová Z.). Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta. [cit. 10. 9. 2020]. Dostupné online: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/222468/>.

Zajímavosti ze Science on Stage 2019 očima české výpravy

Jitka Houfková¹, Jana Havlíková Bittnerová², Zdeněk Hubáček³, Věra Koudelková², Kateřina Lipertová⁴, Dana Mandíková^{2, 5}, Jitka Soukupová⁶, Peter Žilavý^{2, 7}

¹KDF MFF UK, ²iQLANDIA Liberec, ³Gymnázium Kroměříž, ⁴Církevní gymnázium Plzeň, ⁵Mensa gymnázium, ⁶Gymnázium Stříbro, ⁷Gymnázium Pierra de Coubertina Tábor

Abstrakt

Účastníci mezinárodního festivalu učitelů přírodovědných předmětů Science on Stage 2019 v Portugalsku ve společném kombinovaném příspěvku prezentují vybrané pokusy, které je na festivalu zaujaly nebo které vzbudily velký ohlas, když je tam sami prezentovali.

Co je Science on Stage

Science on Stage [1], [2] je evropská iniciativa určená pro povzbuzení učitelů z celé Evropy ke sdílení osvědčených postupů ve výuce přírodovědných předmětů. Hlavním cílem Science on Stage je zlepšit výuku přírodních věd a motivovat tak více žáků ke kariéře v oblasti vědy a techniky.



Kromě akcí probíhajících v jednotlivých zemích organizuje Science on Stage řadu mezinárodních aktivit. Učitelé se přímo podílejí na tvorbě výukových materiálů, mezinárodních projektech a workshopech a vzájemně vzdělávají sebe i své žáky. Největší událostí jsou mezinárodní festivaly Science on Stage, na kterých se jednou za dva roky setkávají učitelé přírodních věd a matematiky od mateřských školek výše z celé Evropy a z Kanady, a během čtyř dní se dělí o své zkušenosti.

V roce 2019 se mezinárodní festival konal na přelomu října a listopadu v portugalském Cascais. Postery jednotlivých účastníků si můžete prohlédnout na [3]. Učitelé a lektori, kteří na něm reprezentovali ČR, byli vybráni odbornou porotou na České národní přehlídce Science on Stage, která se konala v říjnu 2018 tradičně v Liberecké iQLANDII, a v Portugalsku navázali na úspěchy českých reprezentantů na předchozích festivalech.

Projekt Jitky Soukupové Cestujeme se slavnými vědci a objeviteli byl oceněný mezinárodní porotou a zařazen mezi Highly Commended Projects.

Projekt Dany Mandíkové Od kura k turu a jiné zvukohraní byl mezinárodní porotou vybrán k předvedení při plenární části programu během festivalu.

Zdeněk Hubáček vedl na festivalu úspěšný workshop Vysoký a nízký tlak.

Všech sedm stánků našich reprezentantů bylo po celou dobu festivalu hojně navštěvovaných a doporučovaných ke zhlédnutí ostatním účastníkům.

Jitka Houfková byla znovu zvolena do mezinárodního řídicího výboru Science on Stage a dále v něm pracuje jako pokladník.



na Science on Stage festival 2022 v Praze.

Největší úspěch se povedl týmu z Elixíru do škol [4] zastoupenému Petrou Proškovou a Kateřinou Mlčkovou, který jednoznačně porazil Kazachstán a získal organizátorství příštího Science on Stage festivalu. Od 24. do 27. března 2022 se tak díky nim můžeme těšit na Science on Stage festival v Praze.

Informace o Science on Stage ČR naleznete na [2], o všech mezinárodních aktivitách se dočtete na [1], kde naleznete i materiály pro učitele vytvořené v rámci Science on Stage a odkazy na řadu různých webinářů, které učitelé zapojení do Science on Stage pořádají a které jsou zdarma přístupné všem zájemcům.

Chcete-li vidět podobné pokusy, jako jsou ty popsané dále, a mnoho dalšího, přihlaste se

Praktická ukázka jedné z metod hledání exoplanet (Jana Havlíková Bittnerová)

Na stánku učitele fyziky Ole Ahlgrena z dánského Roende si ostatní učitelé mohli kromě jiného prohlédnout velmi názorný pokus týkající se výzkumu exoplanet.

Jednou z nejúspěšnějších metod hledání planet u jiných hvězd je tzv. tranzitní metoda. Tato metoda využívá poklesu intenzity světla, ke kterému dojde, pokud planeta projde před hvězdou z pohledu pozorovatele. Tento jev pomohl objevit astronomům stovky exoplanet a celkem jednoduše jej lze demonstrovat i ve třídě.

Potřebné pomůcky: gramofon (případně jiná otočná deska s konstantní rychlostí otáčení), zdroj světla, modely planet (různě velké kuličky upravené tak, aby mohly rotovat na otočné desce), čidlo intenzity světla (luxmetr), datalogger nebo počítač, držáky k upevnění zdroje světla a luxmetru

Provedení pokusu: Zdroj světla umístíme pomocí držáku na střed otočné desky. Je potřeba zajistit, aby se přívodní kabel nezamotal do ostatních součástí pokusu. Zdroj světla musí být na stálém místě. Jako zdroj světla by šlo využít také světelnou baterku, ideálně takovou, z níž se šíří světlo v co největším úhlu.

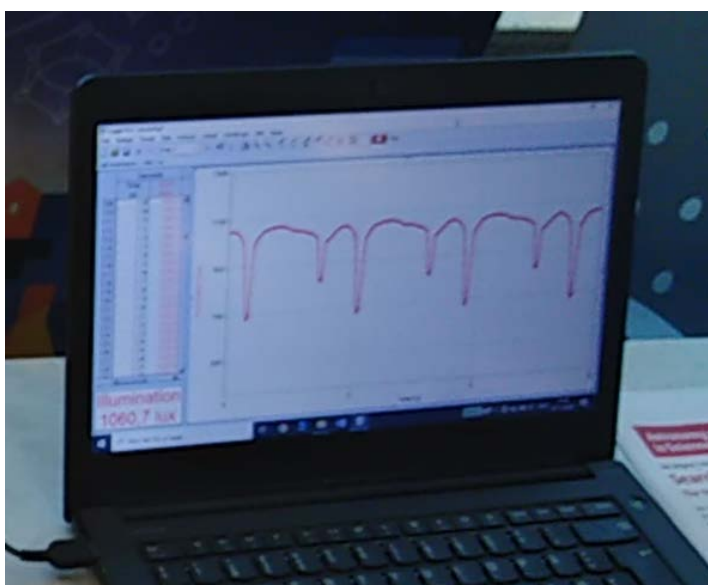
Na kraj otočné desky umístíme model planety. Ten je tvořen kuličkou na špejli a na stabilizačním stojánku (např. špalík dřeva). Planet může být více s různou velikostí. Úhlová rychlost otáčení bude při tomto uspořádání experimentu u všech „planet“ stejná.

Vedle otočné desky umístíme čidlo intenzity světla opět do stojanu, abychom zajistili stálé podmínky měření. Výška umístění luxmetru by měla přibližně odpovídat výšce, v níž obíhají planety.

Rozsvítíme žárovku, roztočíme otočnou desku a můžeme zahájit měření.



Obr. 1. Uspořádání experimentu.



Obr. 2. Poklesy intenzity osvětlení v zaznamenaném grafu.

Při měření je zaznamenávána a do grafu průběžně vykreslována intenzita osvětlení. Při správném uspořádání pokusu jsou na průběhu intenzity osvětlení jasně viditelné pravidelné poklesy. Protože při tomto měření byly použity 2 modely planet, vidíme na obr. 2 střídání poklesů s různou intenzitou. Menší pokles odpovídá menšímu modelu planety a větší pokles značí průchod větší planety před hvězdou.

Možné modifikace experimentu:

- jedna planeta – základní vysvětlení principu měření
- porovnání 1 obíhající planety malé a 1 obíhající planety větší – porozumění
- stejně velké planety v různé vzdálenosti od hvězdy – vliv vzdálenosti na pokles intenzity osvětlení
- více planet – složitější graf a jeho nutná interpretace žáky, hledání minim intenzity osvětlení a period poklesů
- luxmetr umístěný v různé vzdálenosti od zdroje světla – vliv vzdálenosti pozorovatele

Při všech různých variantách experimentu mohou žáci předpovídat výsledek a následně porovnat svou předpověď s výsledkem měření.

Technicky by se dal experiment vylepšit o různou úhlovou rychlost otáčení planet v různé vzdálenosti od hvězdy nebo o přidání měsíců k planetám. Pro základní porozumění principu tranzitní metody výzkumu exoplanet je však zcela postačující základní experiment.

Rakety a projektily (Jitka Houfková)

Z raketového projektu STEM učení s projektily Jane Shimizu, prvostupňové učitelky z Irska, se mi nejvíc líbily gumičkové rakety z termoizolačních návleků na trubky Mirelon. Za pomoci izolepy je k předku rakety připevněna vystřelovací gumička. V zadní části se trubka křížem nařízne a do zářežů se vloží směrová křídélka z papíru, která se před vypadnutím zajistí spodním kroužkem izolepy. Rakety Jane vystřelovala ze startovací rampy s úhloměrem a olovničkou z nitě a velkého korálku, díky kterým je možné přibližně odhadovat úhel, pod kterým je raketa vystřelena.



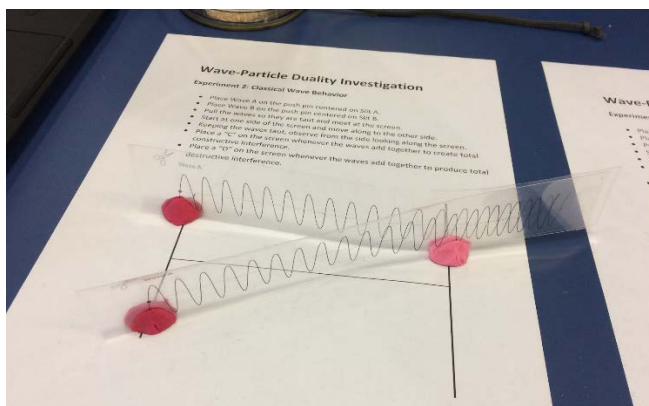
Obr. 3. Rakety z Mirelonu.



Obr. 4. Odpalovací rampa.

Interference na průsvítkách (Zdeněk Hubáček)

Pochopení konstruktivní a destruktivní interference ve dvojštěrbinovém pokusu je pro výklad interference klíčové. Kreslení situačních obrázků je poměrně zdouhavé a někdy se nepodaří dodržet vlnové délky. Velmi se mi proto na SonS líbila varianta s průsvítkami, která je použitelná ke kvalitativnímu výkladu i na úrovni základní školy. Použití k výkladu dualismu částic, které je na obrázku, je samozřejmě použitelné až na vyšším stupni.

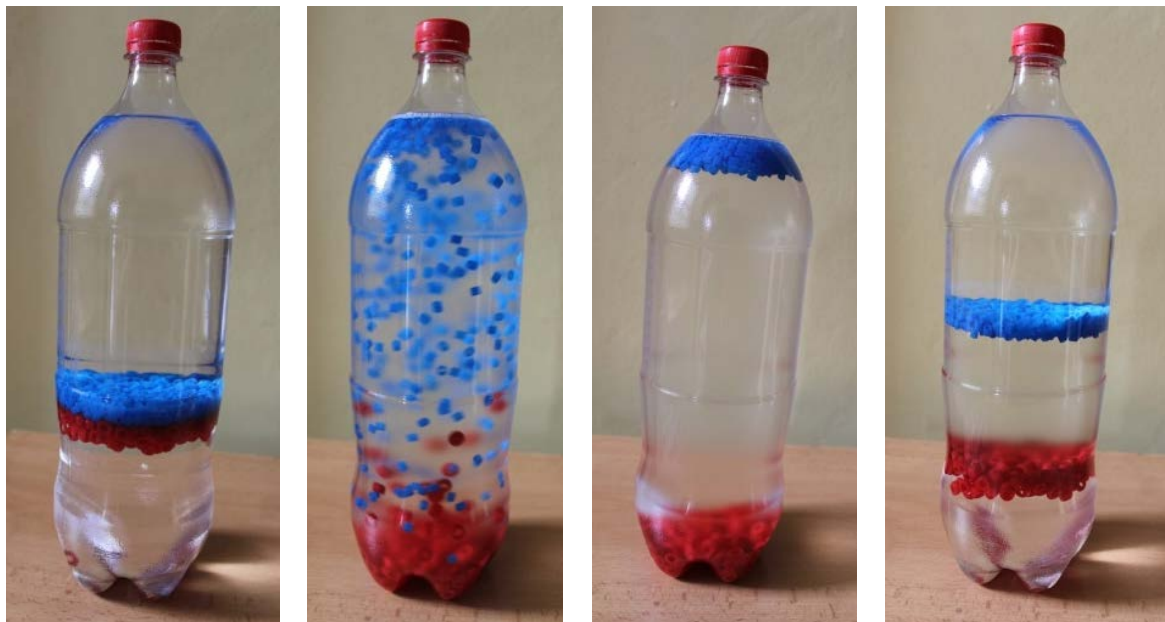


Obr. 5. Místo, kde vzniká interferenční minimum.

Po zájemce jsem připravil šablony vytvořené pomocí Graph, které se vytisknou na slaidové fólie laserovou tiskárnou. Šablony jsou ke stažení na [5]. Úkolem pro žáky bude nalezení a vyznačení interferenčních maxim a minim na stínítku. Pokud vyznačíme optické dráhy, můžeme spočítat i násobky vlnových délek, které jim přísluší.

Polydensity bottle (Kateřina Lipertová)

Na Science on Stage se jezdí proto, aby člověk potkal spoustu zajímavých lidí a nakoukal všechny ty úžasné fyzikální (i jiné) vychytávky, kterými pak ohromí své žáky a kolegy. Ani v Portugalsku tomu nebylo jinak. Moc se nám líbily pokusy, které přivezli kolegové z Irska. A „polydensity bottle“, kterou prezentoval Seán Kelleher, byla přesně ta věc, kterou jsme si všichni hned chtěli taky vyrobit. Po návratu domů jsem výrobu svěřila svému bývalému studentovi, Danu Svobodovi. A dobře jsem udělala. Letos už je studentem VŠCHT, a tak k původnímu receptu přidal ještě poznámky, na co si dát při výrobě pozor, a k fyzikálnímu popisu ještě popis chemický.



Obr. 6. Jednotlivé fáze rozložení korálků v polydensity bottle.

Příprava

1. Připravíme si stejný objem destilované vody a čistého isopropanolu (kvalita p.a., čistota >99,9 %), NaCl, „zapékací korálky“, „pony beads“, PET lahev.
2. V připravené vodě rozpustíme čistý NaCl v poměru 6 g NaCl na 30 ml vody.
3. Nejprve nalijeme do lahve trochu isopropanolu a přilijeme trochu roztoku NaCl (cca 1/8 objemu isopropanolu a 1/8 roztoku NaCl). Při příliš vysoké koncentraci může dojít ke vzniku bílé sraženiny. Pokud se sraženina objeví a nepodaří se nám ji rozmíchat, je potřeba roztok soli zředit.
4. Postupně přilijeme zbytky obou kapalin do lahve. Nad kapalinami ponecháme vzduchovou kapsu kvůli snazšímu promíchání obou kapalin.

5. Přidáme dostatečný počet korálků obou druhů. Oba typy korálků se musí lišit svojí hustotou. Prvním typem (nižší hustota) jsou tzv. „zapékací korálky.“ Druhým typem (vyšší hustota) jsou tzv. „pony beads.“
6. Lahv uzavřeme. Pořadí vrstev od hladiny ke dnu je isopropanol, „zapékací korálky,“ „pony beads,“ slaná voda.
7. Lahv protřepeme a postavíme na stůl. Zapékací korálky vyplavou k hladině, „pony beads“ klesnou ke dnu.
8. Po několika minutách se opět korálky „sejdou“ uprostřed lahve a systém se vrátí do původního stavu (viz bod 6).

Možné problémy při výrobě a co s nimi

- V případě, že koncentrace isopropanolu je znatelně nižší než 99,9%, spočteme objem čistého isopropanolu a zbytek budeme pro naše potřeby považovat za vodu – připravíme si tedy jen tolik vody navíc, aby byly po smíchání objemy vody a isopropanolu shodné.
- Anglický návod používá zavařovací sůl, „pickling salt“ nebo „kosher salt.“ My používáme čistý NaCl (p.a., čistota >99,9 %), protože tím zamezíme mechanickým i chemickým nečistotám, které mohou vést k zakalení směsi. Pokud se rozhodnete použít obyčejnou kuchyňskou sůl, vyberte z výše jmenovaného důvodu sůl bez obsahu jodu. Fluor by neměl být závadný.
- Na pomoc si můžete od vyučujících chemie zapůjčit magnetickou míchačku, která vás možná zaujme i sama o sobě.
- Po několika dnech se může dostavit nechtěný efekt, kdy se hustší korálky přestanou zvedat ode dna. Tento problém se nám podařilo vyřešit velice snadno a to přidáním malého množství NaCl.

Pokus očima fyzika

Lahv je zajímavou variantou známého „hustotního sloupce“. V našem případě trik spočívá v tom, že obě kapaliny rozdílných hustot lze snadno promíchat a zároveň se snadno oddělují. Na začátku pokusu solný roztok tvoří spodní vrstvu, která má vyšší hustotu než isopropanol. Oba typy korálků mají hustotu větší než isopropanol, ale menší než solný roztok. Když s lahví zatřepeme, kapaliny vytvoří emulzi, jejíž hustota je větší než hustota „zapékacích korálků,“ ale menší než hustota „pony beads.“ Proto „zapékací korálky“ vystoupají na hladinu, zatímco „pony beads“ klesnou ke dnu. Poté se obě kapaliny začnou postupně oddělovat a vše se vrátí do původního stavu.

Pokus očima chemika (verze VŠCHT, jen pro otrlé)

Uplatňujeme zde metodu vysolování. Ta patří již dlouho ke známým metodám získávání organických látek, kdy se jejich rozpustnost ve vodní fázi znatelně sníží a dojde k jejich vyloučení do organické fáze (nebo jako v tomto případě o oddělení vodní a organické fáze). (Pozn.: Obdobným způsobem se soli využívá také k opačnému efektu a to ke zvýšení rozpustnosti některých organických látek.) Ač je tato metoda využívána již dlouho, patrně se jí nevěnovalo tolik pozornosti, kolik by si zasloužila, a proto mechanismus stále ještě není úplně definován. Zjednodušeně řečeno se však hovoří o posílení hydrofobních

vlastností organických látek skrze vzájemné odpuzování elektronů a interakce s náboji koncentrovanými v iontech soli (zejména anionty), které vznikají rozpuštěním soli ve vodě. Z hlediska entropie je oddělení obou fází (tj. vodní a organické) naprosto nesmyslné. Oddělení je umožněno právě zvýšením hydrofobních vlastností látek, což vede ke shlukování molekul organických látek a jejich následnému vytlačení z vodného prostředí. Navíc analogické uspořádání zahrnující molekuly organických látek i ionty soli s vysokou koncentrací náboje, je z entropického hlediska ještě nepřipustnější. Dalším efektem, který se zde projevuje, je takzvaná solvatace iontů, kde dochází k interakci mezi rozpouštěnou látkou (v našem případě ionty soli) a rozpouštědlem (v našem případě voda). Rozpouštědlo obklopí rozpouštěnou částici a na základě elektrostatických interakcí vytvoří „obal“ kolem částice, což vede ke stabilizaci roztoku – jedná se tedy o jistou formu shlukování a snižuje se tím počet molekul rozpouštědla, které mohou interagovat s organickou látkou za pomoci nevazebných interakcí (např. vodíkové můstky, Van der Waalsovy síly aj.).

Reference a doporučené odkazy: [6] až [12]

Lodička na plynu (Věra Koudelková)

Inspirace k experimentu pochází od Patrika Claese z belgické organizace Spelenderwijzer (viz [13]), která pořádá vědecká představení pro děti i veřejnost.

Experiment je poměrně známý: alobalová lodička plove v nádobě naplněné plynem (video dostupné např. na [14]). Používaný plyn je SF_6 , který je ale velmi špatně dostupný (a pro běžné použití i drahý).

Podstatou experimentu tak, jak ho ukazoval Patrik Claes, je jiný používaný plyn: 2,3,3,3-Tetrafluoropropen, který byl vyvinut jako ekologičtější náhrada za chladivo do automobilových klimatizací. Prodává se pod označením PRF 4-44 Green, lze ho koupit v obchodech s elektronikou (často pod označením „stlačený vzduch“ určený pro čištění elektroniky od prachu viz např. [15]). Jeho hustota je přibližně 4× větší než hustota vzduchu.

Lodička je vyrobena z izotermické folie (lze koupit v lékárnách). Je potřeba, aby byla poměrně velká – lodička na fotografii má podstavu přibližně 12×18 cm a výšku asi 7 cm.



Obr. 7. Lodička a bubliny plovoucí na plynu.

Lze ukázat i další jevy, na které jsme zvyklí u plování na vodě – po zatlačení se zpátky vynoří, pokud ji zatížíme (např. tím, že do ní přidáme stejný plyn), klesne ke dnu. Velmi efektní je plování bublin z bublifuku – ty vypadají, že se vznáší uprostřed prázdné nádoby.

Literatura: [13] až [15]

Od kura k turu – kokrhající kelímek, bučící kbelík (Dana Mandíková)

Tento pokus se hodí k oživení výuky akustiky. Je finančně nenákladný. Žákům se velmi pravděpodobně bude líbit a mohou zkoušet podobné zdroje zvuku vyrábět i doma.

Pomůcky: plastové kelímky a kyblíčky různých velikostí (např. od jogurtů), velký plastový odpadkový koš (lze koupit např. v Bauhasu), hřebíček, kladívko, jutový provázek, kus hadříku, voda.

Provedení: Propíchneme dno kelímku a protáhneme jím provázek.

Na vnější straně dna provázek zajistíme větším uzlíkem, aby se při silnějším tahu nevyvlékl.

Držíme kelímek v ruce, do prstů vezmeme mokrý hadřík, stiskneme provázek a přejíždíme směrem dolů. Pak uděláme totéž s větším kelímkem, kyblíčkem a velkým kyblíkem. Budou se ozývat zajímavé zvuky.



Obr. 8. Od kokrhajícího kelímku k bučícímu kbelíku.

Melounová malá věda (Jitka Soukupová)

Inspirováno projektem italské učitelky na 2. stupni ZŠ Marie Teresy Gallo „How much maths there is in fruit and vegetables!“ Poster k projektu naleznete na [3] v části Low cost and recycled science.

1. Melounová matematika a fyzika

Historie:

- Vodní melouny byly pěstovány v Egyptě již před více než 5 000 lety. Egypťané dokonce zobrazovali meloun na stěnách svých hrobk a nechávali melouny s mrtvými. Měly sloužit k tomu, aby se jimi mrtví živili při své cestě podsvětím.
- Vodní melouny se rozšířily z Afriky do Číny již v 10. století. Dnes je Čína největším pěstitelem melounů.
- Japonci na konci 20. století vypěstovali meloun ve tvaru krychle. Jak to udělali? Umístili zrající meloun do krychlové skleněné krabice, takže meloun při dozrávání vyplnil prostor této krabice.



Obr. 9. Melouny ve tvaru krychle.

zdroj obrázku: <https://exoticke-ovoce.coajak.cz/>

Matematika a fyzika: Určení objemu, hmotnosti a hustoty melounu

Meloun je ideální pomůcka pro měření a určování fyzikálních veličin různými metodami. Pustíme se do toho.

Pomůcky:

- meloun (co nejvíce kulového tvaru)
- tenký provázek nebo nit
- dvě čtvrtky
- délkové měřidlo
- váha
- kbelík, voda
- odměrný válec
- čtvrtka, izolepa, fixy a nůžky



Obr. 10. Pomůcky k určení objemu, hmotnosti a hustoty melounu.

Navrhované úkoly:

1. určete poloměr melounu z jeho průměru a z jeho obvodu
2. určete objem melounu z jeho poloměru a s využitím Archimedova zákona
3. určete hmotnost melounu
4. zjistěte hustotu melounu

2. Melounová chemie

Informace z internetu o pH melounu:

- Řada lidí se mylně domnívá, že meloun jako ovoce je dostatečně kyselé, což brání množení bakterií. Faktem však je, že pH většiny melounů je zásadité.
- Vodní meloun je označován jako jedna z vhodných potravin podávaných v malém množství při překyselení organismu.

Chemie: Určení pH melounu

Pomocí acidobazického indikátoru z červeného zelí, pomocí indikátorového papírku a pomocí pH metru určete pH melounové dužiny.

Pomůcky:

- dužina melounu
- červené zelí
- tyčový mixér, nůž, hrnec
- pH papírky
- průhledná nádoba
- filtrační papír nebo jemné sítko nebo gázu
- pH metr



Obr. 11. Určení pH melounu.

Navrhované úkoly:

1. vytvořte výluh z červeného zelí
2. rozmixujte dužinu melounu a přelijte roztok přes filtrační papír, husté sítko nebo gázu
3. určete třemi metodami pH melounu a ověřte tím správnost internetových informací o pH melounu

3. Melounová matematika

Zajímavosti:

- Meloun – slovo pochází z řečtiny a znamená „velké zralé jablko“.
- Meloun je druh plodové zeleniny patřící do čeledi tykvovitých, běžně ale bývají plody se sladkou dužinou řazeny mezi ovoce. Z botanického hlediska je meloun bobule.
- Meloun je složen z povrchové části, která chrání měkkou vodnatou dužninu uvnitř plodu. U vodních melounů je velká část vnitřního tělesa tvořená vodou, ta může dosahovat 90 až 93 %.

Matematika: Meloun a procenta

Určete experimentálně, jakou část melounu tvoří dužina, kůra a semínka. Výsledek vyjádřete v procentech. Ti zdatnější z vás mohou přidat i kruhový diagram (na počítači – Excel, na papíře vlastní – pravítko, kružítko a pastelky).

Pomůcky:

- meloun
- nůž
- miska na semínka
- talíř na dužinu
- talíř na kůru
- digitální váha

Navrhované úkoly:

1. zvažte celý meloun
2. zvažte samotné talíře a mističky
3. rozkrojte meloun na díly
4. na jeden talíř vykrájejte veškerou dužinu, na druhý talíř kůru
5. z dužiny vyberte veškerá semínka a vložte je do mističky
6. určete hmotnost dužiny, kůry a semínek
7. vyjádřete procentuálně zastoupení kůry, dužiny a semínek v melounu
8. sestrojte kruhový diagram pro danou situaci

4. Melounové vaření a tvoření

Meloun jsme již použili jak pro fyzikální a chemické experimentování a měření, tak pro matematické výpočty, tak teď pár nápadů, jak si na něm můžeme pochutnat. I zde máme nepřeberné množství možností od melounu čerstvého, přes melounový salát, limonádu či nanuk. A ani oddělená semínka nepřijdou nazmar.

Víte, že ...:

- Druhy melounů se rozlišují podle barev, tvarů, struktury jejich slupky nebo podle semínek. Na celém světě existuje více než 1200 druhů melounů, které jsou pěstovány v asi 100 zemích světa. Je to dáno tím, že melounu se poměrně dobře daří v širokém rozmezí teplot. Meloun můžete tedy mít jak z Maroka, tak třeba z Kazachstánu.

- V některých zemích (jako třeba v Japonsku nebo Číně), je hodně starou tradicí dát někomu meloun jako dárek. Prý se tak předává láska a přátelství.

Pracovní činnosti: Recepty nebo výrobky z melounu

Navrhované úkoly:

Navrhněte a realizujte a vyfoťte vlastní melounové recepty nebo výrobky z jednotlivých částí melounu.

Jeden z melounových receptů:

Melounový salát

Pomůcky:

- 1 kg melounu
- 250 g sýru feta (nebo balkánský sýr)
- polovina červené cibule
- hrst čerstvé rukoly
- hrst čerstvé bazalky nebo máty (máta je pro někoho příliš výrazná)
- lžíce olivového oleje
- špetka soli a pepře



Obr. 12. Dobroty z melounu.

Postup:

1. meloun zbavíme pecek a nakrájíme na větší kostky
2. cibuli oloupeme a nakrájíme na co nejtenčí plátky
3. bazalku nebo mátu a rukolu propereme a osušíme a pokrájíme
4. sýr nakrájíme na menší kostičky nebo nadrobíme
5. vše smícháme v míse, mírně osolíme a opeříme a zakápneme olivovým olejem
6. salát necháme odležet a vychladit v chladničce

Dívej se, přemýšlej, odemkni! – Pevnost GimLit (Peter Žilavý)

Na workshopu slovinských kolegů z Gimnazija Litija jsme se přenesli do říše pohádek. Nejdříve jsme přijali roli prince, který chce zachránit princeznu před děsivým drakem. Drak ji vězní na svém hradě plném fyzikálních a technických tajemností za dveřmi (na obr. 13 vlevo), které nelze žádným klíčem otevřít.



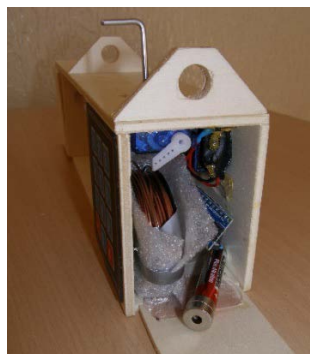
Obr. 13. Tajemný hrad s dveřmi bez klíče, za kterými je uvězněna princezna.

Aby mohl princ vůbec vstoupit do hradu, musí získat tajný kód z mikrofilmu. Kód je tak malý, že jej nelze okem (ani s použitím brýlí) přečíst. Princ si proto musí vyrobit lupu pomocí podložního sklíčka k mikroskopu a kapky vody. Zvětšení však není pořád dostatečné, proto princ musí sklíčko s kapkou vody otočit (kapka pod sklíčkem visí na skle díky povrchovému napětí) a na druhou stranu sklíčka naproti první kapce umístit druhou (viz obr. 14). Dvě kapky vody na obou stranách sklíčka už zvětšují dostatečně a kód lze přečíst.



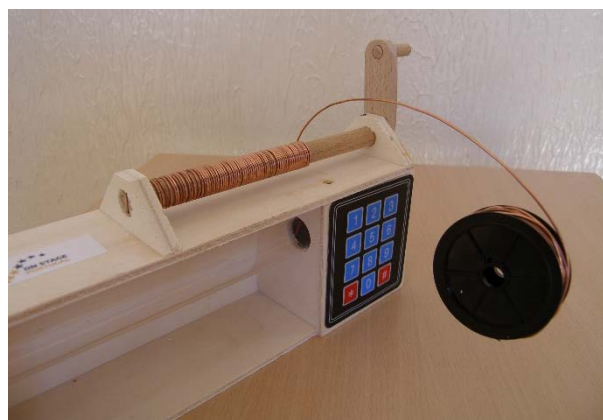
Obr. 14. Lupa z podložního sklíčka k mikroskopu a dvou kapek vody.

Po zadání kódu u vstupní brány hradu (na obr. 13 vpravo) stráž – mikropočítač tento kód rozpozná a spustí servomotor, který otevře bránu, za kterou se skrývají podivné věci (viz obr. 15).



Obr. 15. Podivné věci ukryté za vstupní bránou hradu.

Po otevření brány se objeví klubko měděného drátu bez izolace, monočlánek, dva permanentní neodymové magnety a začátek průhledného tunelu (je vidět na obr. 13), který vede z prostoru za vstupní branou směrem k cele, kde je uvězněná princezna. Končí však na vnější straně cely. V tunelu je zasunutá dlouhá dřevěná tyč opatřená na konci klikou. Princ musí tyč s klikou zasunout do otvorů na střeše hradu a pomocí ní vytvořit z měděného drátu dlouhou dutou cívku („pružinu“ – viz obr. 16). Tak dlouhou, aby po mírném roztahení závitů dosáhla od začátku ke konci průhledného tunelu.



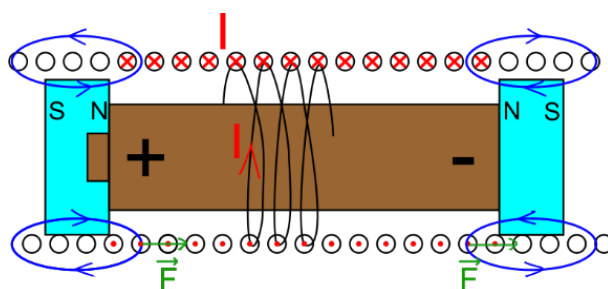
Obr. 16. Navíjení duté cívky.

Správným nasazením permanentních magnetů na konce (póly) monočlánku vznikne magnetický vláček. Po jeho vložení do vodivé pružiny se tento vláček sám pohybuje k jejímu druhému konci (obr. 17).



Obr. 17. Magnetický vláček uvnitř pružiny (cívky) z měděného drátu.

Magnety je potřeba nasadit tak, aby jejich stejné póly (například severní a severní) směřovaly k monočlánku. Situaci znázorňuje obr. 18.



Obr. 18. Princip činnosti magnetického vláčku.

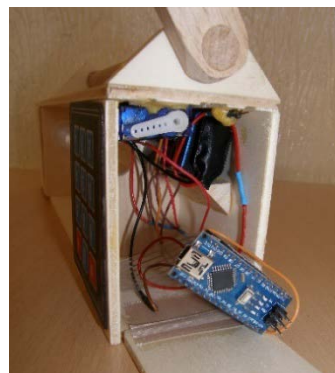
Elektrický proud (z kladného do záporného pólu monočlánku) protéká závity pružiny, které se nacházejí mezi vodivými permanentními magnety nasazenými na „konce“ monočlánku. Modrou barvou je v obrázku naznačeno magnetické pole permanentních magnetů a zelenou barvou je znázorněna magnetická síla (přesněji její složka rovnoběžná s osou pružiny) působící na závit (s proudem) v magnetickém poli magnetů (použito Flemingovo pravidlo levé ruky). Reakce na tuto sílu ode všech závitů pružiny protékaných proudem v magnetickém poli permanentních magnetů (součet všech reakcí) je pak síla, která posouvá „vláček“ uvnitř pružiny. Pro situaci na obrázku 18 směřuje tato výsledná síla vlevo.

Princ tedy zasune pružinu do průhledného tunelu z prostoru od vstupní brány, vsune do ní magnetický vláček a ten sám doputuje na druhou stranu tunelu. Po přiblížení magnetu vláčku k vnější stěně cely s princeznou přitáhne tento magnet zajišťovací mechanismus (zahnutý ocelový plíšek) dveří umístěný uvnitř (obr. 19). Dveře se otevřou a princ může obejmout svou milovanou princeznu.

Pohádka tedy šťastně skončila a my jsme se vrátili nejdříve k podrobnému vysvětlení „fyzikálních tajemství“ (např. z obr. 18) a následně i k prozkoumání, jak naprogramovat mikropočítač (obr. 20) tak, aby rozpoznal kód a spustil servomotor pro otevření brány.



Obr 19. Otevření dveří magnetickým vláčkem.



Obr. 20. Mikropočítač pro rozpoznání kódu a ovládání servomotoru.

Literatura

- [1] Mezinárodní stránky Science on Stage [cit. 14. 9. 2020] Dostupné online: <http://science-on-stage.eu/>
- [2] Stránky Science on Stage v České republice [cit. 14. 9. 2020] Dostupné online: <http://science-on-stage.cz/>
- [3] Virtual fair of Science on Stage festival 2019 [cit. 14. 9. 2020] Dostupné online: <http://sons2019.eu/for-attendees/virtual-fair/>
- [4] Elixír do škol [cit. 14. 9. 2020] Dostupné online: <https://www.elixirdoskol.cz/>
- [5] Šablony připravené Z. Hubáčkem [cit. 15. 9. 2020] Dostupné online: <http://science-on-stage.cz/sons2019/hubacek/>
- [6] Sborník Science on Stage 2019 selected by the Irish team, str. 78 [cit. 15. 9. 2020] Dostupné online: http://www.scienceonstage.ie/wp-content/uploads/2020/05/SonS2019_Booklet_Ireland.pdf
- [7] <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.oprd.7b00197>
- [8] <http://blog.teachersource.com/2016/10/07/poly-density-bottle-2/>
- [9] <http://blog.teachersource.com/2014/05/20/poly-density-bottle/>
- [10] <https://www.teachersource.com/product/poly-density-kit/density>
- [11] <https://www.youtube.com/watch?v=-gKGWzvZleE>
- [12] <https://www.youtube.com/watch?v=8GvkMA6rSRs>
- [13] Spelenderwijzer. [cit. 10. 9. 2020]. Dostupné online: <https://spelenderwijzer.be/>
- [14] Sulfur Hexafluoride. [cit. 10. 9. 2020]. Dostupné online: <https://www.youtube.com/watch?v=u19QfJWI1oQ&feature=related>
- [15] Stlačený vzduch ve spreji. [cit. 10. 9. 2020]. Dostupné online: <https://www.mixon.cz/spreje-pro-servis-a-elektroniku/stlaceny-vzduch-ve-spreji-520-ml-prf-4-44-green-pe4452n/>

Další fyzikální pomůcky do kabelky

Zdeněk Hubáček

Gymnázium Kroměříž

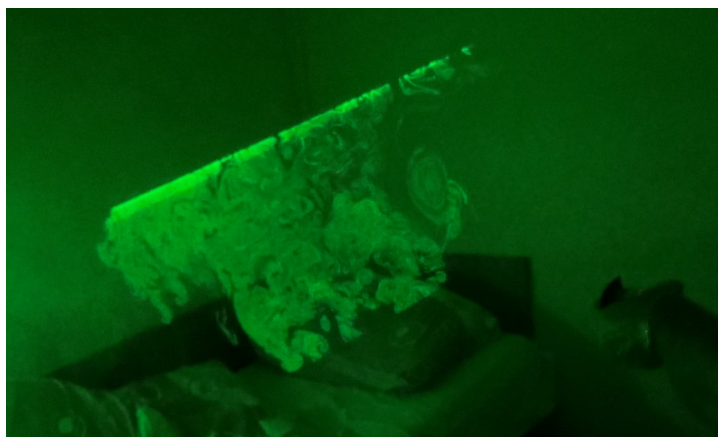
Abstrakt

Laserové řezy, dávkování plynu pro výbušnou směs a loď, která jede, když si fouká do vlastní plachty. To vše a možná ještě něco navíc s pomůckami, které se pro snadné přenášení musejí vejít do kabelky. Malá pomůcka navíc potřebuje, aby se na ni děti přišly podívat, takže se alespoň „rozhýbou“.

Pár drobností s LASERy

LASERové „řezy“

Hrátky s laserovým ukazovátkem v zakouřené zatemněné místnosti při dni otevřených dveří ukázaly docela zajímavé obrazce znázorňující proudění kouře v daném místě. Stačí pouze výkonnějším LASERem (50 mW) rychle kmitat v jedné rovině. Světlo rozptýlené na částech kouře zobrazí pěkné obrazce vírů.



Obr. 1. Laserový „řez“.

UV filtry – UV laser, brýle, uranové sklo

Známé ukázky fluorescence uranového skla ozářeného UV zářením mě přivedly k myšlence, jak vyzkoušet a případně i měřit účinky UV filtrů ve slunečních brýlích. Pokud bychom v uspořádání, které je na následujícím obrázku, přidali ještě luxmetr snímající kouli z uranového skla, mohli bychom účinky kvantifikovat.

Když si koupíte sadu sportovních brýlí v Lidl, získáte 3 různě zabarvená „skla“, která však mají téměř stejný účinek na UV složku procházejícího světla.

Je známo, že za běžných podmínek oko žádnou filtraci nepotřebuje, regulaci dostatečně zajišťuje stažení plochy zorničky. Problém nastane, využijeme-li sluneční brýle bez UV filtru, pak se zornička rozšíří a riziko poškození sítnice UV zářením se významně zvýší.



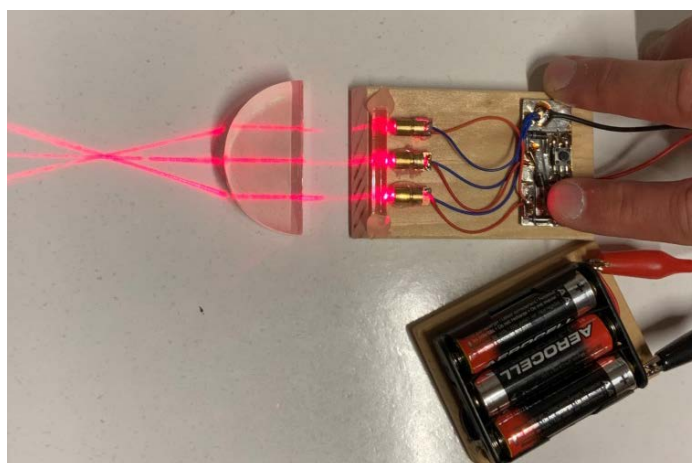
Obr. 2. Účinek UV filtru – fluorescence je významně nižší.

LASERový zdroj pro žákovskou geometrickou optiku

Paprskové zdroje v soupravách pro žákovskou optiku jsou již na mnoha školách v žalostném stavu. Variantou je nahrazení žárovky s kolimační soustavou malým laserovým modulem.

Laserový modul linka je možné zakoupit v řádu desítek korun, nebo jej můžeme vyrobit z bodového zdroje předřazením válcové čočky – skleněné míchací tyčinky od chemiků. Levné laserové moduly se cenou pohybují v řádu korun (např. firma Hadex), jejich nevýhodou je nízká účinnost a nedostatečné chlazení. To je znevýhodňuje při trvalém zatížení.

Následující zapojení s mikrospínači a diodami umožňuje krátkodobé sepnutí, kterým žáci nestihnou LASER zničit a které rovněž šetří baterii. První z mikrospínačů spíná všechny tři svazky a druhý pouze jeden svazek.



Obr. 3. Laserový zdroj pro geometrickou optiku.

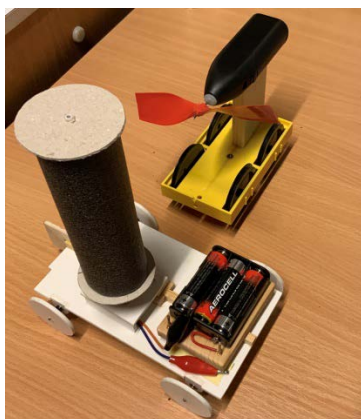
Dvě divné plachty

Flettnerova „plachta“

K demonstraci **Magnusova jevu** jsem stavil válcový rotor, který se otáčí na hřídeli poháněné elektromotorem z šlehače mléčné pěny IKEA. Válec je Mirelonová izolace potrubí (TUBEX ...), čela jsou z kartonu, který je vyhazovanou součástí zkušební maturitní dokumentace.

Zajímavá pro demonstraci je situace, kdy fouká vítr pod úhlem 90° na směr jízdy (realizováno ofukováním z vrtulového proudu). Hnaný válcový rotor strhává vzduch ve svém okolí a zakřivuje jeho proudění, působí tedy na vzduch silou a reakční síla vzduchu pohání loď či auto.

Na demonstraci navazují známou aplikací Magnusova jevu, kterou jsou „falšované“ míče v různých míčových hrách.



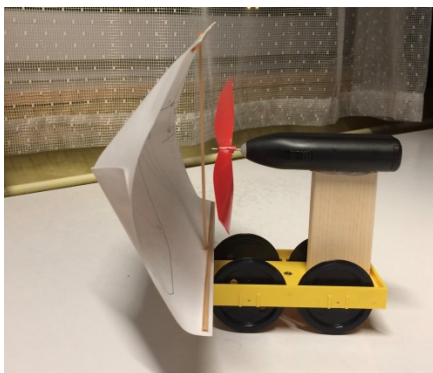
Obr. 4. Vozík s Flettnerovým rotorem, vozík s vrtulí je využit jako zdroj „větru“.

Foukání do vlastní plachty

Jak často rádi ukazujeme s vozíky opatřenými deskovou plachtou, nemá toto konání v důsledku rovnováhy sil žádný účinek na rozpohybování tělesa [1].

Pokud však plachtu vykleneme, dojde ke stočení proudu vzduchu nejen do stran, ale i za vozík, ten se pak vydává vpřed. Jak ukazuje Bruce Yeanny zde [2].

Poznamenejme však vždy, že je většinou daleko účinnější svinout plachty a foukat za sebe!

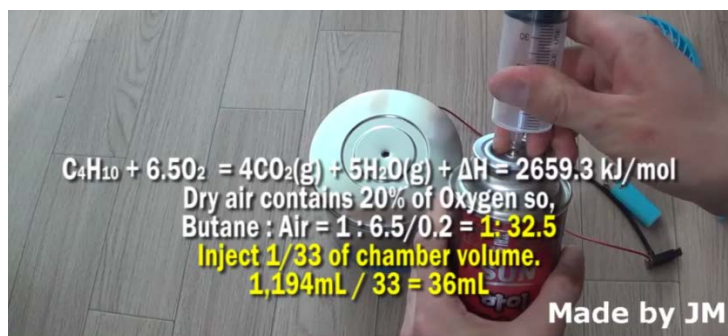


Obr. 5. Vozík s vrtulí a klenutou plachtou.

Koncentrace butanu pro výbušnou směs

Správné dávkování butanu pro výbušné směsi v „bramborových dělech“ mi vždy dělalo nepříjemnosti. Vše vyřešilo video Thomase Kima [3], který odměřuje butan s pomocí „bezodporové“ injekční stříkačky. Vyčíslení chemické rovnice na obrázku 6 a dopočítání koncentrace je sice pouze orientační, žákům však dává zkušenost, že to, co se učí, funguje.

Rozmezí výbušných koncentrací, o kterých se dočtete například zde [4], se dá takto i „proměřit“.



Obr. 6. Střih z videa Thomase Kima.



Obr. 7. Uspořádání využité na VNUF.

Literatura

- [1] http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/mechanika/pokusy_s_voziky_2.pdf [cit. 31. 8. 2020].
- [2] <https://www.youtube.com/watch?v=n9cdfUYkrLY> [cit. 31. 8. 2020].
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=ZiXOhRkWczo> [cit. 31. 8. 2020]
- [4] https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/cs/.content/galerie-souboru/U3V/studijni-materialy/U3V_Protivybuchova_prevence.pdf. [cit. 31. 8. 2020]

LEGO LIGO

Jakub Jandus, Vít Železný

Gymnázium Špitálská (student)

Abstrakt

Ten, kdo zná pojem interferometr, si obvykle vybaví složitý a velmi precizní přístroj vytvářející prazvláštní světelné obrazce. V této představě nechybí ani těžký, odpružený, a hlavně velmi drahý optický stůl se zcela přesnými optickými komponenty k dosažení maximální kontroly nad celým aparátem. Velmi přijatelných výsledků lze však dosáhnout i ve výrazně primitivnějším provedení. Náš projekt se snaží ukázat nejen to, jak samotný interferometr funguje, ale i jak si ho vyrobit doma, či ve škole.

Od éteru až po černé díry

Vznik interferometru

Na konci 19. století pomalu vešly ve známost Maxwellovy rovnice o elektromagnetismu, které popisovaly i šíření světla jakožto jen úzkou oblast elektromagnetického vlnění. S tím však přišla i otázka, jakým médiem se šíří, tedy co se vlastně vlní. Podobně jako se vlní vodní hladina, či zvuk potřebuje pro své šíření vzduch, i pro světlo muselo podle soudobých představ existovat prostředí, kterým by se mohlo šířit. Toto hypotetické médium bylo nazváno éter. Dalším problémem byla rychlost elektromagnetických vln, tedy i rychlost světla. To, že je tato rychlost konečná, bylo známo již od 17. století. Vzhledem k jaké soustavě má však rychlost světla hodnotu, která vychází z Maxwellových rovnic a byla relativně přesně několikrát změřena. Nabízela se zcela přirozená představa, že tato rychlost elektromagnetických vln je právě rychlost vzhledem k éteru (tedy vzhledem k jakési absolutní soustavě). Vzhledem k éteru by se světlo mělo šířit ve všech směrech stejnou rychlostí, a to nezávisle na tom, zda je zdroj vzhledem k éteru v klidu nebo v pohybu. Měříme-li rychlost světla vzhledem k pohybujícímu se zdroji (např. vzhledem k Zemi), měli bychom podle klasického skládání rychlostí dojít k různým výsledkům.

Ověřit tuto hypotézu (resp. naměřit rychlost Země vzhledem k této soustavě spojené s éterem) se rozhodl Albert Michelson. Roku 1881 v Postupimi vytvořil první verzi interferometru, dnes známou jako Michelsonův interferometr, pomocí kterého provedl sérii experimentů. Tato verze měla však řadu nedostatků. Přesvědčivá byla až druhá verze a série pokusů, provedených v Clevelandu v roce 1887 s jeho spolupracovníkem Morleyem (tzv. Michelson-Morleyův experiment [1]). Michelsonův pokus a mnohé jeho modernější varianty byly mnohokrát zopakovány, citlivost byla zvýšena natolik, že by umožnila naměřit rychlost Země vzhledem k éteru s přesností na jednotky metrů za sekundu. Všechny výsledky ale byly negativní (v každém směru byla naměřená rychlost světla stejná) a hypotézu éteru z konce 19. století nepotvrdily. Tyto (ale i další) experimenty byly uspokojivě vysvětleny pouze speciální teorií relativity.

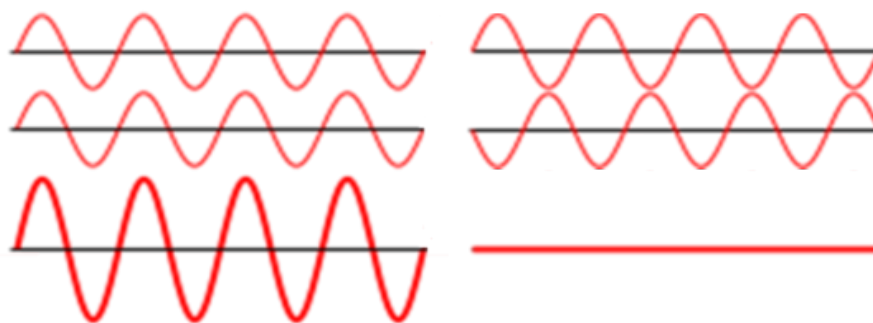
Využití interferometrů

Interferometr si postupně našel cestu do řady fyzikálních experimentů a přístrojů. Mezi takové patří přístroje na měření topografie povrchů, či velké observatoře pozorující kosmické elektromagnetické záření o různých vlnových délkách, ale i další druhy vlnění. Snad nejznámějším využitím je experiment LIGO [2] (Laser Interferometer Gravitational wave Observatory) na detekci gravitačních vln, který svým tvarem do kříže velmi připomíná originální Michelsonův interferometr. Roku 2015 naměřilo LIGO první velmi výrazné gravitační vlny pocházející ze splnutí dvou černých děr a potvrdil tak předpovědi obecné teorie relativity o tomto jevu. Tento úspěch následovala celá řada dalších zdařilých měření. Naměřené gravitační vlny ze splnutí dvou černých děr byly převedeny na zvuk a video s tímto až mimozemským „bubláním“ se stalo poměrně známým [3].

Michelsonův interferometr

Interference

Než se dostaneme k samotnému interferometru, připomeňme si jev, na kterém celý interferometr stojí a od kterého získal i své jméno – interferenci. K interferenci (skládání) dochází, když se v nějakém bodě setkají dvě vlny. Ty se pak skládají dle principu superpozice. Jsou-li vůči sobě ve fázi, dojde ke konstruktivní interferenci, tedy se navzájem zesílí. Mají-li však vlny vůči sobě fázový posun 180° , dojde k destruktivní interferenci a vlny se v daném bodě zeslabí, případně (při shodných amplitudách) navzájem zcela vyruší (obr. 1). Fázový posun může samozřejmě nabývat různých hodnot, což vytváří vlny o nulové amplitudě až po součet amplitud původních vln.

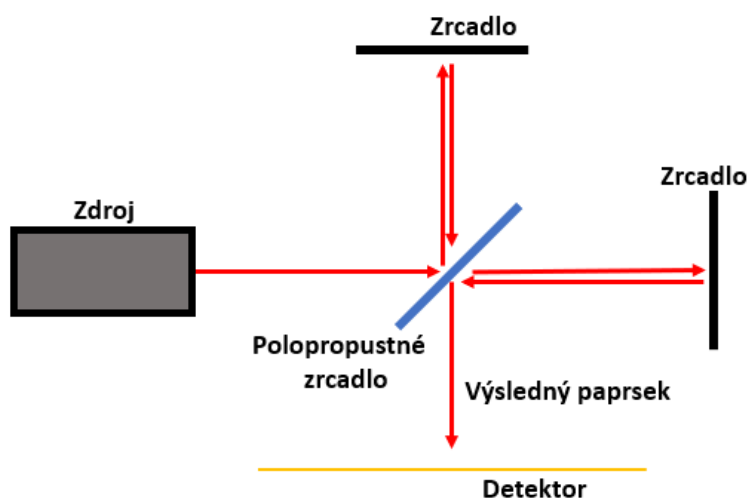


Obr. 1. Vlevo konstruktivní interference vln ve fázi, vpravo destruktivní interference vln s fázovým posunem o 180° . Zdroj: [4]

Interferometr

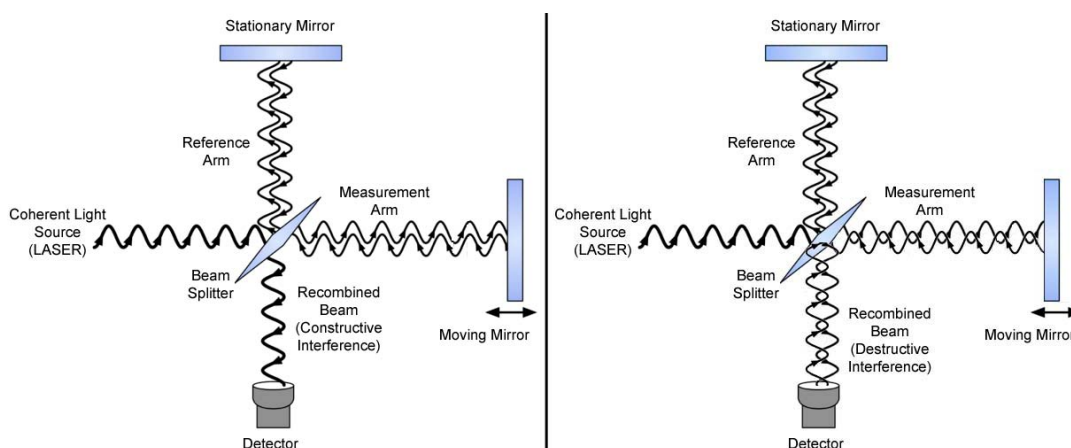
Michelsonův interferometr je opravdu asi nejjednodušší (a nejznámější) verzi interferometru vůbec. Svědčí o tom už to, že k jeho fungování fakticky stačí pouze pět komponentů – zdroj monochromatického koherentního světla (např. laser), polopropustné zrcadlo (v tomto kontextu také známé jako dělič paprsků), dvě obyčejná zrcadla a detektor. Interferometr má pak tvar kříže s děličem paprsků uprostřed a ostatními komponenty na jeho ramenech (obr. 2). Jako detektor na čtvrtém rameni kříže může sloužit cokoli od stínítka, na které se výsledný paprsek promítne, až po sofistikovaná detekční zařízení.

Paprsek světla ze zdroje je rozdělen polopropustným zrcadlem do dvou ramen interferometru. V každém rameni se odrazí od zrcadel zpět do děliče paprsků, který paprsky opět rozdělí – polovinu z každého pošle do detektoru, zatímco druhá se vrací zpět k laseru.



Obr. 2. Zjednodušený diagram Michelsonova interferometru.

U výsledných dvou zkombinovaných paprsků pak dochází k interferenci. Jelikož paprsky vychází ze zdroje ve fázi, ale každý z nich prochází jiným ramenem interferometru, bude jejich výsledný fázový posun záviset na délkách jednotlivých ramen, resp. na vzdálenosti zrcadel od děliče paprsků (obr. 3). Za povšimnutí stojí, že změna délky jednoho ramene se na finálním fázovém posunu projeví dvojnásobně, jelikož se světlo danou cestou pohybuje dvakrát – tam a zpět. Ke zcela konstruktivní interferenci tedy dochází, je-li mezi cestami paprsků délkový (dráhový) rozdíl v násobcích poloviny vlnové délky použitého světla. Výsledným obrazcem na detektoru bude tečka, jejíž jas bude závislý na délkách jednotlivých ramen interferometru.

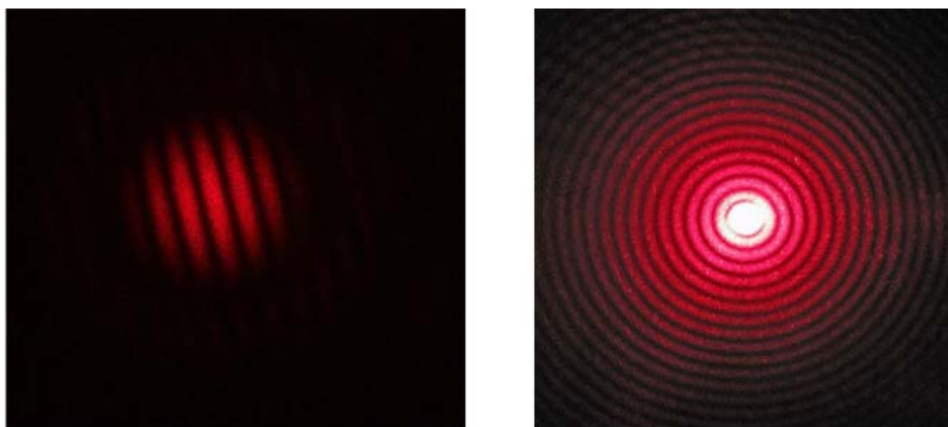


Obr. 3. Fázový rozdíl interferujících výsledných paprsků v závislosti na délkách větví (vlevo konstruktivní interference, vpravo destruktivní interference). Zdroj [5]

Interferenční obrazce

Vznik obrazců

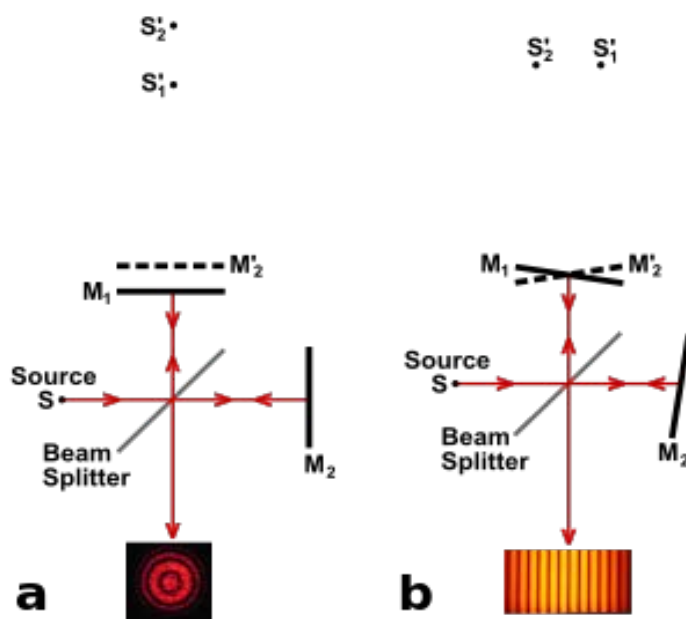
Teoreticky nejjednodušším obrazcem, který se může na detektoru vytvořit je již zmiňovaná tečka. Ta vychází z předpokladu, že má paprsek zdroje zcela válcový tvar. Bohužel je tento pohled nereálný, jelikož se paprsek laserů rozbíhá do kuželovitého tvaru. Interferometr tak vytváří řadu různých obrazců od soustředných kružnic, přes hyperboly až po rovnoběžné čáry (obr. 4). Běžně se za zdroj do interferometru přidává rozptylka pro úmyslné zvýraznění těchto obrazců.



Obr. 4. Dva z interferenčních obrazců vytvářených interferometrem (rovnoběžné čáry a soustředné kružnice). Zdroj: [6]

Pro vysvětlení obrazců je nejdříve vhodné si schéma interferometru ještě více zjednodušit, či spíše „napřímít“ (obr. 5). Pokud se díváme z detektoru do děliče paprsků, uvidíme přímo první ze zrcadel M_1 a obraz M'_2 druhého zrcadla M_2 . Obrazce pak můžeme vysvětlit jako interferenci světla z obrazů S'_1 a S'_2 původního zdroje S .

Pokud spolu zrcadla svírají pravý úhel (obr. 5a), budou výsledným obrazcem soustředné kružnice (pokud ovšem nemají obě ramena zcela stejnou délku, v takovém výjimečném případě by docházelo v celém obrazci pouze ke konstruktivní interferenci a obrazec by byl celý jasný). Pokud nejsou zrcadla vůči sobě umístěna pravoúhle (obr. 5b), vznikají hyperboly, či, jsou-li délky ramen totožné, zdánlivě rovnoběžné čáry (ve skutečnosti jde opět o hyperbolické útvary, jejich zakřivení je však zcela neznatelné).



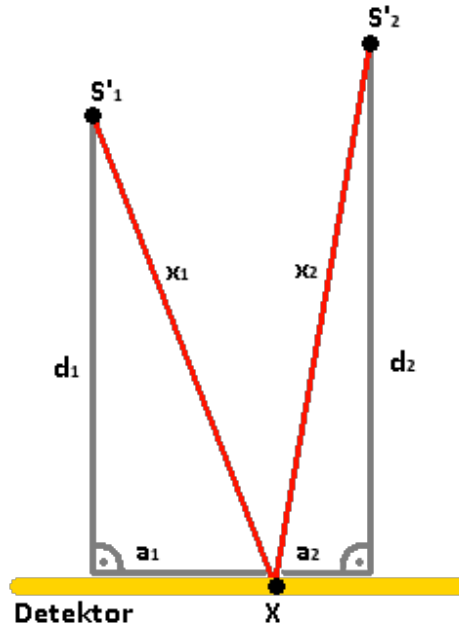
Obr. 5. „Napřímený“ diagram interferometru. Zdroj: [7]

Pro domácí interferometry jsou obzvláště užitečné zmíněné soustředné kružnice, na kterých lze s dostatečně stabilním provedením dobře pozorovat změny délek jednotlivých ramen. Kružnice se při tom buď zmenšují, mizí ve středu, zatímco se nové objevují na kraji, či naopak zvětšují od středu. S každou změnou dráhy jednoho paprsku o jednu vlnovou délku (a tedy změnou délky ramene o půl vlnové délky) se obrazec posune o jednu kružnici a zdánlivě se vrátí do původní podoby [8]. Tohoto faktu lze obráceně využít k vypočtení změny délky d jednoho z ramen, za použití vlnové délky užitého světla λ ; n pak udává, o kolik kružnic se obrazec posunul:

$$d = n \frac{\lambda}{2}$$

Modelování interferenčních obrazců

Vznikající obrazce lze i poměrně jednoduše počítačově modelovat. K tomu je velmi vhodné zjednodušené schéma z obrázku 5. Pro naše účely si z něj můžeme odmyslet všechna zrcadla včetně polopropustného a zachovat pouze detektor a dva obrazy zdroje. Jak již bylo zmíněno, interferenční obrazce jsou výsledkem interference světla z těchto dvou obrazů. Pro libovolný bod X na detektoru tedy můžeme najít fázový posun paprsků, či v tomto případě rozdíl délek drah z obou obrazů zdroje k tomuto bodu (obr. 6).



Obr. 6. Zjednodušené schéma interferometru vhodné pro modelování.

Zajímá nás samozřejmě rozdíl délek úseček x_1 a x_2 . Ty můžeme vypočítat Pythagorovou větou za pomoci vzdáleností obrazů zdroje od interferometru d_1 a d_2 a vzdáleností mezi bodem X a normálovými přímkami k detektoru vedenými z obrazu zdrojů – a_1 a a_2 .

$$x_1 - x_2 = \sqrt{d_1^2 + a_1^2} - \sqrt{d_2^2 + a_2^2}$$

Když vynásobíme rozdíl vzdáleností vlnovým číslem k použitého světla o vlnové délce λ , získáme fázový posun paprsků φ .

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

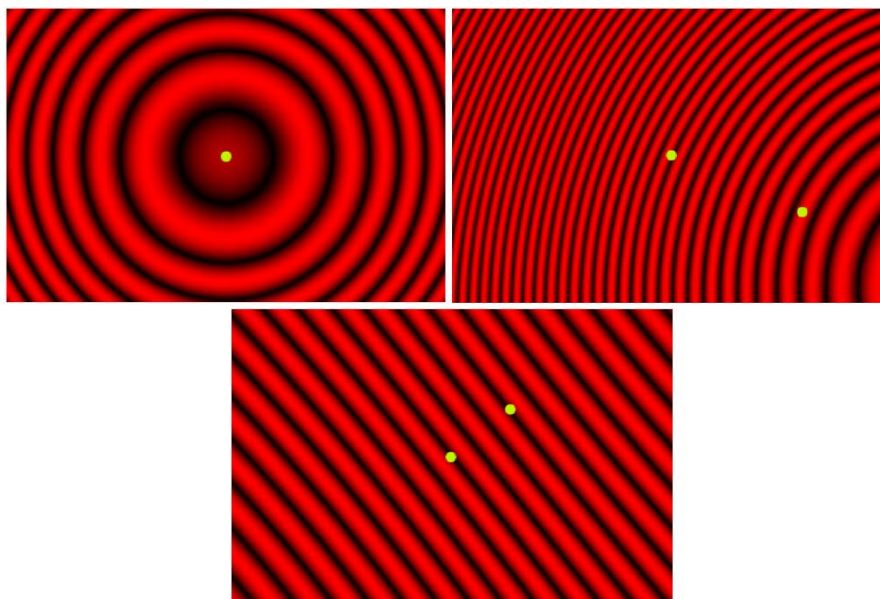
$$\varphi = k(x_1 - x_2)$$

Z fázového posunu pak můžeme získat intenzitu i světla v daném bodě:

$$i = \left| \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \right|$$

Výsledná intenzita bude dosahovat hodnot od 0 do 1, což je při vytváření simulace vhodné například pro využití barevného gradientu. (Zdroje [9] a [10])

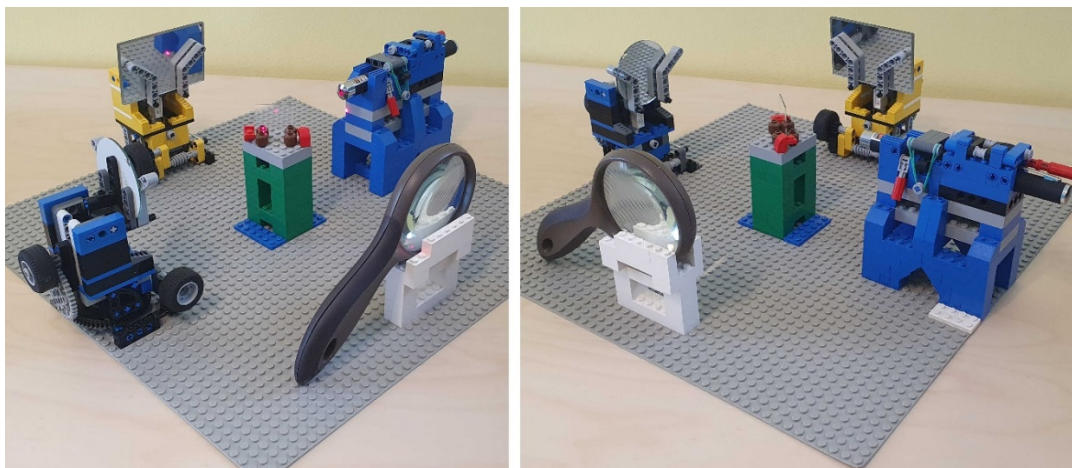
Simulace naprogramovaná za pomoci těchto rovnic až překvapivě dobře odpovídá skutečnosti. S proměnlivou vlnovou délkou světla a pozicí obrazů zdroje lze získat všechny zmíněné druhy obrazců (obr. 7). Simulace je ve zdrojích [12] dostupná v podobě aplikace.



Obr. 7. Interferenční obrazce ze simulace vytvořené za pomoci Unity Engine (zelené tečky znázorňují horizontální umístění obrazů zdroje nad detektorem; v prvním a druhém obrazci jsou obrazy zdroje v různé vzdálenosti od zdroje, ve třetím obrazci jsou ve stejné vzdálenosti).

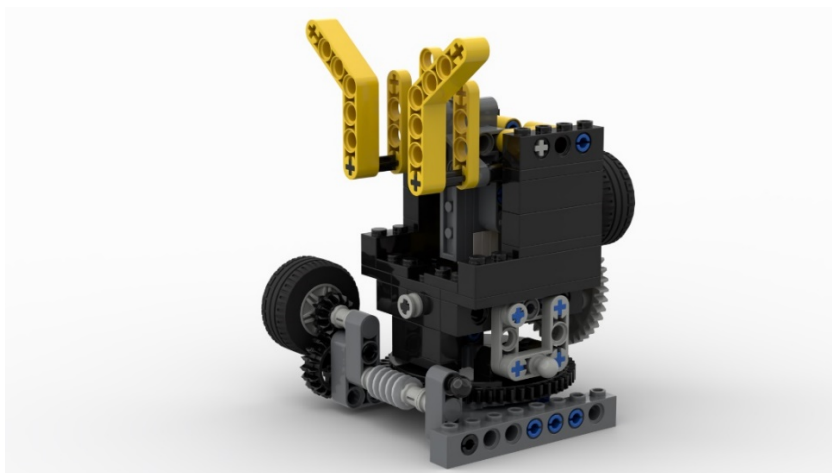
Domácí LEGO interferometry

Ačkoliv se může interferometr zdát jako poměrně sofistikovaný přístroj vyžadující přesně fungující komponenty, opak je pravdou (pochopitelně, nepožadujeme-li nějaká přesná měření). Nejjednodušší verzi lze vyrobit i ze stavebnice LEGO s přidáním několika potřebných komponentů (Obr. 8). Jako zdroj lze využít laserové ukazovátka, zrcátka lze použít v podstatě jakákoliv a jako detektor poslouží jednoduše stěna, či papír. Jediným hůře získatelným komponentem je polopropustné zrcátko, které však lze jednoduše zakoupit na internetu; ceny se na internetovém obchodu Aliexpressu pohybují kolem 100 až 200 korun. Je vhodné přidat do interferometru rozptylku, ideálně hned za laser (na obrázku 8 chybí). Kuželovitý tvar paprsků usnadní získávání poměrně pěkných interferenčních obrazců. Další rozptylku je možné umístit na rameno detektoru pro zvětšení výsledného obrazu. V nouzovém případě lze jako čočku využít například i staré brýle nebo lupu (viz obr. 8) – v takovém případě však bude docházet ke zvětšení obrazu až po dvojnásobku vzdálenosti ohniska čočky od lupy a obraz bude převrácený.



Obr. 8. Zkompletovaný LEGO interferometr.

Plány na výrobu jednoduchého držáku zrcadel (Obr. 9) použitého v referovaném interferometru jsou uvedeny ve zdrojích [12] ve formátu pro aplikaci Briklink Studio 2.0, ve které byly rovněž vytvořeny obrázky tohoto modulu (Obr. 9 a 10). Držáky ostatních komponentů interferometru (laseru, polopropustného zrcadla, čoček a případně detektoru) nejsou v plánech uvedeny. Jejich podoba se totiž může výrazně lišit v závislosti na podobě samotných komponentů; u žádného z nich již není stěžejní, aby byly pohyblivé, a jejich konstrukce je tedy poměrně jednoduchá. Potřebné LEGO díly lze jednoduše vyhledat podle jejich sériového čísla (dle kterého jsou i dále v textu referovány) a koupit například na webové stránce Bricklink. Ve zdrojích je rovněž uveden projekt LEGO interferometru [11], který byl částečně inspirací pro tento projekt. Dosahuje poměrně lepších výsledků, avšak jeho výstavba je značně složitější, nákladnější a vyžaduje výrazně větší množství dílů stavebnice.

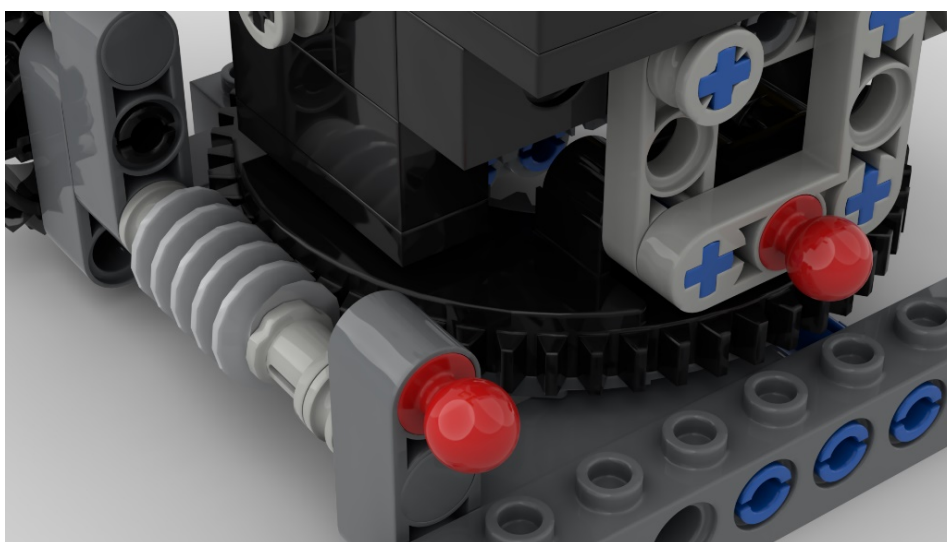


Obr. 9. Držák na zrcadla (do žluté části lze umístit libovolné rovinné zrcadlo zhruba větší než 3 cm a posunutím lomených žlutých dílů jej zafixovat na místě).

Při vytváření interferometru je vhodné dbát jak na jeho ovladatelnost, tak na celkovou stabilitu. Celý interferometr je velmi náchylný na vibrace a interferenční obrazce se i při zcela neznatelných otřesech ztrácí. Není-li interferometr dostatečně pevný a stabilní, budou se na něm výrazně projevovat všechny otřesy v místnosti. Ovlivnit ho může

dokonce i něco tak nepatrného jako dech, zvuk, či v případě umístění ve vyšších patrech budovy i vibrace samotné stavby. Částečně lze tomuto efektu zamezit dostatečně těžkou a pevnou základnou interferometru. Pro účely lego interferometru však lze použít velké podkladové LEGO desky (např. díl 4186a), které umožňují snadné rozmísťování komponentů a lze je dodatečně umístit na těžký stůl a zatížit závažím pro zvětšení stability.

Neméně důležitá je zmiňovaná ovladatelnost samotného interferometru, či spíše možnost zaměřovat jednotlivé paprsky. Je vhodné mít možnost otáčet s oběma zrcadly a zaměřovat tak paprsky jak horizontálně, tak vertikálně. K tomuto účelu se přímo nabízí ozubená kola dostupná v LEGO stavebnicích. Jejich jedinou nevýhodou je obvykle málo pozorovatelná vůle, která může obzvláště v horizontálním směru způsobit znatelné „poskakování“ paprsku na detektoru při jeho zaměřování. Vhodné je tedy využívat co nejmenší počet soukolí a tedy, k dosažení maximální přesnosti, v soukolích využívat kola s co největším velikostním rozdílem. Zcela ideální je pro tento účel díl LEGO točny (složená z dílů 48168 a 48452) společně s dílem šroubovice (díl 4716), jejichž poměr otáčení je 56:1. Problémem je již zmiňovaná vůle, která je u těchto dvou dílů opravdu znatelná. V ukázkovém interferometru je řečené soukolí využito pro horizontální zaměřování paprsků, kvůli vůli mezi koly je však téměř nemožné paprsek následně zaměřit vertikálně, protože se i při malém pohybu horizontálně rozhodí. Řešením tohoto problému je použití gumiček pro zamezení nepatrných nechtěných pohybů finálního ozubeného kola (Obr. 10) a tedy všeho k němu upevněného, či striktní používání „robustnějšího“ typu ozubených kol, které mají výrazně menší vůli (např. díly 32498, 32269, 32270). V případě vertikálního zaměřování je tento problém řešen gravitací, resp. zrcadlo má obvykle dostatečnou hmotnost, aby zafixovalo finální pohyblivé díly, ke kterým je uchyceno, a tedy zabránilo jejich nechtěnému pohybu.



Obr. 10. Díly pro uchycení gumičky jsou zvýrazněny červeně; tah gumičky zapře točnu o zuby šroubovice a odstraní tak vůli v soukolí.

Ačkoliv není LEGO jako vědecký nástroj zcela dokonalé, lze s jeho pomocí v klidném prostředí dosáhnout přijatelných výsledků v podobě několika interferenčních obrazců. Poměrně jednoduché je získat rovnoběžné a hyperbolické pruhy. Soustředné kružnice jsou již v tomto provedení výrazně těžší na vytvoření, avšak ne zcela nemožné. Vyžadují

však výrazně stabilnější a propracovanější systém než s jakým lze dosáhnout předcházejících obrazců, který kvůli jeho komplikovanosti a nákladnosti mohou předčít jiné alternativy, jako následující 3D tisk. Přesto zůstává LEGO dobrou alternativou pro lidi bez přístupu k lepším, avšak výrazně časově náročnějším metodám. V neposlední řadě je LEGO interferometr názorným modelem sofistikovanějších přístrojů a pro demonstraci na škole vhodný.

Preciznější zařízení s pomocí technologie 3D tisku

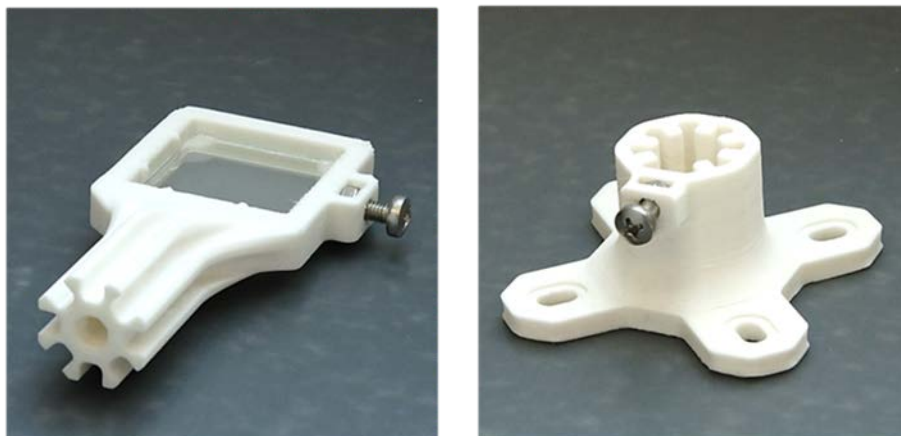
Rozmach technologie 3D tisku umožňuje relativně levnou výrobu vysoce precizních komponentů. Finální produkt je díky vysoké přesnosti dílů mnohem blíže profesionálním optickým přístrojům než LEGO varianta. Umožňuje dobré a precizní zaměřování paprsků a díky možnosti uchycení na tvrdou pevnou podložku skvěle odolává vibracím. Nevýhodou je velká časová náročnost na zhotovení a montáž všech potřebných dílů.

Tato část příspěvku se pokusí vyřešit alespoň jeden z těchto problémů, a to poskytnutím modelů pro výrobu interferometru a návodu, jak tyto plány efektivně využít a přístroj zhotovit.

Níže popsaná konstrukce byla zhotovena z materiálu PLA tryskou s průměrem 0,3 mm. V příloze [12] se nachází 6 předpřipravených souborů pro konstrukci interferometru, inspirovaných designem ze sekce S’Cool LAB z CERNu [13]. Tento konkrétní model se skládá celkem ze čtyř modulů, jejichž správná konstrukce bude postupně popsána.

Stavba modulu děliče paprsků

Jedná se jak o centrální modul celé „stavebnice“, tak o nejjednodušší modul k výrobě, díky absenci pohyblivých částí. Ke zhotovení je třeba nejprve 3D vytisknout soubory *Beamsplitter_pillar.stl* (obr. 11 vlevo) a *Base.stl* (obr. 11 vpravo). Je třeba oba tisknout na výšku – tj. aby pozice byla shodná s pozicí v obr. 12.



Obr. 11. Vlevo držák děliče paprsků, vpravo modulární základna.

Do držáku děliče paprsků (obr. 11) umístíme polopropustné zrcátko o rozměrech 30×30 mm, které velmi jemně dotáhneme šroubem M4.

Na obrázku 11 vpravo je díl základny, který je shodný pro všechny moduly. Hvězdovitý tvar ve vnitřní části umožňuje moduly vkládat po 45° krocích a následně jejich pozici

zafixovat ručním dotažením šroubu. Čtyři otvory jsou redundantní možností, jak modul pevněji připevnit k podložce – nejlépe pomocí šroubů M4 rozmístěných do tvaru čtverce o hraně délky 4 cm. Výsledný modul je zobrazen na obrázku 12.



Obr. 12. Zkompletovaný modul děliče paprsků.

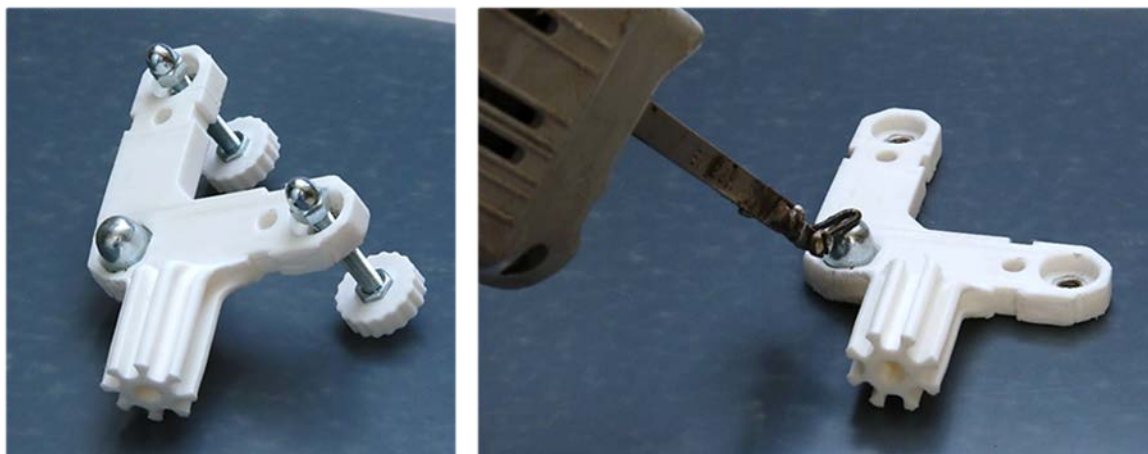
Modul se zrcadlem

Z hlediska konstrukce je již modul se zrcadlem komplikovanější. Je třeba vytisknout 2× *Knob.stl* (obr. 13), *Pillar.stl* (obr. 14 vlevo), *Mirror_holder.stl* (obr. 15 vlevo) a znovu *Base.stl*.



Obr. 13. Ruční nastavovací šroub.

V kombinaci se součástkami o rozměrech M5 se jednoduše vytvoří jemný ovládací šroub naklánění.



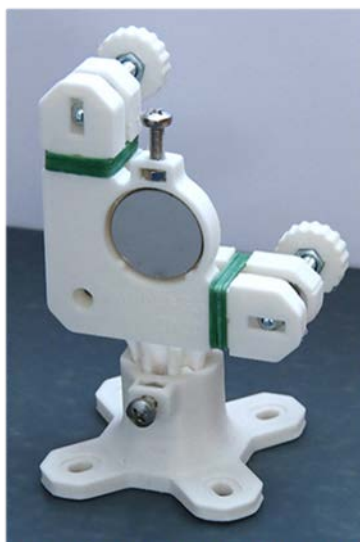
Obr. 14. Vlevo kompletní pilíř, vpravo tepelné zapouštění matic pistolovou páječkou.

Na obrázku 14 je vidět hlavní pilíř s „L“ strukturou k uchycení zrcadla. Maticky M5 a klobouková matice M8 jsou tepelně zapuštěny do plastu (viz obr. 14 vpravo). Velká matice funguje jako otáčecí bod, čímž vznikají ramena páky, jejichž vzdálenost určuje šroub (obr. 13). Vznikne tak systém na jemnou úpravu úhlu zrcadla o teoretické přesnosti $0,6^\circ/\text{otáčka}$.



Obr. 15. Vlevo držák zrcadla, vpravo zkompletovaná horní část.

Díl držáku zrcadla (obr. 15 vlevo) je uzpůsoben pro uchycení molybdenového zrcadla o průměru 25 mm o 3mm tloušťce. Následně je tento celek namontován na pilíř a držen na místě přitlačnou silou gumiček (obr. 15 vpravo) či pružinek.



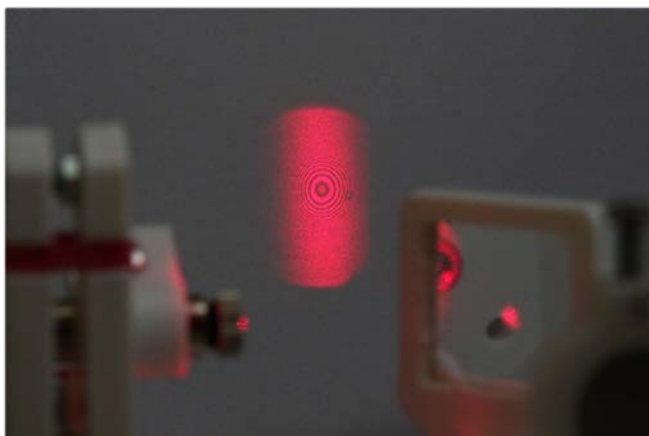
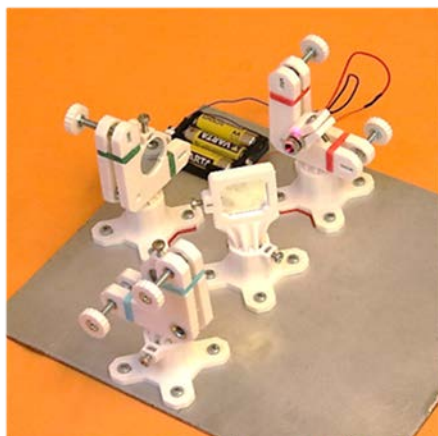
Obr. 16. Celkově složený modul se zrcadlem.

Nutno připomenout, že pro funkční interferometr je tento modul potřeba dvakrát.

Kompletace

Poslední modul je stvořen k uchycení laseru o průměru 12 mm. Jeho konstrukce je velmi podobná konstrukci modulů se zrcadly. Stačí jen vytisknout *Laser_holder.stl*.

Nyní se moduly složí do finální konfigurace interferometru (obr. 17 vlevo) a pro zprovoznění zbývá již jen proces zaměření.



Obr. 17. Vlevo funkční demonstrační aparatura, vpravo výsledný interferenční obrazec.

Literatura

- [1] Historie Michelson-Morleyho experimentu [05.10.2020]
https://en.wikipedia.org/wiki/Michelson%E2%80%93Morley_experiment#:~:text=The%20Michelson%E2%80%93Morley%20experiment%20was,July%201887%20by%20Albert%20A.
- [2] Observatoř LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory) [05.10.2020]
<https://en.wikipedia.org/wiki/LIGO>

- [3] Gravitační vlny kolidujících černých děr přeměněné na zvuk [14.09.2020]
<https://www.youtube.com/watch?v=QyDcTbR-kEA>
- [4] Znázornění sčítání vln dle principu superpozice [14.09.2020]
https://en.wikipedia.org/wiki/Wave_interference
- [5] Změna fázového posunu při měnění délky jednoho z ramen [14.09.2020]
<https://www.muelaner.com/laser-interferometers/>
- [6] Interferenční obrazce (pruhy a soustředné kružnice) [15.09.2020]
<https://www.tau.ac.il/~phchlab/exp-interferometry-theory.html>
- [7] Napřímený diagram interferometru [14.09.2020]
<https://en.wikipedia.org/wiki/Interferometry>
- [8] Ukázka pohybu interferenčních obrazců v závislosti na délkách ramen [05.10.2020]
<https://www.youtube.com/watch?v=j-u3IEgcTiQ>
- [9] Výpočet vlnového čísla a intenzity výsledných vln [05.10.2020]
https://en.wikipedia.org/wiki/Wave_interference
- [10] Výpočet fázového posunu z rozdílu drah paprsků [05.10.2020]
<https://byjus.com/physics/relation-between-phase-difference-and-path-difference/>
- [11] Sofistikovanější, ale rovněž nákladnější verze LEGO interferometru [05.10.2020]
<https://www.instructables.com/Michelson-Interferometer-build-from-LEGOR-bricks/>
- [12] Soubory k 3D tisku, LEGO držák zrcadla a aplikace simulátoru [12. 09. 2020]
<https://drive.google.com/drive/folders/1fBxRkx811PlHWsv8T0eQFZIE-8XOee5>
- [13] 3D printed Laserlab [14. 09. 2020]. <https://scoollab.web.cern.ch/laserlab3D>

Videoanalýza v době chytrých telefonů

Petr Kácovský

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

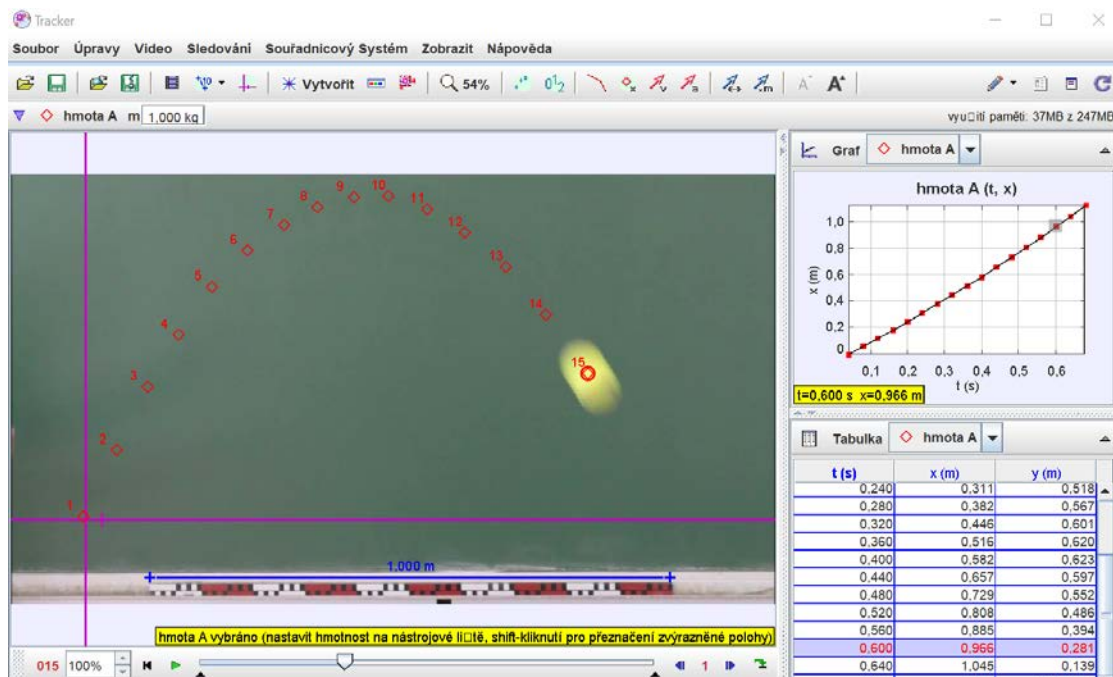
Příspěvek představuje využití videoanalýzy ve středoškolské fyzice, a to včetně tipů, které usnadňují začlenění této techniky do výuky.

Videoanalýza a její místo ve fyzikálním vzdělávání

Principem videoanalýzy je záznam určitého děje v podobě krátké videosekvence, která je pak softwarově krokovaná po jednotlivých snímcích. Na každém snímku je možné vyznačit polohu (a tím získat souřadnice) objektu, jehož pohyb chceme popsat – dostáváme tak možnost najít závislosti souřadnic, resp. rychlosti a zrychlení na čase.

Technika videoanalýzy se přímo nabízí v případě jednoduchých kinematických situací, které se odehrávají na úsečce či v rovině – jmenujme různé druhy vrhů (ilustrace viz obr. 1), pohyb kyvadla nebo kmitání tělesa na pružině. Nejde o nic převratného či nového, podobné výukové náměty založené na analýze krátkých videosekvencí byly publikovány před více než 20 lety [1], pouze jejich technická realizace se díky expanzi chytrých zařízení v posledních několika letech výrazně zjednodušila.

Z hlediska motivačního dává videoanalýza studentům prostor, aby do výuky zapojili svá vlastní chytrá zařízení (BYOD = *bring your own device*) a budovali tak svoji digitální gramotnost. Zároveň ale napomáhá také snahám fyzikářů rozvíjet porozumění kinematickým (i jiným) grafům.



Obr. 1. Ukázka videoanalýzy šikmého vrhu v SW Tracker. Vpravo nahoře získaný graf závislosti x -ové souřadnice na čase.

Zpracování dat v programu Tracker

Pravděpodobně nejrozšířenějším softwarem využívaným v české komunitě fyzikářů pro analýzu videa je freeware Tracker [2]. Program je možné volně stáhnout a při instalaci přepnout do české mutace, ačkoliv překlad je místy kostrbatý.

Ovládání softwaru je v porovnání s placenými programy, které videoanalýzu podporují (např. Logger Pro od Vernieru či Capstone od PASCO), méně intuitivní, a hodí se tedy návod popisující základní analýzu videa – takový je dostupný na webu [3]. Pro pokročilejší uživatele je Tracker vybaven užitečnou funkcí *autotracker* – uživatel zadá, jaký objekt má být na videu sledován, a software provede záznam jeho polohy automaticky, aniž by musel uživatel provést označení objektu na každém snímku; zejména v případě delších videí je proto autotracker užitečným nástrojem. Návod na videoanalýzu s použitím autotrackeru nabízí video [4].

Volitelnou součástí instalace Trackeru je možnost stažení předtočených fyzikálních situací, které mohou být videoanalýze podrobeny. To sice může přinášet časovou úsporu při provádění videoanalýzy, ale pro studenty bývá přínosné i samotné pořízení vhodného videa (už kvůli zapojení jejich vlastních zařízení), proto doporučuji pracovat přímo s autentickými záznamy studentů.

Doporučení pro pořizování a zpracování videa

Pro úspěšné provedení videoanalýzy je zcela zásadní, aby byla analyzovaná situace vhodně zachycena. Vlastnosti pořízeného videa rozhodují o tom, zda bude výsledkem analýzy názorná výuková pomůcka, nebo interpretačně náročná změť dat, která studentům pochopení jenom zkomplikuje. Proto níže uvádím několik základních doporučení, která je vhodné brát při pořizování videa v potaz:

- S výjimkou velmi rychlých (maximálně sekundových) dějů není vhodné natáčet video „z ruky“, je vhodné využít stativ, případně kameru/tablet/telefon vhodně opřít a zafixovat.
- Objekt, jehož pohyb má být sledován, musí být kontrastní vůči pozadí snímku, aby byl dobře rozpoznatelný.
- Aby mohl vyhodnocující software přiřadit natočené situaci reálné délkové rozměry, je nutné dostat do záběru předmět o známé délce (bývá označován jako tzv. kalibrační tyč). Velmi dobře poslouží třeba metrové dřevěné pravítko, svinovací metr apod.
- Kamera (telefonu, tabletu...) by měla mířit kolmo na rovinu pohybu, aby nedocházelo k velkému zkreslení vzdáleností.
- Ještě před natočením videa si rozmyslete, jak budete chtít při analýze orientovat souřadné osy a kam umístíte jejich počátek. (Například u šikmého vrhu Vaše rozhodnutí ovlivní, zda budete házet míček zprava doleva či zleva doprava.)
- Většina typicky snímaných fyzikálních situací trvá řádově několik sekund. Pořizované video by se mělo omezovat pouze na tuto dobu, každé nadbytečné sekundy zvyšují následnou výpočetní náročnost jeho zpracování.
- Pro většinu situací není až tak zásadní kvalita záznamu, proto není důvod pořizovat jej v plném rozlišení (zejména pokud musí být video delší).

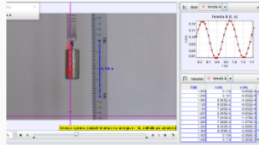
Také se nabízejí některé postřehy, které se týkají zpracování dat:

- Je normální, že pohybující se objekt je rozmazaný, často je při trackování nutné domýšlet jeho střed. Toto je přirozená nepřesnost metody, o které lze se studenty diskutovat (jak je významná pro zpracování dat, v které části pohybu se nejvíce projevuje apod.).
- Grafy rychlosti a zejména zrychlení jsou zatíženy kumulativní chybou, která vzniká, když při jejich výpočtu software numericky derivuje časový průběh souřadnic. Spolehejte tedy zejména na časové průběhy souřadnic.

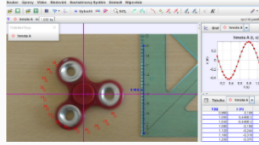
Jak začít s videoanalýzou ve výuce aneb Vzorové experimenty

Pokud uvažujete o zapojení videoanalýzy do Vaší výuky, ale máte z něj trochu obavy, zvolte na úvod kompromis: Všichni studenti zpracují totéž video, které jim připravíte a nasdílíte – jinými slovy, které dobře znáte a víte, k jakým výsledkům a závislostem by měli studenti dojít. Seznam takových videí nabízím ke stažení na webové stránce [3], a to včetně vzorových souborů z Trackeru a včetně doporučení, která usnadňují analýzu záznamů (ilustrováno na obr. 2). Na této webové stránce se během podzimu 2020 objeví také návrhy metodických listů k jednotlivým vzorovým videím.

5. Kmitání tělesa na pružině
Délka videa: 3 sekundy
Způsob udání měřítka: dřevěné pravítko
Doporučení, kam vložit počátek souřadnic: rovnoběžně s osou pružiny
Doporučení, kam orientovat kladný směr osy x: svisle vzhůru nebo svisle dolů
Doporučení, který bod sledovat: spoj těla závaží a háčku



6. Otáčení spinneru
Délka videa: 4 sekundy
Způsob udání měřítka: plastové pravítko
Doporučení, kam vložit počátek souřadnic: do středu spinneru (tj. středu otáčení)
Doporučení, kam orientovat kladný směr osy x: kamkoliv
Doporučení, který bod sledovat: okraj jednoho z ramen spinneru



Obr. 2. Ukázka vzorových videí na webu [3]

Rozhodně ale doporučuji si troufnout i na plnohodnotnou videoanalýzu, tj. tu, při které každá skupina studentů pracuje se svým vlastním, jedinečným videem. To, co si při samotném provádění experimentu a natáčení videa musí studenti rozmyslet a uvědomit, je minimálně stejně cennou zkušeností jako zbylá, „fyzikálnější“ část aktivity, tj. vyhodnocení a interpretace dat.

Literatura

- [1] Laws P., Pfister, H.: *Using digital video analysis in introductory mechanics projects*. The Physics Teacher 36 No 5 (1998), p. 282-287.
- [2] Tracker. [cit. 6. 9. 2020]. Dostupné online: <https://physlets.org/tracker/>
- [3] *Materiály pro učitele – VIDEOANALÝZA*. [cit. 6. 9. 2020]. Dostupné online: <http://kdf.mff.cuni.cz/~kacovsky/videoanalyza.php>
- [4] *Jak na Tracker* (YouTube). [cit. 6. 9. 2020]. Dostupné online: https://www.youtube.com/watch?v=_xax61uJCao

Družice Starlink – revoluce nebo zkáza

Ota Kéhar

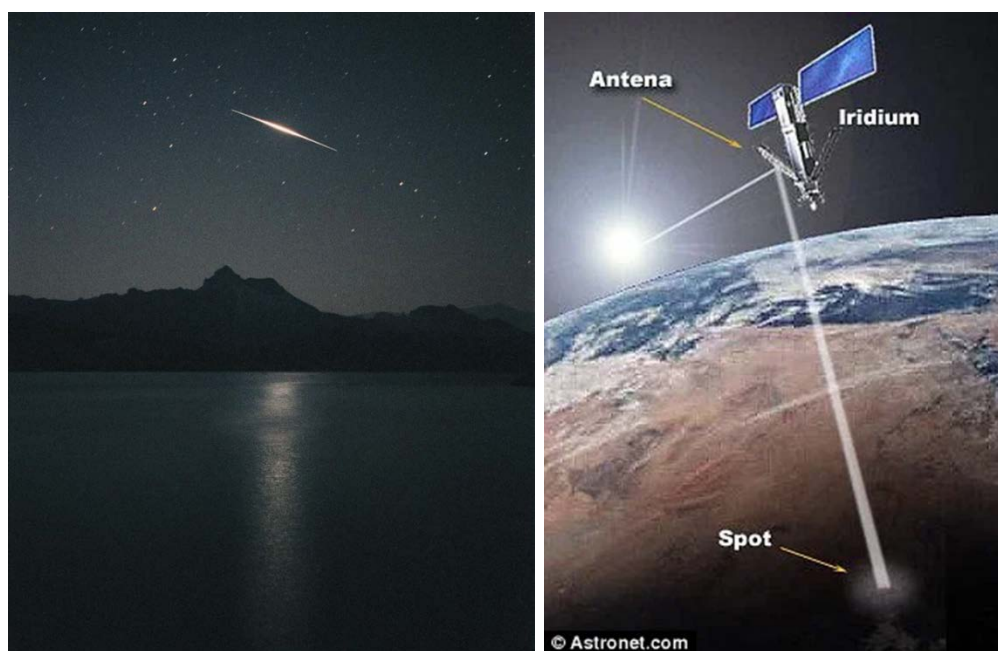
Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni

Abstrakt

Starlink je název pro síť družic společnosti SpaceX. Družice je možné snadno pozorovat na noční obloze, nepředstavují však zkázu pro astronomii?

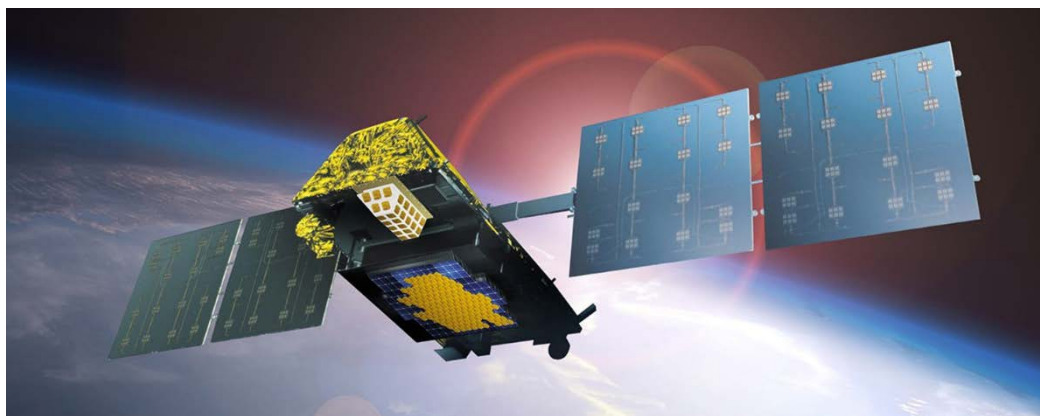
Ohlédnutí za zábleskem v Olomouci

Pojďme se na chvíli alespoň v myšlenkách přesunout o několik let zpátky, do roku 2011, kdy se na začátku září konal 16. ročník Veletrhu nápadů učitelů fyziky. V sobotu večer se uskutečnil obvyklý společenský večer, tehdy konaný na střeše budovy Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Byla to moje první účast na této konferenci, takže jsem byl mezi ostřílenými účastníky naprostý nováček, přesto jsem se během večera osmělil a dovolil jsem si společenský večer na chvíli krátkou vsuvkou přerušit. Nad městem byla bezoblačná noční obloha. Důvodem pro přerušení probíhajícího večírku bylo pozorování předpovězeného záblesku družice Iridium. Jde o úkaz, který je způsobený reflexními plochami (u družic Iridium se jednalo o hlavní telekomunikační antény ve tvaru desky o rozměrech 1,9 m krát 0,9 m) na družici. Tyto plochy odrážejí sluneční světlo na Zemi a na obloze se pak jeví jako krátký, ale jasný záblesk (obr. 1).



Obr. 1. Záblesk družice Iridium na obloze (vlevo) [11] a princip záblesku (vpravo) [10].

Pokud jste záblesk družice Iridium doposud nikdy na vlastní oči neviděli, tak špatnou zprávou je, že už ani neuvídíte. Od roku 2017 do roku 2019 byly vypouštěny družice Iridium nové generace (Iridium NEXT, obr. 2), které podobné záblesky nevykazují. Poslední družice první generace byla stažena (navedením do atmosféry, kde shořela) z oběžné dráhy 27. prosince 2019 a tím skončila éra předpověditelných záblesků.



Obr. 2. Družice nové generace Iridium NEXT. U nich už k zábleskům nedochází [12].

Družice Iridium jsou použity pro vytvoření sítě komunikačních satelitů, která poskytuje celosvětové pokrytí signálem, včetně oceánů, polárních oblastí a leteckých tras. Zajímavostí je, že podle původních plánů měla síť obsahovat 77 satelitů, stejně jako protonové číslo iridia, přičemž satelity měly symbolizovat 77 elektronů obíhajících atomové jádro. Nakonec se ukázalo, že satelitů postačuje 66, název Iridium již zůstal. Cena volání přes tuto síť se pohybuje podle zvoleného tarifu mezi jedním až dvěma americkými dolary za minutu.

Společnost SpaceX a recyklace

Družice Iridium NEXT do vesmíru na polární dráhu postupně mezi roky 2010 až 2019 při osmi startech vynesla nosná raketa Falcon 9 společnosti SpaceX. Americká technologická společnost SpaceX (celým názvem Space Exploration Technologies Corporation) působí od roku 2002 v kosmickém průmyslu. Založil ji jihoafricko-americký podnikatel Elon Musk (*1971) z peněz, které vydělal prodejem svého podílu v internetovém platebním systému PayPal.



Obr. 3. Ústředí SpaceX z prosince 2017 společně se stopou startující nosné rakety Falcon 9 (vlevo) [8] a zakladatel společnosti Elon Musk z roku 2018 (vpravo) [9].

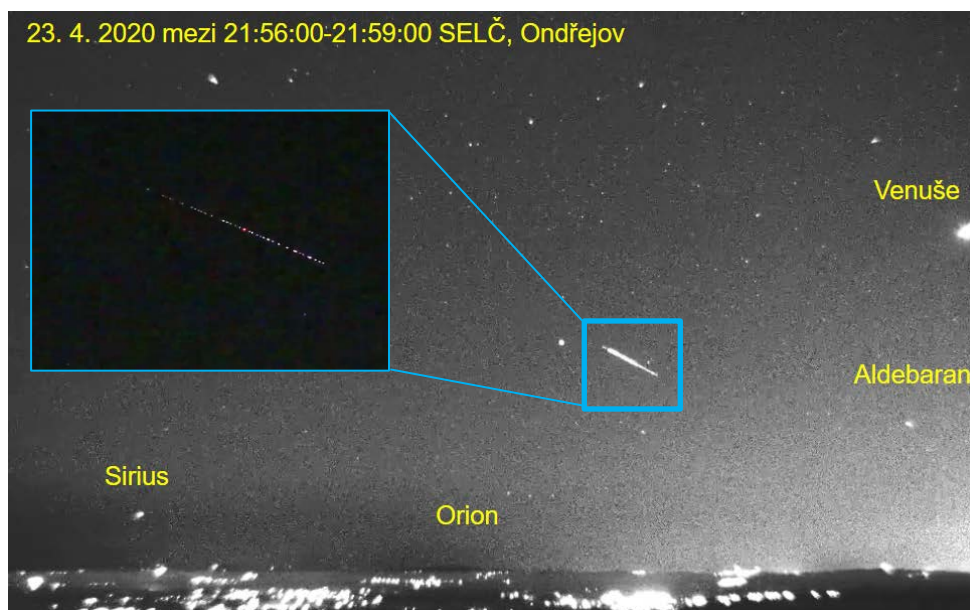
Společnost SpaceX se při budování kosmického programu inspirovala v automobilovém nebo leteckém průmyslu, kde se nikdo nepozastavuje nad tím, že dochází k recyklaci použitých strojů. Pořizovací cena stroje se rozdělí mezi více startů, vymění se pouze části, které není možné znovu použít. Cena jednoho startu je tak příznivější, než když se pokaždé vyrobí nová nosná raketa. V současnou chvíli je během startů nosné rakety Falcon 9 zachraňován první stupeň rakety (ten vertikálně přistává na pevnině nebo autonomní plovoucí přistávací plošině) a obě poloviny aerodynamického štítu (zachycení na padácích do sítě na speciální lodi).



Obr. 4. Přistání prvního stupně rakety na pevnině (vlevo) [3], zachycení poloviny aerodynamického štítu do sítě na lodi (vpravo) [4].

„Vláček“ na obloze

Čas od času se na internetu objeví video, na kterém lze spatřit tzv. „vláček“ družic na obloze.



Obr. 5. Družice Starlink na obloze ve formě vláčku krátce po startu. [7]

Případně si podobného úkazu přímo večer na obloze všimne žák nebo někdo z jeho okolí. Bylo by proto vhodné, aby i učitel věděl, co se na obloze v tu chvíli děje. Jde o družice satelitní konstelace Starlink, měla by celkem zahrnovat téměř 12 tisíc družic, které budou poskytovat širokopásmové připojení k internetu. Družice by se měly pohybovat na oběžných drahách ve výškách 440 km, 550 km a 1200 km. Mimochodem, to je více kusů, než kolik družic lidstvo doposud vyneslo do vesmíru. To samozřejmě může vzbuzovat obavy, že se zvýší riziko vzniku kosmického smetí. Aktivní družice většinou tento problém nepředstavují, jsou totiž říditelné, rizikem se stávají vysloužilé a neovladatelné kusy. Družice Starlink mají být stahovány z oběžných drah po pěti až sedmi letech provozu, jejich životnost je ovšem delší. Při jejich řízeném zániku v atmosféře mají kompletně zaniknout a na povrch Země nemají dopadnout žádné trosky.

Nízká oběžná dráha družic sítě Starlink má i výhody pro samotné fungování celé sítě. Krátká vzdálenost mezi družicí a pozemní stanicí představuje kratší dobu šíření signálu a menší energetické nároky na pozemní vybavení. Pro připojení bude potřeba pozemní terminál, který bude zhruba o velikosti „krabice od pizzy“. Pozemní anténa bude pracovat na frekvencích 10,7 GHz až 14,5 GHz. Je uvažován gigabitový přenos s odezvou maximálně 25 ms. Beta uživatelé širokopásmové satelitní sítě Starlink dosahovali podle nástroje speedtest.net při stahování (download) rychlosti od 11 Mb/s až 60 Mb/s, při nahrávání (upload) od 5 Mb/s do 18 Mb/s. Odezva (ping) se pohybovala mezi 31 ms až 94 ms. [2]



Obr. 6. Pozemní terminál pro příjem ze sítě Starlink [5].

Heavens-above.com

Nejenom pro zjištění přeletů družic sítě Starlink nebo Mezinárodní vesmírné stanice (ISS) doporučuji použít stránky [1]. Jde o stránky, které provozuje a spravuje Christopher Peat z německého Mnichova (pod hlavičkou německé firmy Heavens-Above GmbH). Obsahují astronomické informace o družicích (přelety družic a stanic – ISS a nyní Starlink, sondy opouštějící Sluneční soustavu, výšku ISS nad zemí) a vesmíru (zatmění Slunce, interaktivní

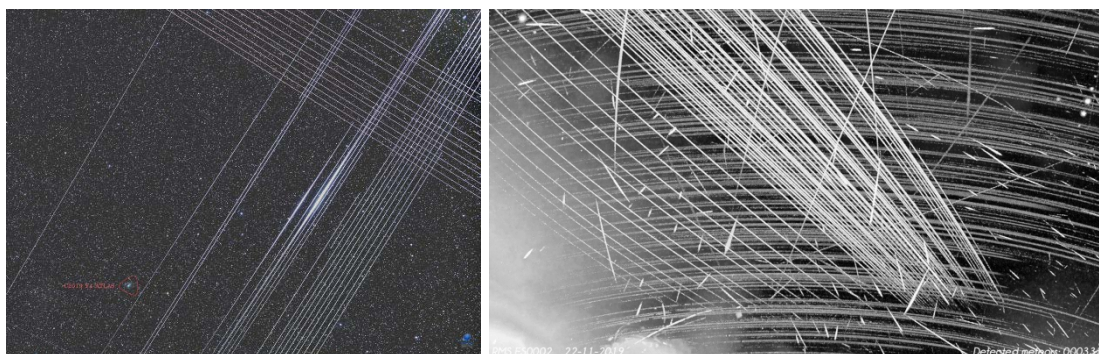
mapa oblohy, noční obloha, Slunce, Měsíc, planety, Sluneční soustava, komety, planetky, souhvězdí). Jsou k dispozici i v českém jazyce a pro řadu úkazů je důležitá poloha pozorovacího místa, kterou lze jednoduše nastavit, buď nalezením podle názvu, nebo zadáním zeměpisných souřadnic. Seznam úkazů by měl pomoci pozorovat a sledovat satelity obíhající okolo Země bez potřeby vlastnit dalekohled. U každého úkazu je podrobná mapa hvězdné oblohy s vyznačením trajektorie satelitu na hvězdném pozadí, jak bude situace na obloze vidět při průletu. V minulosti byly k dispozici mise raketoplánů (do července 2011), případně záblesky družic Iridium (do května 2018). Americký časopis Sky & Telescope před lety popsal tyto stránky jako „nejoblíbenější web pro sledování satelitů“.

Obr. 7. Základní stránka webu Heavens-above.com [1] nastavená na Plzeň a český jazyk.

Astronomie

Družice začaly ovlivňovat pozemní astronomická pozorování daleko dříve před tím, než se na oběžnou dráhu okolo Země vydaly zástupy družic sítě Starlink. Každý objekt na oběžné dráze (a nejenom tam, i v nižších vrstvách atmosféry) odráží sluneční záření, takže může zanechat stopu na astronomických fotografiích nebo detekčních senzorech přístrojů. Boj tedy astronomové začali prohrávat již v roce 1957. U satelitů sítě Starlink nepomohou argumenty, že se družice po startu postupně dostávají na vyšší oběžné dráhy, protože vizuálně sice budou družice obtížněji pozorovatelné, nicméně na fotografiích se při delších expozicích opět objeví, krom toho budou rušit infračervené, resp. rádiové pozorování.

Okolo ochrany noční oblohy se vedou dlouhodobá jednání, uvidí se časem, zda se nějaká regulace nebo pravidla stanoví. Nyní žádné kosmické právo regulující světelné znečištění z vesmíru neexistuje.



Obr. 8. Astronomická fotografie s rušivými drahami družic Starlink (vlevo). Časosběrný snímek zachycující dráhy družic sítě Starlink. Na pozadí jsou dráhy hvězd (vpravo). [6]

Závěr

Není možné v tomto příspěvku vyjmenovat všechna pro a proti. Ponechávám tedy na každém čtenáři, aby si udělal svůj názor na situaci ohledně projektů typu Starlink. Pro někoho se bude jednat o technologický průlom (revoluci), pro jiného bude tato cena příliš vysoká a bude se spíše jednat o zkázu astronomického pozorování tak, jak jsme na něj od nepaměti zvyklí.

Literatura

- [1] Peat Ch.: *Heavens-above*. Heavens-Above GmbH, Mnichov 2020. Dostupné online: www.heavens-above.com
- [2] Brodtkin J.: *SpaceX Starlink speeds revealed as beta users get downloads of 11 to 60Mbps*. Ars Technica, 2020. Dostupné online: arstechnica.com/information-technology/2020/08/spacex-starlink-beta-tests-show-speeds-up-to-60mbps-latency-as-low-as-31ms/
- [3] *Falcon 9 | Overview*. Dostupné online: www.youtube.com/watch?v=Z4TXCZG_NEY
- [4] *SpaceX Starlink 11 fairing catching by Ms Tree autopilot droneship*. Dostupné online: www.youtube.com/watch?v=ni5xaFTw7To
- [5] Janáček I.: *Jiří Grygar a jeho pohled na Starlink a Elona Muska*. ElonX, 2020. Dostupné online: www.elonx.cz/jiri-grygar-a-jeho-pohled-na-starlink-a-elona-muska/
- [6] Redakce astro.cz: *Ztráta noční oblohy kvůli desetitisícům družic*. Astro.cz, 2020. Dostupné online: www.astro.cz/clanky/svetelne-znecisteni/ztrata-nocni-oblohy-kvuli-desetitiscum-druzic.html
- [7] Mánek J.: *"Vláček" družic Starlink ze startu 22.dubna 2020*. Dostupné online: www.facebook.com/jan.manek.547/posts/329732511329193
- [8] Dostupné online: www.flickr.com/photos/spacex/25557986177/
- [9] Dostupné online: commons.wikimedia.org/wiki/File:Elon_Musk_Royal_Society.jpg

- [10] Dostupné online: www.insightobservatory.com/2015/10/observing-iridium-flares.html
- [11] Dostupné online: skyandtelescope.org/astronomy-resources/astrophotography-tips/photographing-iridium-flares/
- [12] Dostupné online: www.spaceflightinsider.com/missions/commercial/first-set-iridium-next-satellites-ready-launch-july/

Experimenty u vody i ve vodě

Zdeňka Kielbusová

Oddělení fyziky, Katedry matematiky, fyziky a technické výchovy,
pedagogická fakulta, ZČU v Plzni

Abstrakt

Příspěvek obsahuje návody na čtyři jednoduché experimenty pro malé i velké, které lze realizovat nejen doma, ale i u vody.

Jednoduché experimenty pro malé

Vodní hodiny

Jednoduchý model vodních hodin, který je vhodný pro malé děti.

Pomůcky:

Malý plastový kalíšek, velký plastový kalíšek, víčko od PET lahve s širším hrdlem, jehla, zapalovač, dřívko od nanuka (lékařská špachtle), nit, modelína, rolnička a samozřejmě voda, ideálně obarvená.

Příprava a provedení:

Nejdříve si připravíme vhodné plastové kalíšky. Ideální volba velikosti kalíšků je taková, že obvod horního okraje obou kalíšků je stejný (viz. obr. 1.). Nad plamenem zapalovače si nahřejeme jehlu, kterou uděláme do středu dna malého plastového kalíšku díru, aby tudy mohla posléze odtékat nalitá voda. Znovu nahřejeme jehlu nad plamenem a tentokrát uděláme malou dírkou do středu víčka od PET lahve. Dírkou ve víčku protáhneme nit, zajistíme ji proti pohybu a připevníme na ni rolničku. Teď již máme vše připravené a můžeme sestavit a spustit samotné hodiny (viz. obr. 1.)



Obr. 1. Vodní hodiny – uspořádání experimentu.

Vysvětlení:

Dírkou v malém kalíšku postupně odtéká voda do většího kalíšku. S klesající hladinou uvnitř malého kalíšku klesá i víčko, ke kterému je připevněna rolnička. Jakmile klesne hladina dostatečně, stáhne víčko rolničku dolů a ta zacinká.

Tipy:

Pomocí velikosti dírký v malém kalíšku a délky nitě mezi víčkem a rolničkou můžeme korigovat délku časového intervalu. Větší víčko použijeme i z toho důvodu, abychom měli jistotu, že se rolnička trefí do něj a nespadne do zbylé vody uvnitř kalíšku. Dovnitř víčka přidáme trochu modelíny, aby bylo trochu těžší, jinak by se mohlo stát, že víčko nestáhne rolničku dolů a zůstane viset na niti.

Vodní pumpa

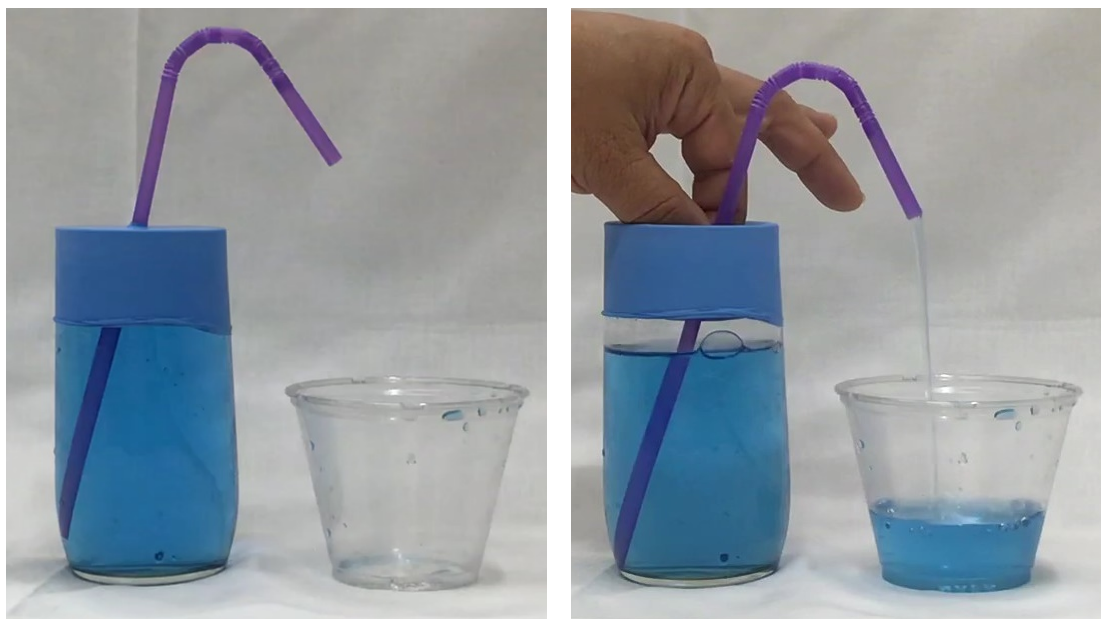
Velmi jednoduchý model vodní pumpy, který si zvládne s malou pomocí vyrobit i předškolák.

Pomůcky:

Vyšší sklenička, brčko s kloubem, nafukovací balónek, nůžky, kalíšek na vodu a samozřejmě voda, ideálně obarvená.

Příprava a provedení:

Připravíme si nafukovací balónek, kterému ustříháme spodní okraj tak, abychom jej byli schopni natáhnout přes horní okraj skleničky jako blánu (viz obr. 2.). Poté, co jsme vyzkoušeli, že jde balónek na skleničku natáhnout, jej sundáme a do sklenice nalijeme obarvenou vodu téměř až po okraj. Balónek opět umístíme na skleničku a nůžkami do středu napnuté blány vystříháme malou dírkou, kterou provlékneme brčko s kloubem. Pumpu máme sestavenou, teď již stačí jen prsty zatlačit na blánu balónku a sledovat, jak voda teče z brčka.



Obr. 2. Vodní pumpa – uspořádání experimentu.

Vysvětlení:

Tím, že tlačíme prsty na blánu balónku, roste uvnitř skleničky tlak vzduchu a stlačený vzduch vytlačuje vodu brčkem ven.

Tipy:

Pozor, dírka v bláně z balónku musí být opravdu malá, aby mezi brčkem a blánou nevnikal do skleničky vzduch.

Jednoduché experimenty pro větší

Síla povrchového napětí

Obrázek tohoto experimentu jsem objevila v knize z roku 1648 [3].

Pomůcky:

Korkový špunt (ideálně od Sektu), hřebíčky, tenký drátek, dva špendlíky, nádoba na vodu, jar a samozřejmě voda.

Příprava a provedení:

Pokud seženeme korkový špunt a kovový košíček (agrafu) od sektu, máme polovinu práce již hotovou. Pokud se nám to nepodaří, budete si muset z tenkého drátku vytvořit korunku (viz. obr. 3.), kterou za pomoci dvou špendlíků přichytíte k horní části korkového špuntu. Do spodní části korkového špuntu postupně zamačkáváme hřebíky či jiné možné závaží. Připravíme si nádobu na vodu a hřebíky, které slouží jako závaží, přidáváme do té doby, dokud nebude korek téměř celý potopen.



Obr. 3. Konstrukce špuntu s korunkou.

Jakmile umístíme celou soustavu do vody, korek se potopí a nad vodu bude koukat jen korunka vytvořená z na maximum roztaženého kovového košíčku. Jemně korunku zatlačíme až po vršek pod hladinu a celá soustava zůstane potopená. Jakmile do vody

přidáme trochu Jaru, nebo jiného detergentu, korunka z kovového košíčku se opět vynoří nad hladinu.

Vysvětlení:

Tímto experimentem si můžeme ukázat sílu povrchového napětí vody. Povrchové napětí vody je v tomto případě větší, než je vztlaková síla. Tím, že jsme do vody přidali Jar, jsme snížili povrchové napětí vody a vztlaková síla vytlačila korunku z kovového košíčku zpět nad hladinu.



Obr. 4. Průběh experimentu.

Tipy:

Vyladit celou soustavu chce trochu trpělivosti. Pokud máte špunt příliš velký, klidně spodní část seřízněte.

Proč si mýt ruce?

Pomůcky:

Uzavíratelný Pytlík vyrobený z LDPE, kousek papíru s natištěnou předlohou, lihový fix, nádoba na vodu a samozřejmě voda.



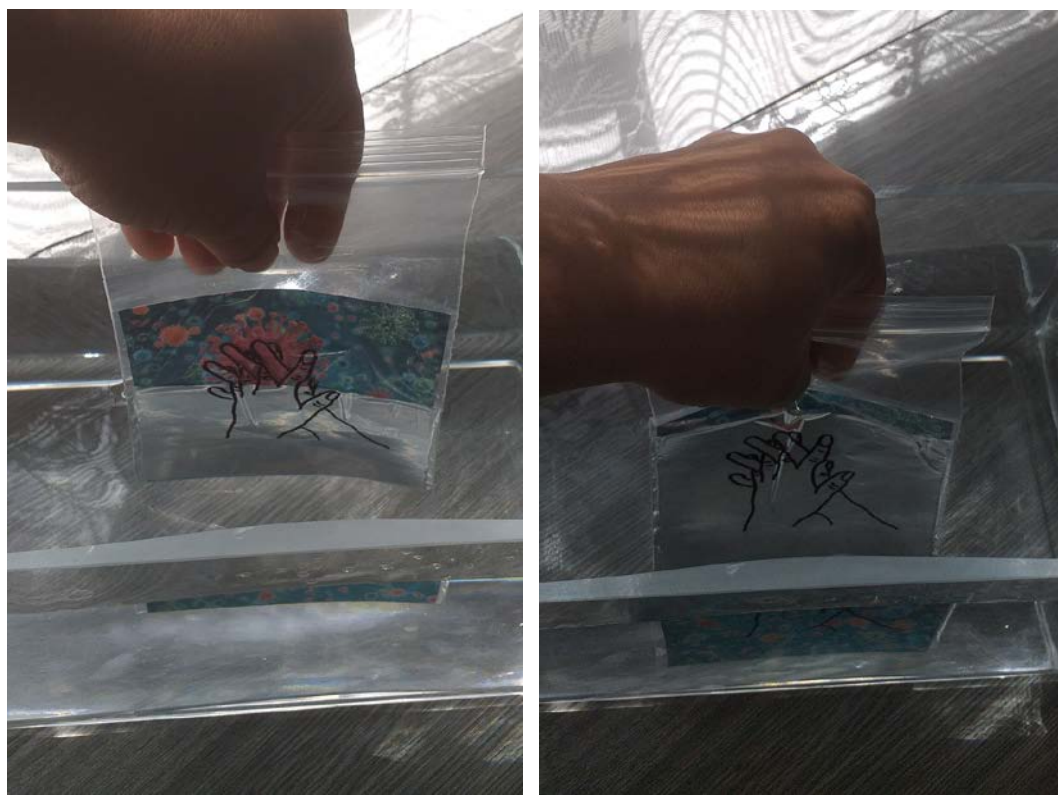
Obr. 5. Uspořádání experimentu.

Příprava a provedení:

Do pytlíku z LDPE vložíme předtištěný nebo namalovaný obrázek, vytlačíme přebytečný vzduch a uzavřeme. Vezmeme lihový fix a na pytlík nakreslíme to, co chceme, aby po potopení do vody bylo vidět (v našem případě ruce). Zavřený pomalovaný pytlík ponoříme téměř kolmo do vody a sledujeme, co se stane.

Vysvětlení:

Materiál LDPE je vůči vodě smáčivý ($\gamma = 25 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$) [1]. Mezi stěnou pytlíku z LDPE a papírem vzniká tenká vzduchová vrstva, na které dochází k totálnímu odrazu světla a my vidíme ne světlo odražené od papíru (obrázku), ale odražené od rozhraní voda (LDPE)-vzduchová vrstva. Proto zmizí jen obrázek na papíru, ale již ne obrázek, který jsme namalovali na stěnu pytlíku. Na podobný experiment se můžete podívat na videu, které je umístěné na YouTube [2].



Obr. 6. Průběh experimentu.

Literatura

- [1] *Ekobal* [online]. [cit. 2020-09-12]. Dostupné z: <https://www.ekobal.cz/o-nas/aktuality/povrchove-napeti-nepodcenujte>
- [2] 5-minute crafts; 28 fun experiments you'll want to try. [cit. 2020-09-12]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=zXhkvlu1fUs&t=497s>
- [3] MONETA, Francefco. *Renitenza certissima dell'ACQVA*. Roma, 1648.

Masáž z pohľadu fyziky

Lucia Klinovská, Jana Jakubičková

Katedra didaktiky matematiky, fyziky a informatiky UK

Abstrakt

V príspevku sa zameriame na tlak pri masáži z hľadiska fyziky. V úvode uvedieme stručné teoretické pozadie súvisiace s masážou a vymedzíme základné pojmy. Následne prezentujeme aktivitu, ktorá ponúka študentom možnosť prehĺbiť pochopenie pojmu tlak. Cieľom aktivity je nielen budovanie medzipredmetových vzťahov, či možnosť osvojenia si vybraných spôsobilostí vedeckej práce, ale aktivita by mala študentov viesť k správne mu používaniu pojmov tlak a tlaková sila. Hoci danú aktivitu prezentujeme ako určenú pre študentov odboru Masér, je vhodná aj pre iné odbory a študijné programy.

Úvod

Pri masáži často nezažívame len príjemné pocity, ale kde-tu nás hmat poriadne zabolí. Bolest' môže byť spôsobená nielen reflexnými zmenami, ale aj nevhodným hmatom, alebo neadekvátnou veľkosťou tlakovej sily. Úlohou budúcich masérov počas štúdia nie je iba naučiť sa masérске techniky a ich správne používanie, ale aj absolvovať všeobecno-vzdelávacie predmety, medzi ktorými je aj kurz fyziky. Vo vyučovaní fyziky je veľmi dôležité prepojenie teoretických poznatkov s praxou, na ktorú sa študenti pripravujú na odborných predmetoch. Jednou z možností prepájania odborných predmetov s fyzikou je používanie príkladov zo života, ktoré možno implementovať formou aktivít zameraných nielen na prepojenie, ale aj prehĺbenie vedomostí študentov. Neoddeliteľnou súčasťou štúdia odboru Masér na stredných zdravotníckych školách je používanie pojmu tlak. Študenti i učitelia používajú tento pojem bežne, a preto považujeme za veľmi dôležité, aby študenti tento pojem nielen aktívne používali, ale aby ho aj chápali. Pri budovaní fyzikálnych pojmov sa kladie dôraz na aktívnu účasť žiaka vo vyučovacom procese.

Základné pojmy a definície

Pojem **masáž** je odvodený z gréckeho slova „massó“, čo znamená hniest', hnetiť. Ide o činnosť, pri ktorej masér pôsobí na povrch tela pacienta rukami, čiže na organizmus pacienta pôsobia mechanické podnety tzv. **hmaty**. Z hľadiska použitých podnetov masáž zaraďujeme do odvetvia mechanoterapie (liečba mechanickými podnetmi). Podľa spôsobu aplikácie mechanických podnetov rozlišujeme masáž *manuálnu* (mechanické podnety aplikuje masér na telo pacienta rukami), *prístrojovú* a *kombinovanú*.

V nasledujúcej časti príspevku sa zameriavame na manuálnu masáž, kedy masér na telo pacienta pôsobí rukami, teda tlakovou silou. Z hľadiska liečebných účinkov rozdeľujeme manuálnu masáž na *klasickú masáž*, *reflexnú masáž* a *manuálnu lymfodrenáž*. Pri klasickej masáži vykonáva masér sústavu masážnych hmatov na dosiahnutie preventívneho a liečebného účinku na tele pacienta. Na rozdiel od klasickej masáže, pri reflexnej masáži sa masér zameriava na odstránenie chorobných zmien na koži a tkanivách tzv. **reflexných zmien** (sfarbenie kože, napätie kože, opuch, stvrdnuté miesta, ...). Cieľom reflexnej masáže je vyhmatať a masírovať zmeny na tele pacienta so zmenenou kožnou citlivosťou.

Reflexnú masáž môžeme definovať ako manuálny liečebný zásah na povrch tela, aplikovaný v miestach druhotných zmien reflexne vyvolaných ochorením. Posledný druh manuálnej masáže, manuálna lymfodrenáž, je špeciálna hmatová technika zameraná na lymfatický systém. Hmaty vykonávané pri tomto type masáže majú kruhový alebo špirálový charakter a pomalú frekvenciu. Cieľom manuálnej lymfodrenáže je nielen pomôcť správne fungovaniu lymfatického systému pacienta (odvádzanie toxínov z tela), ale aj zvýšenie odolnosti proti infekciám, teda posilnenie imunitného systému [1], [2]. Z hľadiska špecifickosti hmatov a náročnosti masérskej techniky pri manuálnej lymfodrenáži a reflexnej masáži sa v príspevku zameriavame na klasickú masáž. Podľa mechanizmu pôsobenia sa masážne hmaty pri klasickej masáži delia na:

- trenie,
- vytieranie a roztieranie,
- hnetenie,
- tepanie,
- chvenie (vibrácia) [1].

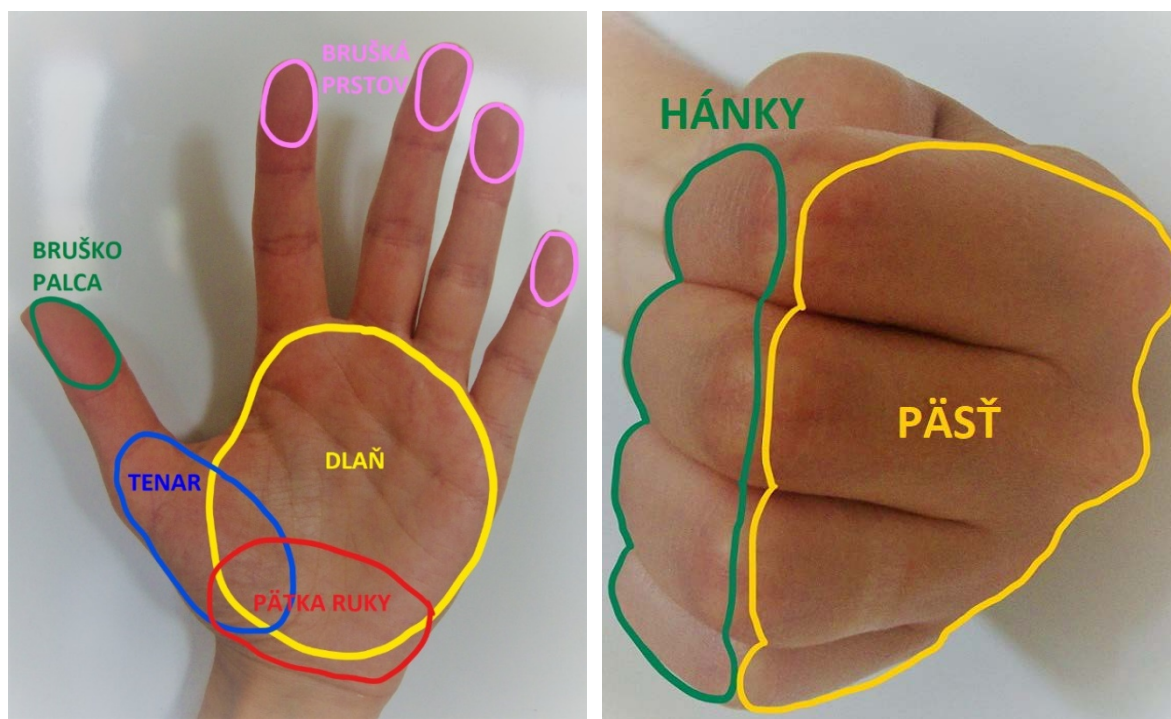
Masáž sa začína trením, aby sa tkanivo prekrvilo a predhrialo. Trenie zároveň slúži na nanášanie masážneho prostriedku. Potom nasledujú zvyšné hmaty, ktoré na seba plynule nadväzujú a pravidelne sa striedajú namáhavejšie s ľahšími. Na základe pocitov, reakcií a masírovanej oblasti tela pacienta, masér prispôsobuje poradie a druhy hmatov [2]. Smer masážnych hmatov má byť dostredivý (smerom k srdcu), aby sa podporil krvný obeh a tok lymfy [1].

Ďalším dôležitým aspektom kvalitnej masáže je adekvátne tlaková sila, ktorou masér pôsobí na telo pacienta. V odbornej literatúre i na internetových zdrojoch súvisiacich s masérskymi technikami či službami, ktoré maséri ponúkajú, sme sa nestretli s pojmom tlaková sila. Častejšie sa v textoch objavujú slová prítlak a tlak [3], [4], [5], [6]. S pojmom prítlak sa môžu študenti oboznámiť počas štúdia aerodynamiky. Avšak s definíciou prítlaku v súvislosti s masážou, sa vo vyššie uvedenej literatúre nestretáme. Ján Sedmík vo svojej publikácii [7] pri neuromuskulárnej (zameranej na svaly a nervy) masáži, ktorá je vykonávaná bruškami prstov a palcov, uvádza: „*Prítlak je poměrně veliký a činí až 50 newtonů a někteří maséři nezřídka vyvíjejí při ošetřování enormně obézních pacientů až trojnásobnou sílu (150 N).*“ Z uvedeného textu vyplýva, že jednotkou prítlaku, ktorú autor používa je newton. Vieme, že newton je jednotkou sily, a teda autor stotožňuje prítlak so silou. Domnievame sa, že slovo prítlak v odbornej literatúre predstavuje tlakovú silu, teda silu, ktorou masér „pritlačí“ na telo pacienta.

Ak masér pôsobí tlakovou silou na určitú plochu tela pacienta, v danom mieste je tlak. Tlak p definujeme ako podiel: $p = \frac{F}{S}$, kde F je sila pôsobiaca kolmo na plochu S . Jednotkou tlaku je pascal (Pa) [8]. Pri masáži masér neprispôsobuje len veľkosť tlakovej sily, ktorou pôsobí na telo pacienta, ale mení aj veľkosť plochy, na ktorú pôsobí. Veľkosť plochy, na ktorú masér pôsobí silou, je rovnako veľká ako veľkosť plochy ruky, ktorou sa masér dotýka tela pacienta. Pri rôznych hmatoch sú využívané rôzne časti ruky, medzi ktorými sú: celá ruka, dlaň, tenar, päťka ruky, bruška prstov a palca, päšť, hánky a iné. Vybrané časti ruky sú znázornené na obr. 1.

Dôležitou súčasťou vzdelávania na stredných zdravotníckych školách je práve prípravná funkcia na odbornú zložku vzdelávania a na prax konkrétneho študijného odboru [9]. Aj vyučovanie fyziky by malo študentov stredných odborných škôl pripraviť na budúcu rolu

v spoločnosti. Uvedená aktivita je navrhnutá s cieľom prepojenia vyučovania fyziky so študijným odborom a využitia prvkov kontextuálneho prístupu k vyučovaniu, ktorý vo všeobecnosti pomáha aktivizovať študentov vo vyučovacom procese či zlepšiť ich postoj k vyučovaciemu predmetu.



Obr. 1. Časti ruky.

Príprava vyučovacej jednotky – Materiál pre učiteľa

Cieľ aktivity:

Aktivita je zameraná na pochopenie/upevnenie pojmov tlaková sila a tlak, a zároveň nadväzuje na poznatky zo základnej školy. Cieľom aktivity je prepojenie teoretických poznatkov s praxou v kontexte masáže, rozvoj tímovej práce študentov, argumentačných zručností, osvojenie si plánovacej i realizačnej časti budovania poznatkov, s ktorými súvisí aj rozvoj spôsobilostí vedeckej práce, medzi ktorými sú formulácia hypotéz, meranie, zber dát, vyhodnocovanie výsledkov merania i formulácia záverov a zovšeobecnení. Aktivita je vhodná nielen pre študentov odboru Masér na stredných zdravotníckych školách, ale aj pre študentov iných odborov a študijných programov.

Čo už študent vie:

Študent strednej školy pozná pojmy tlak a tlaková sila. Mal by poznať vzťah na určenie veľkosti tlaku pri pôsobení sily veľkosti F kolmo na plochu s prierezom S . So skúsenosti vieme, že študenti dané pojmy často stotožňujú, nerozlišujú ich, čo vedie k formuláciám typu: „tlak pôsobí...“ Taktiež sa stretávame s tým, že študenti síce daný vzťah poznajú, ale nerozumejú mu.

Smerujúce otázky:

Pri masáži si zažil príjemné pocity úľavy, ale na niektorých miestach ťa hmat (mechanický podnet na tvoje telo) poriadne zbolel. Masér ti povedal, že v daných miestach nenachádza reflexné zmeny. Čo znamená, že cítiš bolesť? Možno bolesť merať? Aké fyzikálne veličiny súvisia s pocitmi vnímanými pri masáži v masírovanom mieste? Ako dané parametre ovplyvňujú nepríjemný tlak, ktorý cítiš pri masáži? Sformuluj hypotézy vyjadrujúce vzťah medzi premennými. Na základe čoho, si dané hypotézy stanovil? Zdôvodni ich.

Odporúčané pomôcky:

štvorčekový papier, štetec, farby, nožničky, písacie potreby, váhy, kopírovací papier, kancelársky papier

Priebeh aktivity:

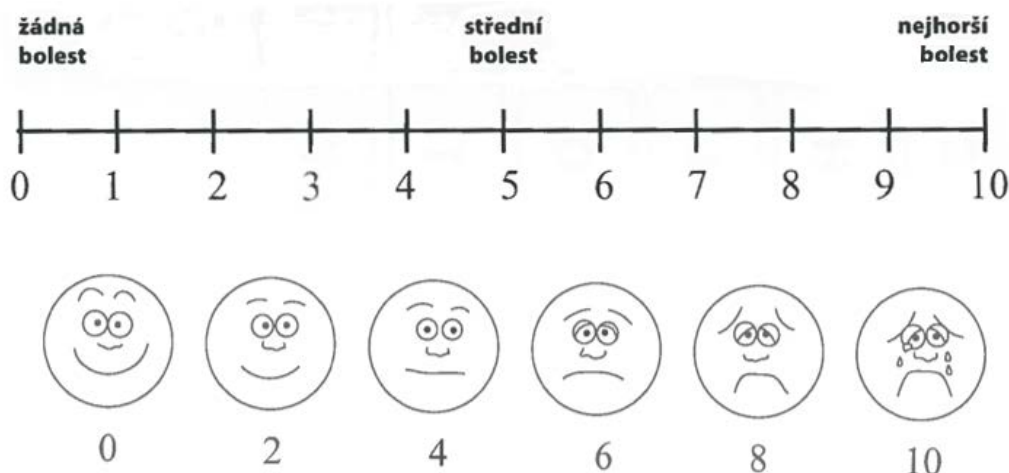
Navrhnutú aktivitu odporúčame realizovať na laboratórnych cvičeniach, resp. na dvoch vyučovacích hodinách. Pri realizácii je vhodné, aby študenti pracovali v skupinách po dvoch až štyroch. Pred uskutočnením aktivity je potrebné zabezpečiť dostatočné množstvo pomôcok. Ak študent navrhne iný spôsob riešenia, je vhodné, aby ho realizoval, ak má k dispozícii materiálne zabezpečenie. Rovnako je potrebné upozorniť študentov na vzájomné neodborné masírovanie, pri ktorom hrozí dokonca poškodenie zdravia. Študenti by mali vedieť zhodnotiť, že masáž je vysoko odborná činnosť.

Bennett uvádza, že záujem študentov o dianie na hodinách prírodovedných predmetov a nadšenie z nich sa vo všeobecnosti zvyšuje, ak sa na hodinách používajú materiály, prípadne aktivity súvisiace s bežným životom študentov [10].

V úvode vyzveme študentov k tomu, aby si predstavili, že sú na masáži. Masáž v nás evokuje príjemné pocity, relax, či očakávanie úľavy od bolesti. Pozornosť študentov upriamime k bolesti, ktorú pociťujeme pri niektorých hmatoch maséra v miestach, kde sa nenachádzajú reflexné zmeny. Úlohou učiteľa je zabezpečiť, aby študent danej terminológií rozumel, teda je potrebné objasniť pojmy hmat a reflexné zmeny.

Nasleduje učiteľom riadená diskusia, ktorá začína otázkami: „Čo znamená, že cítiš bolesť? Možno bolesť merať?“ Úlohou učiteľa je pomocou otázok sprevádzať študenta riešením problému. V tejto časti so študentmi diskutujeme o tom, čo je to bolesť. Bolesť možno definovať ako ochranný mechanizmus, ktorý nás chráni pred ďalším poškodením a upozorňuje, že niečo nie je v poriadku [11].

Pretože bolesť je subjektívny nepríjemný pocit, emocionálny zážitok, nevieme ju kvantifikovať. Študentov vyzveme k tomu, aby navrhli spôsob, akým možno bolesť charakterizovať kvalitatívne. Táto časť aktivity nie je časovo náročná, ale je pre študentov atraktívna a podporuje rozvoj ich tvorivosti. Na obr. 2 uvádzame príklady subjektívnych škál na hodnotenie bolesti (číselná škála a škála využívajúca emotikony) [13].



Obr. 1. Subjektívne škály na hodnotenie bolesti [13].

Následne prechádzame k hlavnej časti aktivity, v ktorej učiteľ sprevádza prácu študenta. Ich úlohou je pozrieť sa na masáž z pohľadu fyziky, nájsť fyzikálne veličiny s ňou úzko súvisiace a determinujúce pocity, ktoré cítime pri masáži. Učiteľ môže študentom položiť nasledujúcu otázku: „Aké fyzikálne veličiny súvisia s pocitmi vnímanými pri masáži v masírovanom mieste?“ Očakávame, že žiaci navrhnú aj také fyzikálne veličiny, ktoré síce súvisia s masážou, ale ich ďalšie skúmanie nie je súčasťou aktivity. Pozornosť študentov upriamime na fyzikálne veličiny tlak, tlaková sila a veľkosť masírovanej plochy.

Úlohou študentov je sformulovať hypotézy o vzťahoch medzi fyzikálnymi veličinami, ktoré predpokladajú vzťah medzi nezávislými premennými a tlakom. Dôraz kladieme nielen na zdôvodnenie hypotéz, ale aby študenti vymedzili premenné v predpokladanom vzťahu. Jedna z hypotéz bude predpokladať vzťah medzi tlakom a veľkosťou masírovanej plochy. Je potrebné zabezpečiť, aby študenti vedeli, že veľkosť masírovanej plochy je zhodná s veľkosťou časti ruky, ktorú masér používa.

Pri riešení úlohy sa zameriame na vybrané časti ruky, ktoré sa pri masáži používajú najčastejšie, a zároveň sa dá určiť ich plocha. Medzi vybranými časťami ruky sú: celá ruka, dlaň, tenar, päťka ruky, bruška prstov a palca, päšť a hánky (viď obr. 1). V realizačnej fáze úlohy študenti v skupinách verifikujú stanovené hypotézy. Na určenie veľkosti tlaku je potrebné, aby študenti najskôr odhadli veľkosť priemernej tlakovej sily, ktorou masér pôsobí kolmo na telo pacienta. Ak študenti nie sú zvyknutí odhadovať, táto úloha nebude pre nich triviálna. Učiteľ sa môže rozhodnúť, či študentov nechá túto silu odhadnúť, alebo im zadá hodnotu priemernej sily. Dobrým odhadom veľkosti priemernej sily je štvrtina tiaže maséra.

Ďalšou podstatnou časťou aktivity je záverečné zhrnutie celej aktivity a jej interpretácia. Je dôležité vrátiť sa k cieľu aktivity, zhodnotiť jeho naplnenie jednak zo strany učiteľa, ale aj zo strany študenta. Učiteľ by mal pripomenúť študentom prípravnú funkciu aktivity k odbornému predmetu, či budovanie medzipredmetových vzťahov. V prílohe príspevku pripájame pracovný list pre študenta, do ktorého zapisujú svoje hypotézy, návrhy riešenia, získané dáta a odpovedajú na otázky.

Príloha: Materiál pre študenta

Masáž z pohľadu fyziky

Masáž je činnosť, pri ktorej masér pôsobí rukami na povrch tela pacienta. Pri masáži vnímame príjemné pocity, zažijeme zimomriavky, relaxujeme a očakávame úľavu od bolesti. Niekedy sa stane, že nás hmat poriadne zabolí, hoci masér v daných miestach nenachádza reflexné zmeny.



Čo znamená, že cítiš bolesť? Možno bolesť merať?

Aké fyzikálne veličiny súvisia s pocitmi vnímanými pri masáži v masírovanom mieste?

Predstavme si, že by sme zabezpečili konštantnú veľkosť tlakovej sily pri použití rôznych častí ruky, ako sa to prejaví na účinku tlakovej sily, teda tlaku? Sformuluj hypotézu obsahujúcu predpokladaný vzťah medzi premennými. Zdôvodni na základe čoho, si danú hypotézu sformuloval.

Navrhni spôsob, ktorým by si svoje tvrdenie overil.

Praktická časť:

Najskôr plochy jednotlivých častí ruky odhadni a následne ich urči navrhnutým spôsobom.

použitá časť ruky	odhad [cm^2]	meranie [cm^2]
brušká prstov		
bruško palca		
Hánky		
Päšť		
päťka ruky		
Tenar		
Dlaň		
celá ruka		

Aby sme určili tlak v masírovanej oblasti, potrebujeme odhadnúť veľkosť tlakovej sily, ktorou masér pôsobí. Vie masér pôsobiť na telo pacienta väčšou silou ako je jeho tiažová sila? Akou priemernou silou masér pôsobí na telo pacienta?

Konštantná veľkosť sily, ktorú použijem pri výpočtoch:

použitá časť ruky	plocha [m^2]	tlak [Pa]
brušká prstov		
bruško palca		
Hánky		
Päšť		
pätka ruky		
Tenar		
Dlaň		
celá ruky		

Je maximálna sila, ktorou pôsobíme na telo pacienta rovnaká, keď používame päšť a bruško ukazováka? Svoju odpoveď zdôvodni. Navrhni spôsob, ktorým zistíš veľkosť maximálnej sily, ktorou môžeš pôsobiť jednotlivými časťami ruky.

Ako ovplyvňuje veľkosť sily, ktorou pôsobíme na telo pacienta tlak v danom mieste? Sformuluj hypotézu vyjadrujúcu vzťah medzi premennými. Na základe čoho, si danú hypotézu stanovil?

použitá časť ruky	plocha [m^2]	maximálna sila [N]	tlak [Pa]
brušká prstov			
bruško palca			
Hánky			
Päšť			
pätka ruky			
Tenar			
Dlaň			
celá ruky			

Záver

V príspevku sme predstavili aktivitu zameranú na upevnenie pojmov tlak a tlaková sila, ktorá nadväzuje na poznatky zo základnej školy. Cieľom aktivity je nielen prepojenie fyzikálnych poznatkov s praxou, ale aj osvojenie si spôsobilostí vedeckej práce. Aktivitu *Masáž z pohľadu fyziky* sme pilotne zaradili do vyučovacieho procesu na stredných školách formou učiteľom riadenej diskusie. Na základe skúseností z praxe a spätnej väzby študentov sme aktivitu modifikovali do podoby uvedenej v článku, pričom sme ju doplnili o pracovný list, ktorý študentov sprevádza riešením problému. Medzi najčastejšie sa vyskytujúce problémy počas riešenia patrila tvorba odhadov, identifikovanie premenných či formulácia hypotéz. Študenti taktiež mali problém s terminológiou súvisiacou nielen s masážou, ale aj fyzikou, pretože si zamieňali pojmy tlak a tlaková sila. Dôležitým faktorom riešenia úlohy je, aby učiteľ ponúkol študentom vhodnú mieru podpory a zároveň ukončil aktivitu riadenou diskusiou, kde spoločne zhrnú výsledky a vyvodia závery.

Literatúra

- [1] Komačeková, D., et al., 2003. Fyzikálna terapia. Martin: Vydavateľstvo Osveta, 2003. ISBN 80-8063-133-6. p.363.
- [2] Plačková, A., 1992. Liečebná masáž. Vrútky: MIDAN TATRY s.r.o., 1992. ISBN 80-217-0440-3. p. 256.
- [3] Tudajová, L., 2017. Regulácia integratívnej a komplementárnej medicíny v Slovenskej republike: diplomová práca. Hradec Králové: 2017 [cit. 14. 08. 2020]. Dostupné online: https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/171910/?fbclid=IwAR06n_pa6ms2QTkXdnlZQ3FuZyohBHWrhILC04nYeUWkn4mx9bW5xJs07kU
- [4] Palawi asia spa. [cit. 04. 09. 2020]. Dostupné online: <https://www.palawi.sk/olejovky-relax-popis>
- [5] Manipura. [cit. 04. 09. 2020]. Dostupné online: <http://www.manipura.sk/index.php/cennik/cennik-sluzieb>
- [6] Horbacz, A., 2018. Klasická a športová masáž. Košice: UPJŠ, 2018. ISBN 978-80-8152-693-0. Dostupné online: <https://unibook.upjs.sk/img/cms/2018/utvas/klasicka-a-sportova-masaz-naweb.pdf>
- [7] Sedmík, J., 1995. Masáže: Kompletní kniha masážních technik. [cit. 04. 09. 2020]. Praha: Nakladatelství Svoboda, 1995. ISBN 80-205-0429-X. p. 188 Dostupné online: <https://docplayer.cz/1489002-Jan-sedmik-masaze-kompletni-kniha-masaznich-technik.html>
- [8] Demkanin, P., et al., 2010. Fyzika pre 2. ročník gymnázia a 6. ročník gymnázia s osemročným štúdiom. Prievidza: Združenie EDUCO, 2010. ISBN 978-80-89431-10-6. p. 127.
- [9] STREDNÁ ZDRAVOTNÍCKA ŠKOLA: Školský vzdelávací program.
- [10] Bennett, J., 2003. Teaching and Learning Science. London: Continuum, 2003. ISBN 0-8264-6527-7. p.289

- [11] Agel Clinic. Centrum pohybovej medicíny .[cit. 14. 08. 2020]. Dostupné online:
<https://agelclinic.sk/sluzby/ambulancie/liecba-bolesti#>
- [12] Kulichová, M., 2008. Bolesť-definícia, patofyziológia, terminológia. In: Solen. v.1, n. 3, 2008. s. 109-111. Dostupné online:
<http://www.solen.sk/pdf/ad86a35d9186b05253509968862af5dc.pdf>
- [13] Hloch, O., 2018. Užitečné tabulky pro praxis nejen v interních oborech. Praha: Grada Publishing, a.s., 2018. ISBN 978-80-271-0311-9. p. 384

Badatelsky zaměřené laboratorní práce na problematiku hustoty a plování těles

Jiří Kohout

Oddělení fyziky, Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy, Fakulta pedagogická ZČU

Abstrakt

Hustota patří společně s plováním těles dle Archimédova zákona k problematickým tématům výuky, jedná se o tzv. kritická místa kurikula. V příspěvku jsou představeny tři náměty na badatelsky zaměřené laboratorní práce týkající se této oblasti. V nich bude využita závislost hustoty vody na teplotě a salinitě.

Úvod, motivace

Hustota a plování těles byly na základě předchozích komplexních výzkumů [1] identifikovány jako tzv. kritická místa kurikula, tj. v podstatě oblasti, kde žáci základních škol (ZŠ) často nedosahují očekávaných výstupů. V souvislosti s tím je diskutována rovněž otázka časového zařazení těchto témat. Typicky je hustota probírána v 6. ročníku ZŠ společně s dalšími fyzikálními veličinami, plování je poté věnována pozornost v mechanice kapalin v 2. pololetí 7. ročníku. I s ohledem na to, že až u 40 % ZŠ je fyzika v 6. ročníku pouze v rozsahu jedné hodiny týdně [2], však vzniká otázka, zda hustotu nepřesunout do 7. ročníku, kde by mohla být vhodně propojena s problematikou plování. Ta je ostatně užívána jako motivace k zavedení veličiny hustota v klasicky pojatých učebnicích [3], přičemž je odkazováno na zkušenost žáků případně poznatky z 1. stupně ZŠ. Problematika hustoty a jejího vlivu na plování těles ve vodě je z kvalitativního úhlu pohledu často řešena v rámci pro žáky zajímavých tzv. *Sink or float* experimentů. Při nich žáci odhadují, zda daný objekt bude plavat či nikoliv popř. uvádějí důvody, proč u dvou obdobných objektů jeden plave a druhý nikoliv (typické příklady uváděné na internetu jsou třeba jablka vs. hrušky nebo pomeranče vs. limetky).

Sink or float

Na internetu je možné nalézt řadu materiálů (videí, pracovních listů apod.) k uvedené problematice. Tématu byla věnována pozornost i výzkumně, když ve studii [4] bylo zjištěno, že žáci 8. tříd tureckých základních škol mají značné slabiny v určení toho, které faktory rozhodují o tom, zda se objekt potopí či nikoliv. Autoři uvedené studie vyvinuli konceptuální test identifikující tyto problémy a zároveň navrhli jednoduchou experimentální aktivitu sloužící k jejich překonání. Materiály dostupné online jsou velmi často zaměřeny na to, zda budou plavat (či se utopí) jednotlivé druhy ovoce a zeleniny, což pravděpodobně souvisí s tím, že jde o méně snadno odhadnutelné objekty ve srovnání s jinými. Je však třeba upozornit na to, že uvedené materiály zpravidla kalkuluje s tím, že daný druh ovoce se buď potopí, nebo nepotopí, a téměř nikdy nepřipouští v praxi často se objevující situaci, že výsledek experimentu závisí na konkrétní odrůdě, podmínkách růstu, míře zralosti apod. Příkladem může být třeba kvíz [5], kde jsou zahrnuta (a vyhodnocována systémem 0-1) mimo jiné rajska jablíčka, hrušky, švestky či

broskve, což jsou všechno druhy, u nichž mohou v závislosti na okolnostech nastat obě možnosti. Při výuce je tak třeba být ve využívání uvedených materiálů opatrný a brát v úvahu, že u řady druhů ovoce a zeleniny je výsledek experimentu nejistý. To je však výhoda z hlediska kvantitativního uchopení tématu, protože uvedené demonstruje, že dané ovoce či zelenina se z hlediska hustoty pohybuje velmi blízko hodnotě pro vodu, která je za normálních okolností téměř přesně $1\,000\text{ kg/m}^3$. Její hustotu je však možné měnit v poměrně značném rozmezí změnou teploty nebo rozpuštěním vhodné látky, kde se nabízí kuchyňská sůl (tvořená v drtivé většině chloridem sodným). Cílem tohoto textu je proto představit tři konkrétní náměty na laboratorní práce využívající toho, že hustota některých druhů ovoce a zeleniny je blízká hustotě vody a je tak možné docílit situace, že ovoce např. ve studené vodě plavě a v teplé se potápí. To následně umožní stanovit poměrně přesně jeho hustotu. K tomu je však třeba mít dobrou představu o závislosti hustoty vody na teplotě a salinitě, již bude věnována další část příspěvku.

Závislost hustoty vody na teplotě a salinitě

Je všeobecně známo, že hustota vody závisí na teplotě atypickým způsobem, když maximální hodnota je zaznamenána pro teplotu cca $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (tzv. *anomálie vody*). S teplotou rostoucí nad tuto hodnotu hustota roste, nárůst však není v širším intervalu teplot možné pokládat ani přibližně za lineární, protože třeba mezi $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ je rozdíl hustot cca $1,5\text{ kg/m}^3$, zatímco mezi $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ je to již zhruba 6 kg/m^3 . Nelineární je i závislost na salinitě (definované v gramech rozpuštěné soli na 1 kg roztoku, nikoliv na 1 kg čisté vody), ačkoliv zde odchylka od lineárního průběhu není zdaleka tak výrazná a v prvním přiblížení lze kalkulovat s tím, že nárůst salinity o 10 g/kg odpovídá zvýšení hustoty o cca 8 kg/m^3 .

Číselné hodnoty lze dohledávat v tabulkách, výhodnější je však použít kalkulačku v Excelu dostupnou na webové stránce [6], v níž je k výpočtu hustoty jako funkce teploty a salinity využit dosti komplikovaný (ale velmi přesný) vztah uvedený v [7]. Z praktického hlediska je důležité si vyjasnit, v jakém rozmezí se reálně hustota ohřáté resp. osolené vody může pohybovat. Při teplotě $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nulové salinitě je hustota 958 kg/m^3 , což určuje dolní mez. Horní mez by byla teoreticky dána rozpustností chloridu sodného ve vodě, jež při teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ činí 36 g NaCl na 100 g vody, což by odpovídalo maximální salinitě cca 265 g na kg roztoku a hustotě přibližně 1215 kg/m^3 . V reálu by však bylo rozpuštění takhle velkého množství soli ve vodě z mnoha hledisek nepraktické (rozpuštění by i při intenzivním míchání trvalo poměrně dlouho), rozumné je připravit roztok se salinitou nejvýše zhruba 150 g/kg a s hustotou zhruba 1115 kg/m^3 . Pro laboratorní úlohy je tak vhodné připravit objekty s hustotou v tomto rozmezí.

Se zde provedenými úvahami souvisí jedna zajímavá problémová úloha: Jak je možné, že u jezera jménem Mrtvé moře je standardně uváděna salinita vyšší (nejméně 277 g/kg , viz [8]), než by odpovídalo nasycenému roztoku NaCl ? Vysvětlení spočívá v tom, že v Mrtvém moři je (na rozdíl od oceánů) jiné chemické složení solí, když převažuje chlorid hořečnatý mající podstatně vyšší rozpustnost ve vodě (nejméně 52 g na 100 g vody) ve srovnání s chloridem sodným. Vyšší hodnota je tak reálná a Mrtvé moře není v tomto ohledu rekordmanem, protože jezero Gaet'ale v Etiopii má salinitu ještě podstatě větší (převažují tam chloridy vápenatý a hořečnatý, chlorid sodný je zastoupen minimálně).

Náměty na laboratorní práce

Námět 1 – hustota částí pomeranče

První z uvažovaných námětů se týká kvantitativního prozkoumání klasického případu, kdy neoloupaný pomeranč nebo citron plavou na hladině, zatímco oloupané se potopí. Úkolem žáků je stanovit hustotu celého citrusu, jeho vnitřku a kůry a to s využitím přímého určení hustoty z definičního vztahu (tj. stanovení hmotnosti a objemu) a rovněž z plování objektů ve vodě o dané hustotě. Úloha je zadávána jako částečně badatelská, žáci tudíž nemají k dispozici přesnou posloupanost a popis kroků, které mají realizovat. Využít mohou odměrný válec, teploměr, digitální váhy, rychlovarnou konvici, sůl, míchátko a odkaz na kalkulačku pro výpočet hustoty dle přechozí části tohoto článku.

Asi nejlepší postup je nejprve prozkoumat hustotu neoloupaného pomeranče na základě určení jeho hmotnosti a objemu, a v ideálním případě (záleží na typu pomeranče, některé plavou i v horké vodě) i na základě toho, že se v horké vodě potopí a při jejím chladnutí vyplave při určité teplotě na hladinu. V dalším kroku pomeranč oloupeme, přesvědčíme se o tom, že vnitřek se ve vodě potopí a začneme postupně zvyšovat salinitu roztoku. Při dostatečně vysoké salinitě vnitřek pomeranče vyplave, z čehož určíme jeho hustotu. Při znalosti hmotnosti snadno určíme objem vnitřku pomeranče (to je možné udělat i pomocí odměrného válce, ale výpočet bude v praxi asi přesnější) a dopočítáme objem kůry. Kůru zvážíme a ze znalosti objemu a hmotnosti určíme finálně i její hustotu, jež by se měřením získávala těžko (kůra plave na hladině a její objem se pomocí odměrného válce určí jen velmi nesnadno a nepřesně). Realizace této práce v rámci hodinového laboratorního cvičení ukázala, že aktivita žáky sexty relativně bavila a byli schopni samostatně zvládnout základní kroky k určení hustoty jednotlivých částí a dospět ke kvalitativně rozumným výsledkům. Zároveň se však ukázalo, že nepromýšleli do detailu postup tak, aby bylo dosaženo co nejvyšší přesnosti a obecně nevěnovali přílišnou pozornost chybám měření.

Námět 2 – hustota různých druhů rajských jablíček

Druhý námět na laboratorní práci vychází ze skutečnosti, že rajská jablíčka mají hustotu velmi blízkou hodnotě 1000 kg/m^3 , přičemž závisí především na odrůdě a stáří. Je tak možné studovat několik různých druhů rajčat a určovat u nich hustotu ideálně na základě plování tak, že je postupně měněna hustota vody a je zjišťováno, kdy předtím potopená rajčata vyplavou na hladinu. Bylo realizováno měření s keříkovými rajčaty typu Roma (země původu Holandsko) a s dvěma druhy cherry rajčat (odrůda Dattel, Maroko a odrůda Rubín, Česká republika). Od každého druhu byly zkoumány čtyři exempláře. Ve vodě z kohoutku Roma rajčata plavala, zatímco oba druhy cherry rajčat se potopila (platilo pro všechny exempláře). Ve vroucí vodě z rychlovarné konvice se Roma rajčata potopila, ale během chladnutí poměrně rychle vyplavala všechna na hladinu. S ohledem na výše popsanou závislost hustoty vody na teplotě tak lze jejich hustotu stanovit na cca 965 kg/m^3 (v uvedeném experimentu jde o odhad, protože teplota nebyla měřena, při samotné laboratorní práci je samozřejmě toto měření vhodné zajistit, přičemž je třeba dávat pozor na to, že teplota u dna je jiná než na povrchu).

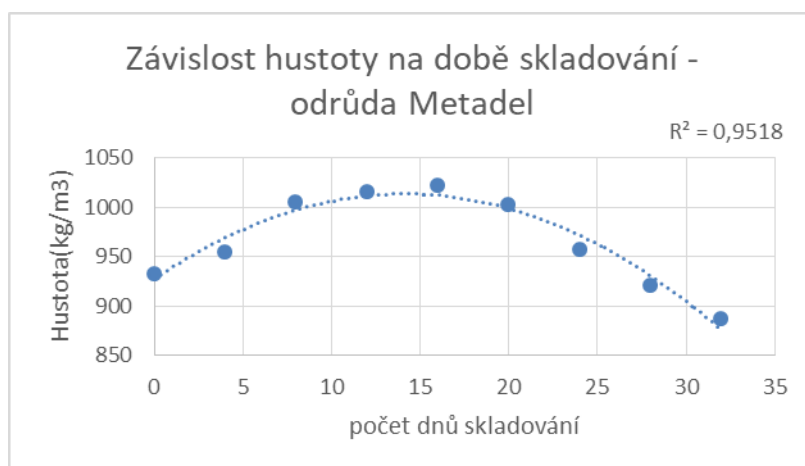
Cherry rajčata byla ponořena do vody o objemu 400 ml, přičemž byla postupně přidávána a rozmíchávána kuchyňská sůl (v krocích po 5 g, hmotnost stanovena pomocí digitálních vah s přesností $\pm 1 \text{ g}$). Zatímco rajčata odrůdy Dattel vyplavala po přidání 15 g soli, u rajčat

odrůdy Rubín toto nastalo až při 25 g. Výpočtem pomocí výše popsané kalkulačky pak bylo zjištěno, že hustota první odrůdy je cca 1030 kg/m^3 , zatímco druhé 1050 kg/m^3 . Mezi jednotlivými exempláři přitom nebyl zjištěn žádný rozdíl.

Žáci by si při měření této úlohy měli uvědomit, že ačkoliv měření hustoty na základě vyplavání objektu v roztoku dané teploty resp. salinity je přirozeně zatíženo chybou způsobenou hned několika faktory (odvažování soli, její nedokonalé rozmíchání apod.), přesnost by zde měla být výrazně vyšší než u výpočtu hustoty přímo z definice, kdy je hmotnost rajčete určena pomocí vah a jeho objem pomocí odměrného válce. Je třeba si uvědomit, že třeba u cherry rajčat (hmotnost typicky 10–15 g) způsobí v tomto experimentu chybné určení hmotnosti soli o 1 g u následně vypočtené hustoty chybu cca 2 kg/m^3 , zatímco stejná odchylka u hmotnosti rajčete při určování hustoty z definice by způsobila chybu řádově větší (až 100 kg/m^3).

Námět 3 – stárnutí rajskeho jablíčka (dlouhodobá domácí lab. práce)

Tento námět vychází ze závislosti hustoty rajskeho jablíčka na jejich stáří, která se mění v důsledku biochemických procesů spojených s jejich dozráváním. Jde o námět na dlouhodobý domácí úkol, kdy žák získá nezralé rajske jablíčko a bude vždy po několika dnech zjišťovat, zda plave či se utopí, určovat jeho hustotu (na základě definice nebo pomocí plování ve vodě o dané teplotě a salinitě) a pořizovat fotodokumentaci demonstrující vývoj rajčete. Typická závislost hustoty na době uplynulé od sklizení rajčete (pro export, tj. ještě zelené) je uvedena pro danou odrůdu v Grafu 1 vytvořeném na základě dat z [9]. U ostatních odrůd se konkrétní hodnoty budou poněkud lišit, nicméně základní trend (nejprve nárůst, poté pokles a přibližně parabolický průběh s vysokou hodnotou spolehlivosti R^2) zůstává stejný.



Graf 1. Závislost hustoty na době skladování.

Vědecká relevance tématu

Poslední výše uvedenou laboratorní práci je možné rozšířit o mezipředmětové vztahy, kdy má žák za úkol zjistit, co je příčinou změn hustoty. Tyto změny přitom souvisí velmi úzce s respirací rajčat, které je věnována značná pozornost v odborné literatuře (např. [10]). Rajske jablíčka přitom hrají v podstatě roli modelového organismu, přičemž poznatky získané při studiu jejich zrání je možné aplikovat na další druhy ovoce a zeleniny [10].

Uvedený příklad demonstruje, že tato problematika není jen potenciálně zajímavé cvičení ve školské fyzice, ale má podstatné dopady směrem k fytoologii, zemědělským vědám a dalším disciplínám.

Velmi výrazný a v literatuře hojně diskutovaný je tento trend u hroznového vína. Bylo například demonstrováno, že hustota kuliček vína velice úzce souvisí nejen s jeho cukernatostí, ale také s obsahem řady významných látek jako jsou flavonoidy či anthocyanin [11]. To následně významně ovlivňuje antioxidační vlastnosti produktů. Podobně byly experimentálně zkoumány a matematicky modelovány změny hustoty kuliček hroznového vína od skončení květenství až po sklizeň [12]. Bylo prokázáno, že hustota je spolehlivou metrikou popisující růstové procesy a umožňující posoudit aktuální stádium vývoje, což je významné pro monitorování procesu v praxi. Uvedené příklady jsou přirozeně jen ilustrační a bez hlubších souvislostí, jež by vyžadovaly odpovídající znalosti z oborů, jimiž se autor textu (a asi ani výrazná většina učitelů fyziky) nezabývá. Mohou však žákům v případě potřeby ilustrovat skutečnost, že hustota ovoce a její určování má v širokém spektru oborů lidské činnosti jasný praktický význam a nejedná se tedy pouze o „výmysl“ učitele fyziky bez hlubšího významu.

Závěr

Tento příspěvek uvádí informace k využití kvalitativních *sink or float* experimentů s ovocem a zeleninou ve výuce a zároveň představuje tři náměty na badatelsky pojaté kvantitativní laboratorní práce zaměřené na toto téma. Tato na přípravu celkem nenáročná cvičení jsou svojí povahou blízka každodenní zkušenosti žáků a mohou tak přispět k jejich lepšímu vnímání fyziky. Zároveň však mají jasný vztah i směrem k zemědělským a vinařským vědám a dalším oborům. Jde tak o téma, kde se školská fyzika dostává s celkem rozumně uchopitelným obsahem poměrně blízko k tomu, co je velmi důležité v jiné vědní disciplíně. To by mohlo přispět k získání lepšího povědomí o všeobecném významu fyziky u žáků.

Literatura

- [1] Kohout J., Mollerová M., Masopust P., Feřt L., Slavík J. *Kritická místa kurikula na základní škole pohledem mezinárodního šetření TIMSS a českých učitelů–poznatky z fyziky*. Pedagogická orientace 29, No 1 (2019), p.5-42.
- [2] Mollerová M., Kohout J., Feřt L., Masopust P. *Nedostatek aprobovaných učitelů fyziky na západě Čech: bude hůř*. Matematika–fyzika–informatika 27, No 1 (2018), p. 46-54.
- [3] Rauner K., Havel V., Höfer G., Kepka J., Petřík J., Prokšová J., Randa M. *Fyzika pro 6. ročník základní školy a primu víceletého gymnázia*. Fraus, Plzeň, 2004. ISBN 80-7238-210-1.
- [4] Ünal S., Coştu B. *Problematic issue for students: Does it sink or float?* Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching 6, No 1 (June 2005), p. 1-16.
- [5] Dostupné online: <https://www.sporcle.com/games/WackyZacky/sink-or-float> [cit. 1.9.2020].
- [6] Dostupné online: <http://web.colby.edu/ch217public/files/2012/04/density-of-water.xlsx> [cit. 1.9.2020].

- [7] McCutcheon SC., Martin JL., Barnwell TO. *Water Quality*. In Handbook of Hydrology. Ed: D.R. Maidment. McGraw-Hill, New York, NY, 1993 (p. 11.3).
- [8] Lensky NG., Dvorkin Y., Lyakhovsky V., Gertman I., Gavrieli I. *Water, salt, and energy balances of the Dead Sea*. Water Resources Research 41, No 12 (2005), Article No. W12418.
- [9] Tigist A., Workneh TS., Woldetsadik K. *Effects of variety on yield, physical properties and storability of tomato under ambient conditions*. African Journal of Agricultural Research 7, No 45 (2016), p. 6005-6015.
- [10] Colombié S., Beauvoit B., Nazaret C., Bénard C., Vercambre G., Le Gall S., ... & Moing A. *Respiration climacteric in tomato fruits elucidated by constraint-based modelling*. New Phytologist 213, No 4 (2017), p. 1726-1739.
- [11] Liu X., Li J., Tian Y., Liao M., Zhang Z. *Influence of Berry Heterogeneity on phenolics and antioxidant activity of grapes and wines: a primary study of the new winegrape cultivar meili (Vitis vinifera L.)*. PLoS One 11, No 2 (2016), Article No. e0151276.
- [12] Letchov G., Roychev, V. *Growth kinetics of grape berry density (Vitis vinifera L. 'Black Corinth')*. Vitis 56 (2017), p. 155-159.

Fyzikální jednotky v letectví

Karel Kolář

Prometheus, spol. s r. o.

Abstrakt

Mohli bychom čekat, že letectví (v EU či alespoň u nás) bude v dnešní době používat výhradně jednotky SI. Není tomu tak. Ve zkratce se podíváme na to, jaké jednotky se používají v letectví a pro jaké účely. Stručně zmíníme i takové zajímavosti, že velice důležité při letu je správně měření tlaku a že za určování výšky, rozstupů a rychlosti letadel je i dost fyziky.

Motivace

Jde o propojení obvykle ne moc záživného tématu „jednotky“ s atraktivním technickým oborem. Zejména téma jednotek mimo SI může působit často zastarale. Přesto právě letectví je příkladem oblasti, kde se stále používají a v brzké době ani nepřestanou.

Důležité pojmy jsou uvedeny i v angličtině pro případné snadnější vyhledání dalších článků na internetu zabývajících se těmito tématy.

Předpisy o jednotkách

Mezinárodně jsou jednotky používané v letectví určené předpisy ICAO (International Civil Aviation Organization = Mezinárodní organizace pro civilní letectví; přidružená k OSN). Hlavním předpisem je „ICAO Annex 5 – Units of Measurement“, který je celý věnován jednotkám¹. Jednotky se pak objevují i v mnoha dalších předpisech.

V českém vzdušném prostoru se z těchto předpisů vychází. K tomu se přidávají evropské předpisy (nařízení, směrnice atd.) a naše národní/lokální úpravy. Národní předpis, který se týká jednotek a je de facto rozšířením výše zmíněného mezinárodního, je „*Letecký předpis L 5 – Předpis pro používání měřících jednotek v letovém a pozemním provozu*“ [1]. Ten je volně stažitelný a kdokoliv, kdo má zájem, si ho může prostudovat. Ostatně, na nadřazené stránce [2] naleznete i další předpisy.

Zajímavostí je, že letecké právo a potažmo i jednotky, vychází původně z námořního/ch.

Jaké jednotky se používají?

Byť je tento příspěvek „reklamou na ne-SI jednotky“, musíme si přiznat, že se vychází z SI systému, co se týče většiny jednotek. V leteckých předpisech jsou uvedeny i takové jednotky jako joule, watt, siemens, pascal, kandela, sievert, weber či gray.

Mimo SI se využívají zejména následující jednotky, které jsou používány často:

- Námořní míle (nautical mile) – NM
- Uzel (knot) – kt
- Mach (mach number) – M

¹ Publikace vydané ICAO jsou placené, a proto zde není uveden odkaz k jeho stažení.

- Stopa (foot) – ft
- Letová hladina (flight level) – FL
- Stopa za minutu – ft/min

Poznamenejme rovnou, že jedním z argumentů, proč zavádět další jednotky pro vzdálenost, která by vždy mohla být v metrech, je bezpečnost. Při komunikaci mezi letadly a řídicím letového provozu nastává méně nedorozumění, která by mohla být jinak fatální.

Podívejme se na to, jakým způsobem jsou jednotky používány.

Čas

V komunikaci mezi řídicími letového provozu a piloty se používá výhradně UTC (universal time coordinated = koodinovaný světový čas) ve 24hodinovém formátu. Jde o čas, který odpovídá nultému poledníku. Čas se zapisuje ve formátu HHMM (např. 1428) bez dvojtečky. Dle frazeologie² se časový údaj čte jako jednotlivá čísla (např. „jedna čtyry dva osum“). Pokud se komunikuje pouze informace o času během další hodiny, resp. v případě, že nemůže dojít ke zmatení, čtou se pouze minuty (tedy „dva osum“).

S přesností na sekundy se při komunikaci v letectví neoperuje. Pouze pokud jsou rozstupy dány časově, např. při startu letadel z letiště, pak smí řídicí vydat pokyn dalšímu letadlu, pouze pokud uplyne přesně daný čas na sekundu či později.

Pozor ale na to, co máte na letence! Tam máte uveden místní čas, a to se zohledněním letního či zimního času. Takže při létání si dávejte pozor na to, abyste věděli, o jakém čase se mluví, aby vám letadlo neuletělo.

Tlak

Tlak se měří ve většině světa klasicky v hektopascalech (hPa).

Pro výpočty určování výšky letadla, a tedy i bezpečnosti vůči dostatečné výšce nad terénem a zachování rozstupů, se využívá měření statického tlaku a model standardní atmosféry ICAO. Ten bude důležitý i dále. Prozatím si zapamatujme, že u povrchu moře má tlak 1 013,25 hPa. V rámci frazeologie se tato hodnota nazývá zkratkou QNE.

Další hodnotou tlaku, která využívá zkratku, je QNH, která je kritickou hodnotou nutnou pro bezpečné přiblížení k letišti a přistání. Proč? Jde o tlak na letišti přepočtený na hladinu moře. Ten vysílá ATIS, resp. o něm informuje řídicí letového provozu piloty. Ti si pak nastaví na výškoměru aktuální hodnotu tlaku a podle toho jejich letadlo určí s dostatečnou přesností vzhledem k aktuálnímu počasí výšku nad hladinou moře (altitude). Pokud se QNH změní, pak o tom řídicí piloty informuje.

QNH se vyhlašuje také pro oblasti, aby měly letadla správnou informaci o jejich výšce, pokud letí v nižších výškách. Tím pádem vědí, jak jsou vysoko a létají ve správných smluvených výškách pro zajištění výškových rozstupů. Pokud by totiž měl pilot nastavený tlak např. o 10 hPa vyšší, pak si bude dle přístrojů myslet, že je zhruba o 80 metrů výše.

² Frazeeologie je dané primárně předpisem k ní [3] a dalšími zmínkami v dalších předpisech. Jde o popis toho, jaká slova mají řídicí a piloti říkat, aby byla komunikace sjednocena i do stylu či pořadí informací, které jsou komunikovány.

Pokud by v mlze věřil přístrojům a myslel, že letí 100 metrů nad zemí, tak by letěl pouhých 20 metrů.

Co se nepoužívá moc často, je QFE – tlak na letišti – měřený buď na vztažném bodu letiště, nebo na prahu dráhy v užívání. Tento tlak není korigovaný na hladinu moře, a pokud si jej pilot nastaví na výškoměr, pak vidí aktuální výšku nad terénem (height). Když dosedne na dráhu, měl by vidět 0 m (plus mínus pár metrů).

Měření dynamického tlaku se využívá také pro určování rychlosti letadla. Měření tlaku je tedy pro letectví nezbytné.

Rozstupy (separation minima)³

Mezi každými dvěma letadly, která jsou řízená prostřednictvím služby řízení letového provozu, musí řídicí zajistit, aby byl zachován alespoň jeden rozstup

- horizontální – zajišťovaný radarovým sledováním, či
- vertikální – zajišťovaný povolením letadel do určených výšek, které udržují prostřednictvím svého výškoměru, tedy měřením tlaku.

Při přistávání se zajišťují navíc rozstupy podle maximální vzletové hmotnosti letadla, aby se zajistila bezpečnost kvůli možné turbulenci v úplavu (wake turbulence).

Rozstupy mohou být zabezpečené i nařízenou rychlostí stoupání či klesání.

Horizontální rozstupy Zpravidla je minimální vzdálenost, kterou musí mezi sebou letadla ve stejné letové výšce/hladině udržovat, 5 NM, tedy 9,26 km. Výjimky mohou být v blízkosti letiště v určitých případech přiblížení apod. Pak může být minimum rozstupu sníženo na 2,5 NM.

Vertikální rozstupy Výšky letadel se udávají po vzletu nejdříve ve stopách (1 ft = 0,304 8 m) nadmořské výšky. Když letadlo pokračuje ve stoupání, pak se dostane do převodní výšky. To je nejvyšší používaná nadmořská výška, která bývá v prostoru fixně dána a je dostatečně vysoko nad překážkami (horami). V České republice je převodní výška 5 000 ft. Pak letadlo pokračuje ve stoupání na nejnižší letovou hladinu, tzv. převodní hladinu, která je dána aktuálním tlakem vzduchu v oblasti, aby byla vždy vzdálenost mezi převodní výškou a hladinou 1 000 ft (a nižší než 2 000 ft). Ve větších výškách, než převodní hladiny se používají výhradně letové hladiny.

Letové hladiny (flight level, FL) jsou v zásadě stovky stop. Platí FL 100 = 10 000 ft. Rozdíl mezi oběma způsoby určení výšky je v tom, že nadmořskou výšku určujeme výškoměrem nastaveným na QNH a letovou hladinu při nastavení na QNE.

Rozstupy mezi letadly pak musí být alespoň 1 000 ft. S tím, že letadla, která jsou řízená službou ŘLP, se pohybují pouze v celých tisícovkách stop, resp. v desítkách FL, tedy např. FL 210.

Ve vyšších výškách se pak vyžadují větší rozstupy. V našem vzdušném prostoru, kde se uplatňuje tzv. RVSM (reduced vertical separation minima), jsou pro běžné lety potřeba až nad FL 410. Proto se vůbec nepoužívá FL 420, ale až FL 430.

³ V češtině se při hovoru častěji používá slovo „rozestupy“, ale v letectví se využívá striktně „rozstupy“.

Turbulence v úplavu Podle maximální vzletové hmotnosti jsou letadla zařazena do různých kategorií. Protože větší letadla za sebou vytvářejí větší víry, které jsou pro menší letadla nebezpečná, pak se pro přistání letadel dodržují zvýšené horizontální vzdálenosti mezi dvěma za sebou přistávajícími letadly, pokud je první letadlo hmotnější a druhé lehčí. Vzdálenosti jsou určeny také v NM.

Rychlosti

Horizontální rychlost se určuje ve výškách nižších než FL 250 v uzlech (knot, kt). Platí, že uzel je námořní míle za hodinu. Platí $1 \text{ kt} = 1,852 \text{ km/h}$. Pokud jde o rychlost, kterou měří letadlo přes tlak, jde o indikovanou vzdušnou rychlost (indicated airspeed, IAS)⁴. Řídící může nařídit úpravu rychlosti letadla, pokud je toho letadlo schopné, právě prostřednictvím indikované rychlosti.

Pro řídicího se ovšem komplikuje situace tím, že na radaru vidí traťovou rychlost (groundspeed). Ta je dána kombinací snosu větru a pravé vzdušné rychlosti (true airspeed, TAS). S rostoucí výškou při konstantní TAS, klesá IAS. To je dáno tím, že klesá hustota vzduchu s výškou a rychloměry na to (historicky) nemají korekci. Přibližně je TAS o 2 % vyšší než IAS za každých 1000 stop nad zemí. Tedy při 240 kt IAS ve FL 120 se dá čekat, že bude TAS zhruba 300 kt.

Nad FL 250 se letadla řídí prostřednictvím Machova čísla. Tedy rychlosti udávané jako poměru rychlosti letadla vůči rychlosti zvuku ve vzduchu v dané výšce. Zhruba se dá říct, že platí $M 0.01 = 6 \text{ kt} = 11 \text{ km/h}$. Tento převod je ovšem přibližný i z toho důvodu, že s rostoucí výškou (do 11 km nad zemí) klesá teplota. Rychlost zvuku ve vzduchu je daná teplotou. S rostoucí výškou při fixním Machově čísle tedy rychlost letadla klesá.

Vertikální rychlost se udává ve stopách za minutu. Platí $1\,000 \text{ ft/min} = 304,8 \text{ m/min}$.

Odlišnosti v zahraničí

Bohužel, přes určitou snahu používané jednotky sjednotit, se v různých částech světa objevují i jiné jednotky. Příkladem může být, že:

- Američané (USA) používají pro určování tlaku palce rtuťového sloupce (inHg). Místo základní hodnoty QNE 1013,25 hPa pak používají 29.92 inHg. V komunikaci se označuje jako A2992. Nemělo by dojít k záměně, pokud řídicí není líný přechíst první číslici 2 a pilot ji uslyší. Jinak je zde ovšem riziko spletení např. 998 hPa s hodnotou 29.98 inHg = 1015 hPa.
- Některé státy používají jednotky SI pro určování výšky (metry) a vzdáleností (kilometry) – např. Rusko či Čína. Na hranicích prostorů, které používají různé jednotky pro určování výšky, pak musí letadla v letu mírně změnit výšku, aby letěla ve správné letové výšce/hladině.

⁴ Jde o přístrojovou rychlost, která je korigována pouze na chybu přístroje.

Poznámky na závěr

Zdaleka jsme nezmínili všechna využití jednotek v běžném provozu. Například u dohlednosti se využívají standardně metry. Bez radarové služby se rozstupy určují jinými způsoby. Dalo by se dál diskutovat, co znamená, když nastavíme výškoměr špatně, jak se změní situace při vysokém tlaku či při nízkém tlaku. Rozdíly jsou mezi tím, jestli letadlo letí „na přístroje“ (IFR) či „za vidu“ (VFR) a v prostoru jaké třídy se pohybuje.

Snad bylo dostatečně dobře ukázáno, že letectví závisí silně na měření tlaku. Je to jednou ukázkou z toho, jak je letectví do značné míry konzervativní. Takových příkladů by se dalo najít více – např. dlouhou dobu trvalo, než se začala uznávat GPS navigace pro civilní lety jako rozumně přesná, či stále se využívá amplitudová modulace rádia bez šifrování. Nicméně často tyto zavedené postupy znamenají dostatečně vysokou bezpečnost. Naopak by se mohlo stát, že zbrklým zavedením nějaké technologie v pouhé části světa by mohlo docházet k nehodám kvůli nekompatibilitě systémů či chybám způsobenými změnami postupů.

Bylo těžké vybrat zajímavosti, které by se mohly učiteli hodit a zestručnit je do krátkého příspěvku. I samotní řídící věnují základním předpisům, fyzikálním zákonitostem a postupům několik měsíců svého výcviku.

Literatura

- [1] Ministerstvo dopravy/Úřad pro civilní letectví: *Letecký předpis L 5 – Předpis pro používání měřících jednotek v letovém a pozemním provozu*. [cit. 28. 8. 2020]
Dostupné online: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-5/data/print/L-5_cely.pdf
- [2] Ministerstvo dopravy/Úřad pro civilní letectví: *Předpisy*. [cit. 28. 8. 2020] Dostupné online: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [3] Ministerstvo dopravy/Úřad pro civilní letectví: *Letecký předpis – L frazeologie – Radiotelefonní postupy a letecká frazeologie a terminologie pro poskytování letových provozních služeb a provádění letů*. [cit. 28. 8. 2020] Dostupné online: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-Frazeologie/data/print/Frazeologie_cely.pdf

Magnusův jev

Pavel Konečný

MU PŘF Ústav fyzikální elektroniky

Abstrakt

Přijmeme-li vysvětlení Magnusova jevu jako silovou reakci dle třetího Newtonova zákona na odklonění proudu tekutiny v důsledku posunu místa, kde se proudění od povrchu válce odtrhne vlivem rozdílu v tření na opačných stranách válce, nabízí se porovnat tento efekt s jinými způsoby ovlivnění mezní vrstvy, jako je odsávání, nebo strukturou povrchu, tzv. turbulátorem. Byla zkonstruována aparatura, s cílem tyto efekty kvalitativně demonstrovat.

Úvod

Magnusův efekt patří mezi ty fyzikální úkazy, kterým se školská fyzika nemůže úplně vyhnout, protože se s ním setká každý, kdo hraje nebo alespoň sleduje míčové hry. Je tedy poměrně vysoká pravděpodobnost, že učitel bude na tento jev dotázán. Žádný hydrodynamický efekt se nevysvětluje zrovna snadno a Magnusův jev je komplikovaný navíc tím, že tření je hlavní příčinou, nikoliv zanedbatelnou poruchou. Proto je třeba zacházet s Bernoulliovou rovnicí opatrně, protože pokud je změna rychlosti způsobená třením, nejsou splněny podmínky, za jakých je odvozena. (Odvození Bernoulliovy rovnice [2], nebo včetně příkladů chybné aplikace v [1]). Tvzení, že na jedné straně rotujícího válce má třením urychlený vzduch menší tlak, než na druhé straně třením zpomalený právě v důsledku Bernoulliovy rovnice podle pravidla větší rychlost menší tlak, tedy není v pořádku. Z toho vyvozené silové působení má sice správný směr výsledné síly, ale jen pro normální Magnusův jev, ale už nikoliv pro negativní Magnusův jev.

Vysvětlení normálního i negativního Magnusova efektu lze nalézt v řadě článků. Velmi podrobný přehled včetně exkurse do historie a aplikací nalezne čtenář v [3], nebo také v [4].

Z publikovaných pozorování v aerodynamickém tunelu i počítačových simulací plyne, že efekt je způsoben ovlivněním mezní vrstvy v důsledku tření o povrch. Obvykle platí, že víc zabrzděná vrstva se od povrchu odtrhne dřív, než méně zabrzděná. Na straně, kde vzduch obtéká válec ve směru jeho rotace, je zabrzděn méně, na opačné straně víc. Čím dál dospěje proudění po povrchu válce, tím víc je stočeno ze svého přímého směru. Dospěje-li na jedné straně dál, než na druhé, znamená to, že proud vzduchu je celkově odchýlen z přímého směru. Z třetího Newtonova pohybového zákona pak plyne normální Magnusův efekt [4]. Publikované experimenty není možné zopakovat bez odpovídajícího vybavení, jako je nízko turbulentní aerodynamický tunel a zařízení na zviditelnění proudění. Lze však provést experimenty, které mezní vrstvu ovlivňují jiným způsobem a tím také i místo, kde se proudění odtrhne proudění.

Nejjednodušší způsob ovlivnění mezní vrstvy kromě změny relativní rychlosti povrchu vůči proudícímu vzduchu je její odsátí nebo rozvíření strukturovaným povrchem, tzv. turbulátorem, například v podobě na povrch nalepeného vlákna vhodného průměru.

Typy mezní vrstvy

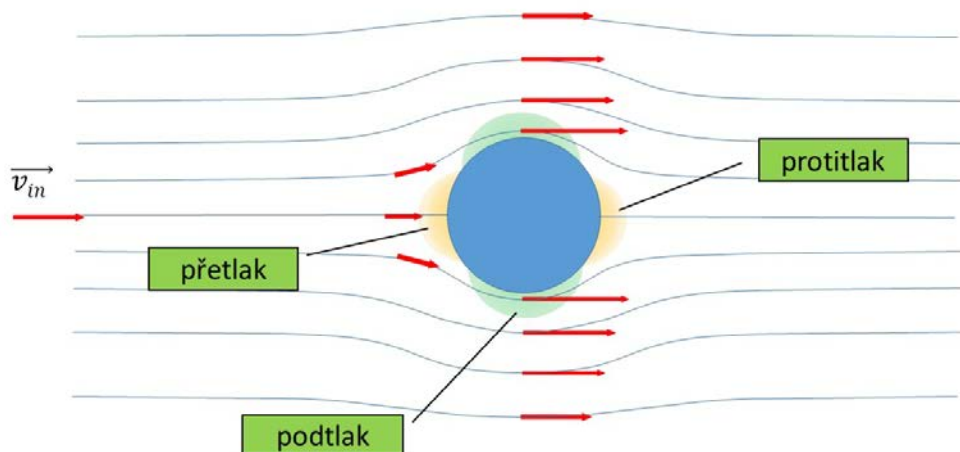
Mezní vrstva je oblast, kam výrazně zasahuje vliv tření tekutiny o povrch. Může být laminární nebo turbulentní. Laminární mezní vrstva se může v důsledku nestabilit změnit na turbulentní. Tloušťka laminární mezní vrstvy postupně ve směru proudění narůstá, podobně i turbulentní mezní vrstva.

V případě nulové viskozity by bylo ustálené proudění kolem válce laminární, protože by chyběly třecí síly a moment tlakových sil je nulový. Mezní vrstva by neexistovala. Struktura proudnic by byla předozadně symetrická stejně jako tlakové pole [5] [6]. Na válec pak nepůsobí žádné třecí síly a součet všech tlakových sil je roven nule, válec se pohybuje bez odporu.

V případě velmi velké viskozity, přesněji řečeno velmi malého Reynoldsova čísla, tedy například v situaci, kdy by se uvažovaný válec pohyboval rovnoměrně a dostatečně pomalu například v melase, k turbulenci také nedojde, ale z jiných důvodů, než v případě neviskózní tekutiny, viskozita všechno víření tlumí. Mezní vrstva vlastně také neexistuje, nelze najít hranici mezi třením ovlivněnou a zanedbatelně ovlivněnou tekutinou. Rozložení proudnic je v tomto případě přibližně předozadně symetrické, podobně jako by bylo v případě hypotetické ideální tekutiny [7]. Na válec však působí třecí síly a i součet všech tlakových sil je nenulový, válec je brzděn.

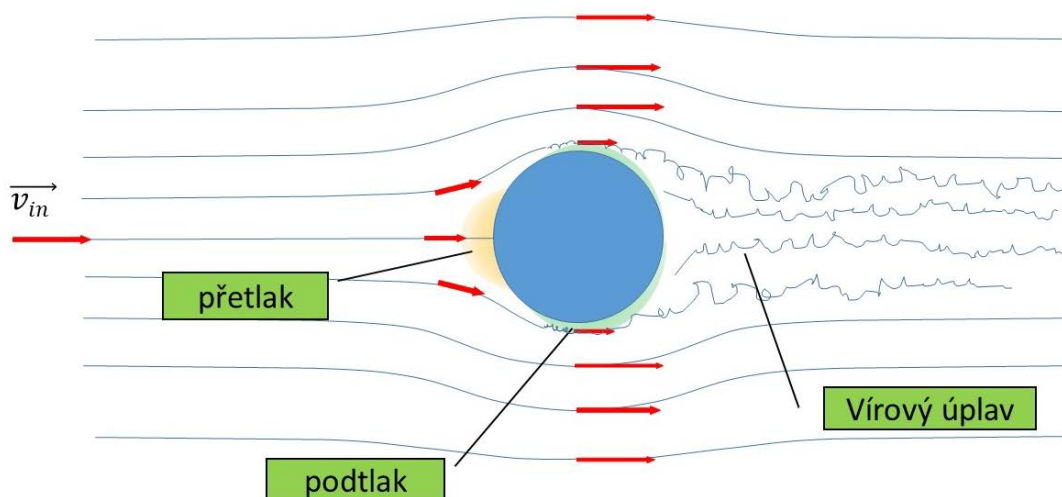
Vliv mezní vrstvy na obtékání tělesa

Uvažujme válec obtékáný ideální tekutinou, kde je proudění i rozložení tlaku symetrické. Tlak je s rychlostí svázán Bernoulliovou rovnicí. V náběžné části před válcem je přetlak, protože existuje proudnice kolmá na povrch válce a tam se tekutina zastaví a za válcem vzhledem k symetrii proudění taky. Tlaku za válcem říkáme protitlak. Po stranách válce je podtlak, protože tekutina válec obchází a má tedy v této části vyšší rychlost a tím i nižší tlak. Směrem od náběžné části před válcem je zprvu urychlovaná tlakovým spádem k boční části válce a poté zpomalovaná již zmíněným protitlakem. Dá se říct, že pro ideální tekutinu jsou tlakové poměry v ní právě takové, aby tekutina válec obešla tak, aby se za válcem uvedla do původního stavu. Proudění je předozadně symetrické. Protitlak je shodný s přetlakem na náběžné části válce, celková síla působící na válec je nulová, viz obr. 1.



Obr. 1. Proudění tekutiny bez vnitřního tření – schematicky.

Uvažujme, že tekutinu proudící po povrchu na cestě od náběžné části k boční straně ovlivní malá porucha v podobě tření a trochu ji přibrzdí. Tato malá porucha idylický obrázek symetrického proudění změní. Přibrzděná tekutina už nebude mít dostatek kinetické energie k tomu, aby po stejné proudnici, jakou by měla při proudění bez tření, vyběhla do stejného protitlaku, jaký by měla při proudění bez tření. Jinými slovy předozadně symetrické rozložení proudnic se nemůže uskutečnit. Svoji pouť po povrchu tekutina v mezní vrstvě skončí dřív a proudění se odtrhne a za válcem vznikne vírový úplav, viz obr. 2.



Obr. 2. Proudění reálné tekutiny – schematicky.

Jsou-li překročeny meze stability, laminární mezní vrstva se změní v turbulentní, případně se odtrhne, s následným přimknutím zpravidla už jako turbulentní mezní vrstva, nebo se nepřimkne vůbec. I turbulentní mezní vrstva se může odtrhnout. Pokud se z nějakých důvodů (například v důsledku struktury na obtékaném povrchu, tzv. turbulátoru) vyvine turbulentní mezní vrstva v oblasti, kde by jinak mohla být ještě laminární, turbulentní mezní vrstva se odtrhne později.

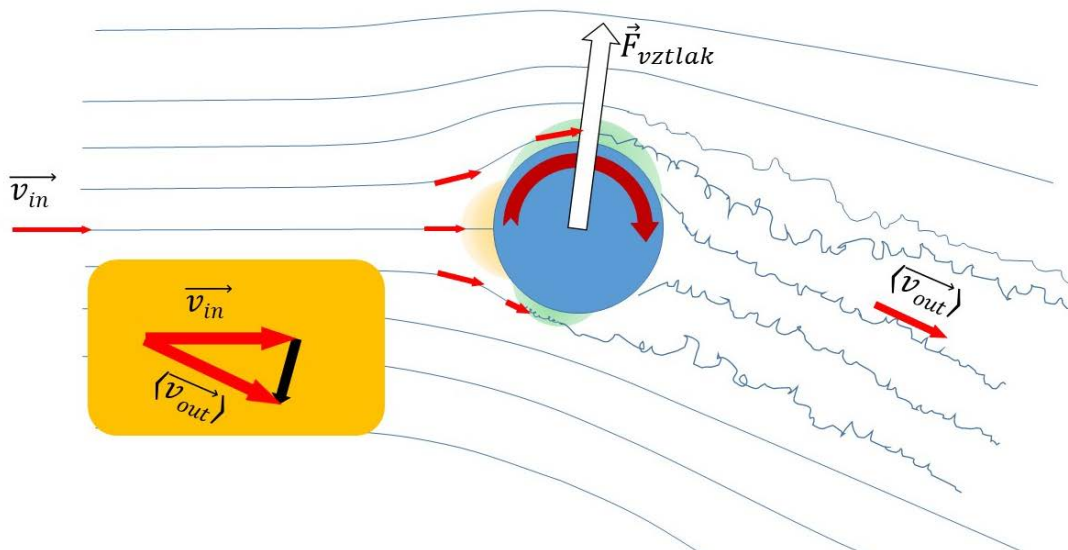
Turbulence zajistí promíchávání vrstvy povrchem silně bržděné s těmi vzdálenějšími, méně zbrzděnými. Tímto mechanismem získává přilehlá vrstva energii a může doběhnout dál do protitlaku.

Čtenáře může ale poněkud zmást, jak to, že by rychleji se pohybující vzduch měl kopírovat zakřivený povrch, zatímco pomalý ne, když přece při průjezdu zatáčkou to funguje právě obráceně. Odpověď na otázku, proč v určité situaci „nevyletí rychleji se pohybující vzduch“ ze zatáčky, zatímco „pomalý“ ano, je poměrně komplikovaná a mimo rámec tohoto článku. Souvisí s Coandovým efektem, který je poměrně podrobně popsán např. v [8].

Obtékání rotujícího válce

Rotující válec je ten případ, kdy se mezní vrstva vyvíjí na straně povrchu pohybujícího se ve směru proudění odlišně než mezní vrstva na straně druhé, kde se povrch válce pohybuje vůči vzduchu obráceně. Tam, kde je povrch válce v pohybu v souhlasném směru s prouděním, budou ztráty kinetické energie v mezní vrstvě menší a vzduch doběhne po

zadní straně válce dál, než na opačné straně, kde budou ztráty naopak větší. Proud vzduchu se stočí na jednu stranu. Teď zbývá aplikovat třetí Newtonův zákon a porovnat zjištěný směr silového působení s experimentem. Výsledný silový efekt je v souladu s tzv. normálním Magnusovým efektem, viz obr. 3.



Obr. 3. Obtékání rotujícího válce – schematicky.

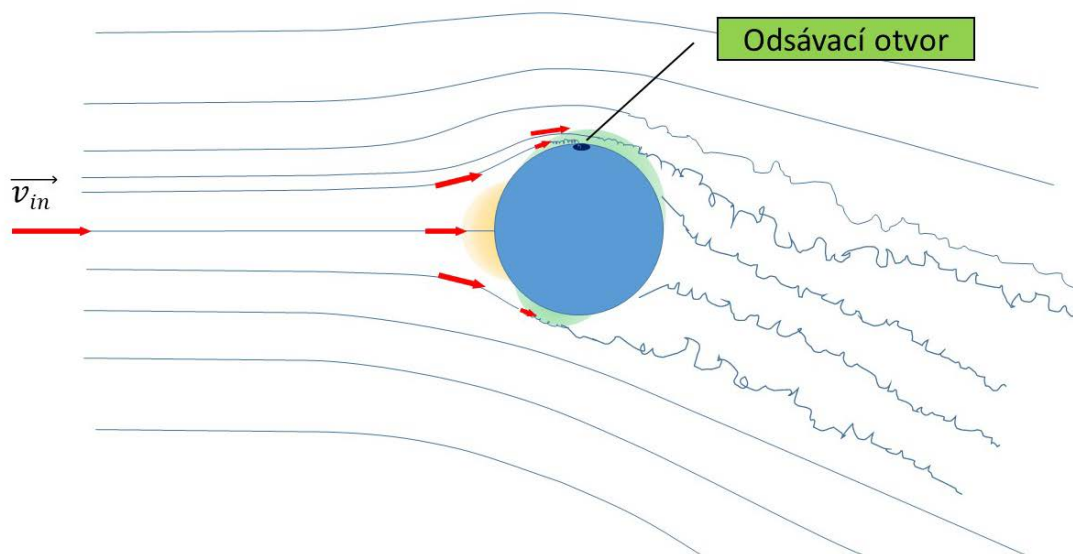
Negativní Magnusův jev

Bohužel ve všech případech to tak jednoduché není. Pro určité kombinace aerodynamických parametrů, jako je hladkost povrchu válce, rychlost otáčení, relativní rychlost válce vůči vzduchu a Reynoldsovo číslo, nastává silový efekt opačný, proud vzduchu se odtrhne dříve na té straně, kde je relativní rychlost povrch-vzduch menší a tedy i tření je menší.

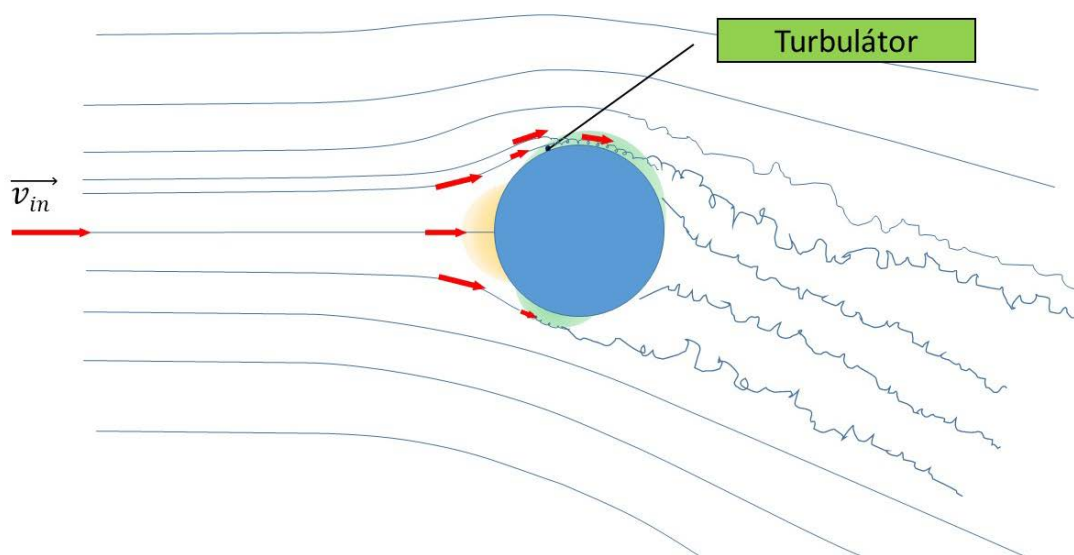
Existence negativního Magnusova jevu ilustruje problematičnost kvalitativních výkladů aerodynamických jevů. S aparaturou, která je předmětem tohoto textu, pozorován nebyl. Rozbor negativního Magnusova jevu je mimo rámec tohoto článku.

Vliv odsávání a turbulátoru

Vliv odsávání (viz obr. 4) je zřejmý, odstraněním kriticky zpomalené mezní vrstvy k odtržení dojde později, podobného efektu dosáhneme vygenerováním dostatečně jemné turbulence promíchávající brzděnou přilehlou vrstvu se vzdálenější, méně brzděnou, viz obr. 5.



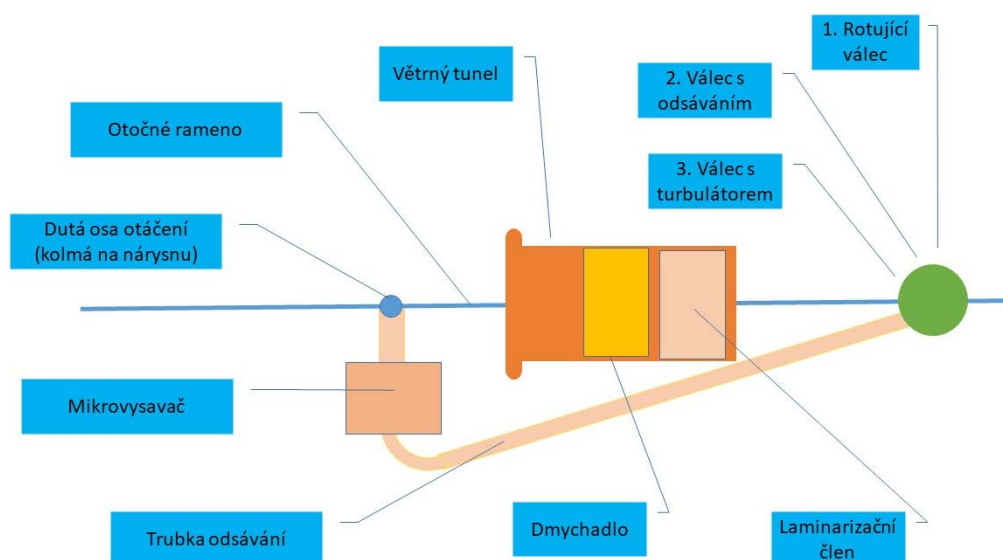
Obr. 4. Vliv odsávání – schematicky.



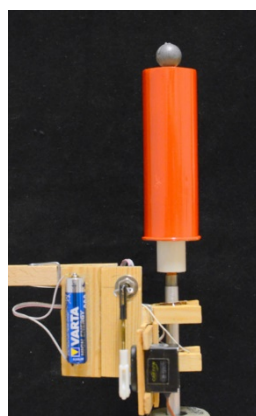
Obr. 5. Vliv turbulátoru – schematicky.

Konstrukce aparatury

Ve všech třech případech (rotace, odsávání, turbulátor) mají válečky stejný průměru 28 mm a umísťují se na otočné rameno. Délka ramene je podle montáže cca 45 cm. Větrný tunel může být umístěn jak na rameni, tak na nezávislém stojanu. Druhá možnost umožňuje snadnou čitelnost efektu, otáčení a změnu směru otáčení nelze přehlédnout. Na druhé straně mohou vzniknout jisté pochybnosti co do interpretace pozorovaného efektu, protože reakční síly větrného tunelu nemusí být nulové, stejně tak vytváří moment síly i změna působíště aerodynamického odporu válečku. Zařízení je citlivé i na dvojici sil. Například při rozběhu válce by mělo být pozorovatelné roztáčení celé točny v opačném směru. Moment setrvačnosti válečku je však natolik malý, že tento efekt nebylo potřeba kompenzovat (druhým, opačně zapojeným motorkem).



Obr. 6. Schéma aparatury.



Obr. 7. Rotační váleček.

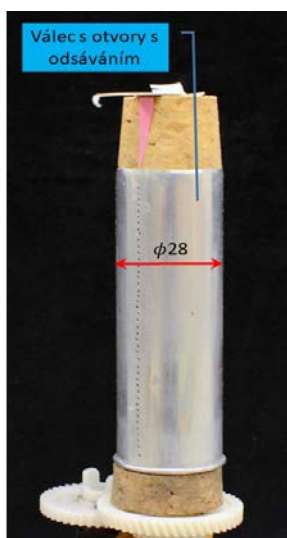
Odsávání

Odsávání je uskutečněno soustavou 45 otvorů o průměru 0,6 mm ve vertikální linii s průměrnou roztečí 1,75 mm. Odsávací podtlak zajišťuje miniaturní vysavač na čtyři AA články určený původně k čištění elektroniky. Čerpadlo je možné dálkově zapínat a vypínat. Odstředivé čerpadlo generuje na 4 AA články při úplném zaškrcení vstupu podtlak asi 1000 Pa, při čerpání válečku s otvory asi 900 Pa. Při tom odsává $9 \pm 10 \%$ l vzduchu/min. Na tři AA články vytváří při čerpání válečku podtlak asi 450 Pa při odsávaném množství vzduchu $6,5 \pm 10 \%$ l vzduchu/min. Je umístěno horizontálně a při rozběhu tedy nemění moment hybnosti ve směru osy točny. Vystupující vzduch je vyveden dutou hřídelí točny a nepůsobí tedy na točnu momentem sil.

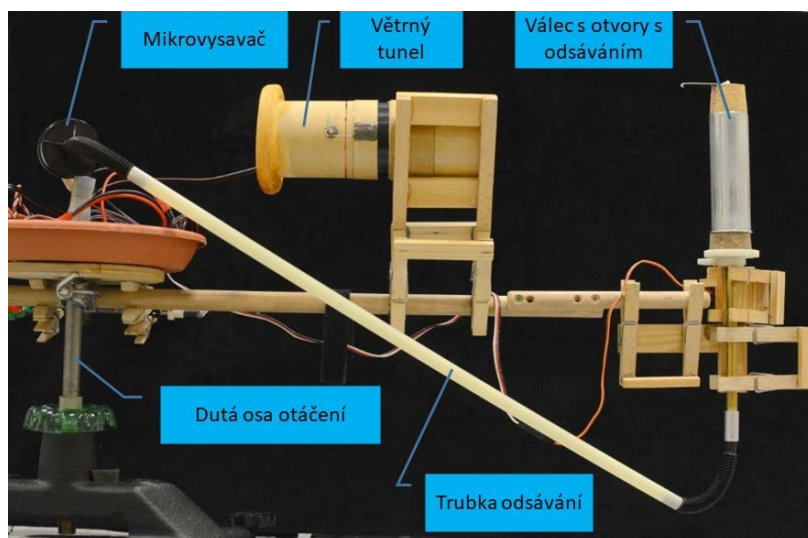
Geometrické poměry a rozměry jednotlivých prvků aparatury nejsou pro její funkci kritické. V aerodynamice (podzvukových rychlostí) rozhoduje o podobnosti Reynoldsovo číslo, které je pro předmětnou aparaturu poměrně malé,

$$Re = \frac{\rho * D * v}{\mu} \approx \frac{28 * 10^{-3} * 5,6}{16 * 10^{-6}} \approx 9800$$

a je otázka, jak by to dopadlo, kdyby se aparatura dále výrazněji miniaturizovala.



Obr. 8. Váleček s odsáváním.



Obr. 9. Aparatura s válečkem s otvory a odsáváním.

Ovládání aparatury

Celé zařízení je dálkově ovládané 4 kanálovou modelářskou soupravou HITEC Laser4, pracující na kmitočtu 40,765 MHz. Regulovat lze otáčky dmychadla větrného tunelu po krocích, pro většinu experimentů byla rychlost vzduchu nastavena na 5,6 m/s (s přesností na 5 %). Váleček se otáčí rychlostí 1200 otáček/minutu. Dálkově lze ovládat zapnutí vypnutí a směr otáčení válečku. U čerpaného válečku i válečku s turbulátorem se dálkově ovládá orientace sacích otvorů nebo turbulátoru vůči proudu vzduchu (pozice 0° je sacími otvory nebo turbulátorem proti nabíhajícímu proudu vzduchu pozice, 90° kolmo na něj).

Turbulátor

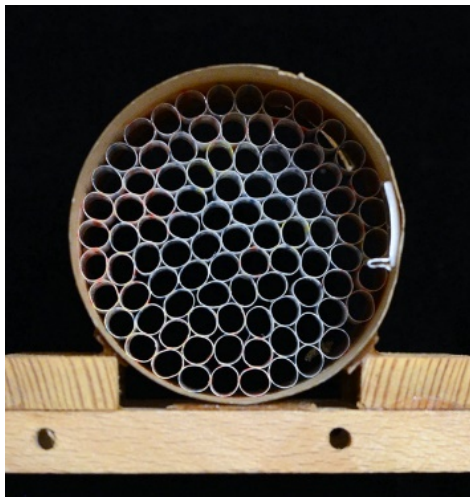
Turbulátor je tvořen dvěma vlákny o průměru 0,6 mm natažených na povrchu axiálně těsně vedle sebe. Pozice turbulátoru je indikována pointerem.



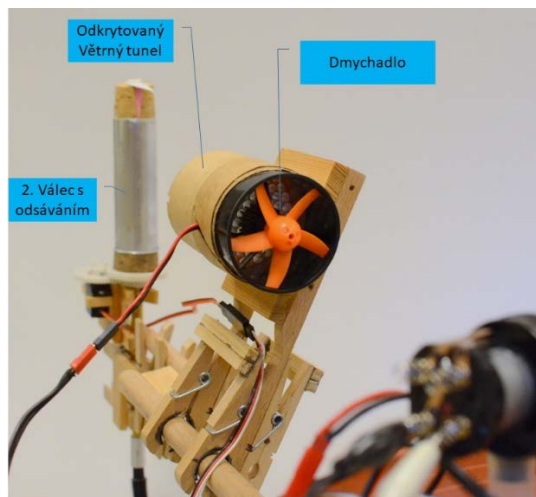
Obr. 10. Váleček s turbulátorem.

Větrný tunel

Ve větrném tunelu je vzduch urychlován modelářským dmychadlem o vnitřním průměru 50mm a hmotnosti pouhých 30 g. Plášť tunelu je vyroben laminováním z papíru a je do něho vlepena pláštěv ze slánek na limonádu o průměru 5 mm a délce 16 mm. Tato pláštěv usměrňuje proudění, ale nezabrání turbulenci, proto lze očekávat, že efekty, které předpokládají velmi nízkou turbulenci prostředí, nebudou fungovat, např. negativní Magnusův efekt.



Obr. 11. Usměrňovač proudění.



Obr. 12. Odkrytovaný větrný tunel.

Experiment

Vyvážení točny

Pozornost je třeba věnovat vyvážení točny a nastavení vertikální pozice osy otáčení. Pokud by byla točna dokonale vyvážená, na svislosti osy otáčení by nezáleželo. Ale protože není možné dostatečně přesně provést jedno nebo druhé, zabránit kývání (s velmi dlouhou periodou) lze jen nastavením obojího.

Seřízení větrného tunelu a válečku

Platí stejně pro všechny tři varianty tj. rotace, odsávání a turbulátor. Nejprve se nastaví pozice tunelu tak, aby jeho tah při maximálních otáčkách dmychadla nevytvářel měřitelný moment. Pak se nastaví pozice válečku, aby se točna neroztáčela jak při malém, tak při velkém výkonu dmychadla.

Magnusův efekt

Proud vzduchu se nastaví na rychlost 5,6 m/s. Vyšší rychlost už efekt zesiluje jen málo. (Pozn.: není jasné proč. Příčina spočívá pravděpodobně v tom, že na rozdíl od pohybu rotujícího válce v nekonečném prostředí, kde by měla vztahová síla narůstat s rychlostí lineárně, zde máme úzký nehomogenní jemně turbulentní proud vzduchu s turbulencí na rozhraní. S rostoucími otáčkami dmychadla se nemění jen rychlost proudu vzduchu, ale i jeho profil, i turbulence.) Dálkovým ovládáním se zapne rotace válečku postupně

v jednom a po chvíli v druhém směru. Točna se roztáčí ve směru opačném, než je rotace válečku, což odpovídá Magnusovu efektu.

Experiment s odsáváním

Pro experiment s odsáváním je potřeba vyměnit koncový modul rotujícího válečku za odsávací modul. Točna se opět vyváží popsáním způsobem. S pozicí sacích otvorů kolmo k ose aerodynamického tunelu (pozice 90°) při zapnutém sání a vypnutém větrném tunelu se ověří, že odsávání samo o sobě negeneruje žádný parazitní silový moment. V proudu vzduchu při optimální poloze odsávacích otvorů vzniká výrazný vztlak, což se projeví roztáčením točny. Točna se roztáčí na tu stranu, kde vlivem odsávání zůstane proudění déle přilehlé. Přetočením válečku otvory na druhou stranu se dosáhne reverzace efektu. Maximální efekt nastane pro pozici kolem 90° . Vypnutím odsávání efekt zmizí.

Experiment s turbulátorem

Pro experiment s turbulátorem se vymění váleček s otvory za váleček s turbulátorem. Pozice se měří stejně jako u odsávaného válečku. Maximum efektu nastává pro pozici turbulátoru v rozmezí úhlů přibližně 45° až 60° . Vzniká vztlak na tu stranu, kde turbulátorem modifikovaná mezní vrstva zůstává déle přilehlá.

Diskuse

Nejčastější námitka proti tomuto způsobu demonstrace výše zmíněných jevů se týká možnosti falešných efektů způsobených tím, že točna je citlivá na momenty sil, které nemají s Magnusovým efektem a vztlakem na válci nic společného a (z principu) na dvojici sil, které by v případě umístění válečku např. na koleje nehrály žádnou roli. Pokud je aparatura dobře seřízena, jsou tyto parazitní momenty výrazně slabší, což ale není na první pohled zřejmé. Podpořit toto tvrzení rozbořem a experimenty znamená si s tím tak zvaně pohrát a zabere to víc času.

Literatura

- [1] Bernoulli's principle. Dostupné na: https://en.wikipedia.org/wiki/Bernoulli%27s_principle
- [2] Landau, Lifshits: *Fluid Mechanics* Pergamon Press 1987 p 8-9. Dostupné na: <https://users-phys.au.dk/srf/hydro/Landau+Lifschitz.pdf>
- [3] Jost Seifert: *A review of the Magnus effect in aeronautics*. Progress in Aerospace Sciences 55(2012), p. 17-45. Dostupné na: <http://www.homepages.ed.ac.uk/shs/Climatechange/Flettner%20ship/Seifert%20Flettner%20apps.pdf>
- [4] Magnus effect. Dostupné na: https://en.wikipedia.org/wiki/Magnus_effect
- [5] Fluids eBook. Dostupné na: https://www.ecourses.ou.edu/cgi-bin/ebook.cgi?doc=&topic=fl&chap_sec=07.4&page=theory

- [6] Potential flow around a circular cylinder. Dostupné na:
https://en.wikipedia.org/wiki/Potential_flow_around_a_circular_cylinder
- [7] Mehmet Ishak Yuce, Dalshad Ahmed Kareem: A Numerical Analysis of Fluid Flow Around Circular and Square Cylinders. Dostupné na:
https://www.researchgate.net/publication/305876539_A_Numerical_Analysis_of_Fluid_Flow_Around_Circular_and_Square_Cylinders
- [8] Coandă effect. Dostupné na: https://en.wikipedia.org/wiki/Coand%C4%83_effect

Chcete rozkladný transformátor?

Věra Koudelková, Jan Geřko

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

Příspěvek představuje rozkladný transformátor vyvinutý ve společnosti Bohemia Trafo, s.r.o. určený pro výuku fyziky do škol. V první části příspěvku je představen transformátor jako takový, druhá, větší část pak popisuje vybrané experimenty, které lze s transformátorem dělat.

Úvod

Na seminářích projektu Heuréka se pravidelně setkáváme s tím, že učitelům zcela chybí ve škole cívky, případně že jsou zničené. Nové cívky jsou ale pro školy často finančně nedostupné.

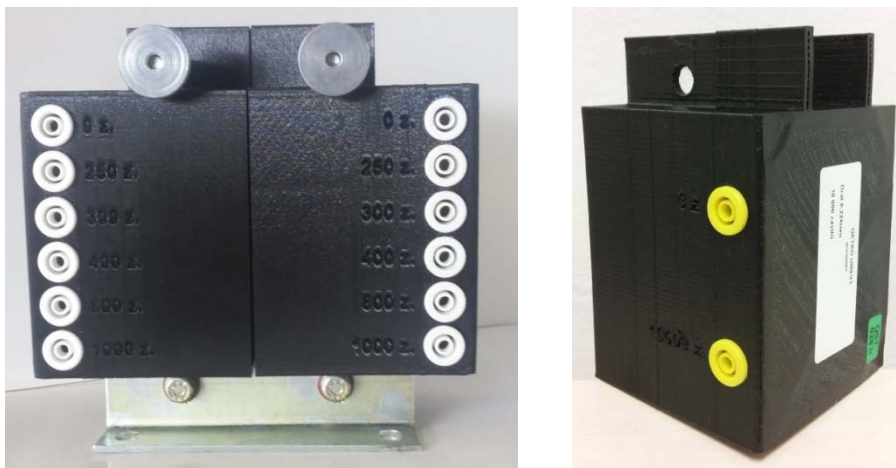
V příspěvku bychom proto rádi představili rozkladný transformátor, který vyvinula firma Bohemia Trafo s.r.o. ve spolupráci s KDF MFF UK. Velké poděkování patří J. Geřkovi, díky kterému se transformátor povedl vyvinout.

Školní rozkladný transformátor „getko-E150“

Cívky transformátoru mají každá šest odboček (0, 250, 300, 400, 800 a 1000 závitů), lze zapojit libovolnou kombinaci (tj. k dispozici je 14 různých kombinací počtu závitů, některé i víckrát). Cívky jsou umístěné na uzavřeném lístkovém jádře o průřezu 30×30 mm, U jádro má výšku 120 mm, šířku 90 mm. Na něj lze jádro tvaru I buď jen položit, nebo připevnit pomocí šroubů.

Deklarovaný maximální proud je 2 A, dle naší zkušenosti transformátor krátkodobě vydržel okolo 5 A.

Kromě samotného transformátoru je k dispozici i cívka s 10 tisíci závitů, kterou lze v případě potřeby umístit místo pravé z cívek samotného transformátoru.



Obr. 1. Rozkladný transformátor (vlevo) a cívka 10 tisíc závitů (vpravo).

Vybrané experimenty

S vyvinutým transformátorem lze dělat v podstatě všechny experimenty, které umožňují ostatní sady školních cívek a rozkladného transformátoru. Výjimkou je z naší zkušenosti pouze model indukční pece, na jádře není na žlábek dostatečný prostor.

V následujících odstavcích představíme pouze vybrané experimenty, na kterých ukážeme chování transformátoru a vhodné parametry cívek a příslušenství. Vzhledem k rozsahu příspěvku jsou experimenty popsány poměrně stručně – jejich podrobný popis (s parametry určenými pro cívky z jiné sady) lze najít ve studijních materiálech předmětu Praktikum školních pokusů II, viz [1].

Transformační poměr

Cílem experimentu je ověření transformačního poměru (pro napětí i proud) pro různé počty závitů na primární a sekundární cívce. Pro měření jsme využili různé kombinace primárního a sekundárního počtu závitů a různé napětí zdroje. Vybrané výsledky jsou vidět v tabulkách 1 a 2.

Tab. 1. Transformační poměr napětí pro různé počty závitů cívek.

N1	250	250	250	400	400	200	250	400	200	400	200	200
N2	250	400	700	1000	200	600	1000	600	600	1000	800	1000
U1 (V)	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	14,0	13,9	13,9	14,0	13,9	13,9
U2 (V)	7,1	11,4	20,0	17,8	3,6	21,4	55,0	20,5	41,2	34,3	54,9	68,6
N2/N1	1,0	1,6	2,8	2,5	0,5	3,0	4,0	1,5	3,0	2,5	4,0	5,0
U2/U1	1,0	1,6	2,8	2,5	0,5	3,0	3,9	1,5	3,0	2,5	3,9	4,9

Tab. 2. Transformační poměr proudů pro různé počty závitů cívek.

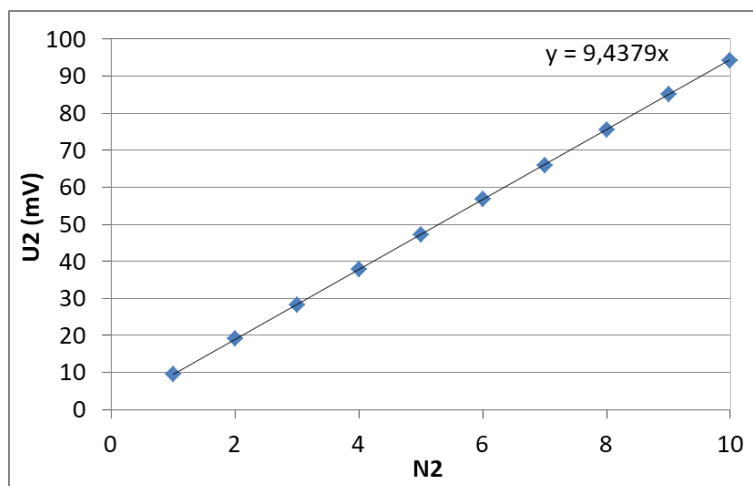
N1	600	600	200	200	100	200	200	200	100
N2	600	300	400	100	1000	700	400	100	1000
I1 (A)	0,2	0,2	1,6	1,2	5,3	1,6	1,6	1,2	5,3
I2 (A)	0,2	0,4	0,8	2,3	0,5	0,4	0,8	2,3	0,5
N2/N1	1,0	0,5	2,0	0,5	10,0	3,5	2,0	0,5	10,0
I1/I2	1,1	0,5	2,1	0,5	10,5	3,6	2,1	0,5	10,5

Je vidět, že transformační poměr pro napětí vychází velmi dobře. U měření transformačního poměru pro proud vychází některé hodnoty hůře, ale stejná zkušenost je i s transformátory v současnosti používanými – ve výsledcích měření se projevují ztráty v transformátoru.

Odvození transformačního poměru

Smyslem experimentu je odvodit transformační poměr pro napětí a současně ukázat, že kolikrát více závitů má sekundární cívka, tolikrát větší napětí se na ní indukuje (používá se termín „napětí na závit“).

Experiment velmi dobře vychází například s cívkou 600 závitů či 300 závitů na primární straně, vhodné napětí je 6-12 V. Na sekundární straně je připojen voltmetr k dlouhému vodiči, pomocí kterého se postupně navíjí 1-N závitů.

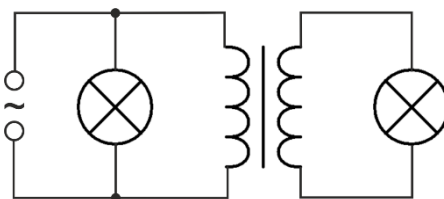


Obr. 2. Odvození transformačního poměru.

Z grafu na obrázku 2 je vidět, že indukované napětí je přímo úměrné počtu závitů na sekundární cívce. „Napětí na závit“ je v tomto případě přibližně 9,4 mV/závit. Měření bylo provedeno s primární cívkou 600 závitů a primárním napětím 6 V, transformační poměr pro primární stranu je tak 10 mV/závit.

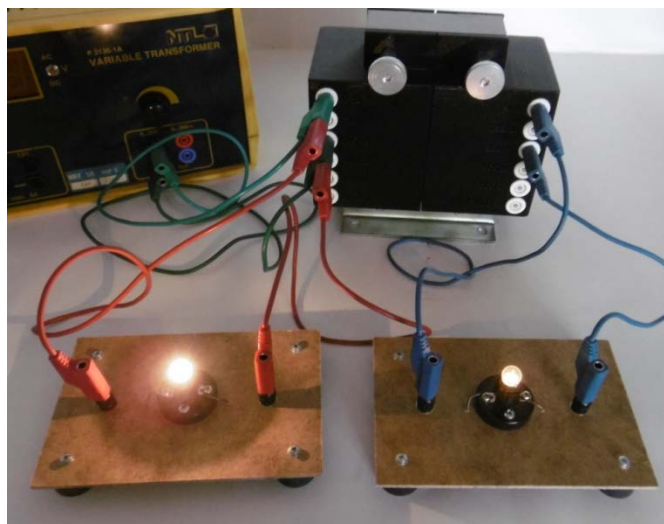
Ztráty v transformátoru

Experiment názorně ukazuje, že školní rozkladný transformátor není ideální a že tedy pro něj neplatí příkon = výkon. Schéma zapojení je na obrázku 3. Na obou cívkách je stejný počet závitů (osvědčilo se nám 300 závitů), transformátor je tedy ve stavu 1:1. Paralelně k oběma cívkám jsou připojeny žárovky 3,5 V/0,3 A. Vhodný zdroj napětí je 3,5 V.



Obr. 3. Ztráty v transformátoru – schéma zapojení obvodu.

Vzhledem k tomu, že transformátor je ve stavu 1:1, měly by v případě ideálního transformátoru svítit obě žárovky stejně. Z fotografie na obr. 4 je vidět, že tomu tak rozhodně není.



Obr. 4. Ztráty v transformátoru – pravá žárovka připojená k sekundární straně svítí výrazně méně.

Experiment může pokračovat demonstrací toho, proč má vůbec transformátor jádro – lze jádro postupně otevírat, případně cívky umístit k sobě zcela bez jádra apod. Je vidět, že při otevírání jádra jas žárovky v sekundárním obvodu výrazně klesá (až žárovka zcela přestane svítit) – dochází k velkému rozptylu magnetického indukčního toku.

Levitující kroužek

Experiment demonstruje Lenzův zákon – hliníkový kroužek se vznáší nad cívkou s proudem.

Z transformátoru použijeme primární cívku 300 závitů. I jádro postavíme na U jádro tak, aby se na něm mohl vznášet kroužek (viz obrázek 5). Primární cívku připojíme ke zdroji napětí přibližně 30–40 V. Je potřeba zdroj připojit vždy jen krátce, primární cívkou protéká proud okolo 4 A.



Obr. 5. Levitující kroužek.

Experiment lze rozšířit o problémovou otázku tak, že se ve stejném uspořádání umístí nad jádro druhý hliníkový kroužek, který ale nelevituje. Je vhodné nechat žáky diskutovat, v čem by mohl být problém (a dbát, aby si předčasně nikdo nevšiml, že je kroužek

přeříznutý). Žáci si při diskuzi mohou uvědomit, že magnetické pole vzniká okolo vodiče s proudem – a tedy, že pokud vodičem (přeříznutým kroužkem) neteče proud, nevznikne okolo něj magnetické pole a nemůže se tedy od cívky odpudit.

Elektromagnetická indukce s LED

Cívka 10 tisíc závitů byla do sady přidána jako volitelné příslušenství mimo jiné i kvůli demonstraci elektromagnetické indukce – jde o variantu běžně známého experimentu, ve kterém je indukované napětí detekováno pomocí LED místo voltmetru.

K cívce je připojena dvojice antiparalelně zapojených LED, pomocí kterých lze ukázat závislost indukovaného napětí na polaritě magnetu, na pohybu směrem k či od cívky apod. Na rozdíl od často používaných ručkových měřáků reagují LED velmi rychle a lze tak snadno ukázat i závislost velikosti napětí na rychlosti změny mag. indukčního toku (tj. rychlosti pohybu magnetu) bez nutnosti diskutovat setrvačnost ukazatele měřáku.

Cívka ve střídavých obvodech

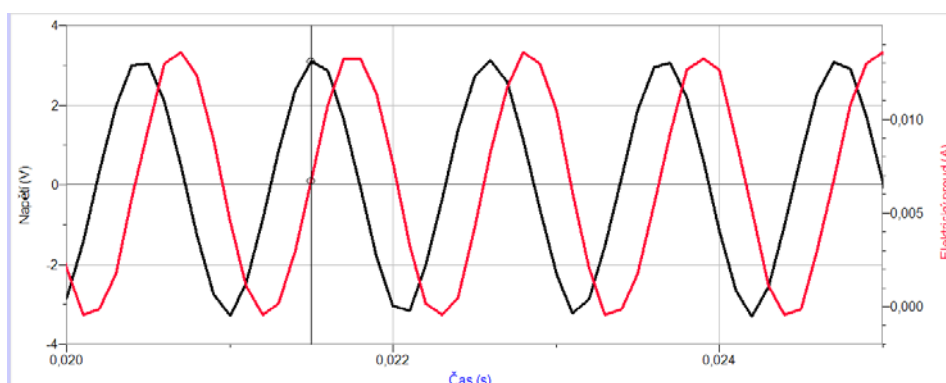
Cívky z rozkladného transformátoru lze samozřejmě použít i pro demonstraci vlastností ve střídavých obvodech.

Pro demonstraci závislosti indukčnosti na frekvenci je vhodná cívka 600 závitů na otevřeném jádře. Pokles proudu v obvodu (a tedy vzrůst indukčnosti) je demonstrován pomocí LED. Na obr. 6 je vidět pokles jasu LED s rostoucí frekvencí zdroje.



Obr. 6. Jas LED zapojené sériově s cívkou při různých frekvencích zdroje.

Na cívce 600 závitů je dobře vidět fázový posun mezi napětím a proudem. Při frekvenci 1 kHz je fázový posun téměř $\pi/2$ (viz graf na obr. 7, černě je křivka napětí, červeně křivka proudu).



Obr. 7. Fázový posun napětí a proudu na cívce při frekvenci 1 kHz (černě je napětí, červeně proud).

Sériová rezonance

Pro demonstraci sériové rezonance lze využít cívku 600 závitů na otevřeném jádře. Tato kombinace má indukčnost přibližně 60 mH, s kondenzátorem o kapacitě 48 μF nastává rezonance na frekvenci okolo 75 Hz. K detekci maximálního proudu lze použít žárovku s vhodnými parametry vzhledem k použitému zdroji (v našem případě byla použita žárovka 3,5 V/0,3 A a zdroj napětí okolo 4 V). Rezonance nastává při maximálním jasu žárovky.

V experimentu lze ukázat i závislost indukčnosti cívky na parametrech jádra – rezonanci lze místo změnou frekvence „ladit“ i otevíráním či uzavíráním jádra, změnou počtu závitů cívky apod.

Další experimenty

Výše uvedený výčet experimentů zdaleka není kompletní. Další experimenty lze nalézt ve studijních materiálech k Praktikum školních pokusů II (viz [1]), případné nutné úpravy parametrů transformátoru a příslušenství lze v případě potřeby konzultovat s autory příspěvku.

Závěr

Rozkladný transformátor si lze objednat přímo u firmy Bohemia Trafo (viz [2]) pod objednávacím číslem „getko-E150“ pro samotný transformátor, případně „getko-UI90/31“ pro cívku 10 tisíc závitů. Současně jsou transformátory dostupné ve vybraných regionálních centrech Elixíru do škol, kde si je mohou učitelé půjčit – máte-li o zapůjčení zájem, domluvte se s příslušným vedoucím centra, viz [3].

V případě zájmu lze ve firmě Bohemia Trafo nechat na zakázku udělat i cívky k jiným soupravám rozkladného transformátoru – lze se domluvit přímo s firmou.

Literatura

- [1] Praktikum školních pokusů. [cit. 11. 9. 2020]. Dostupné online: <https://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/psp2/>
- [2] Bohemia Trafo, s.r.o. [cit. 11. 9. 2020]. Dostupné online: <https://bohemia-trafo.cz/>
- [3] Elixír do škol – regionální centra. [cit. 11. 9. 2020] Dostupné online: <https://www.elixirdoskol.cz/regionalni-centra/>

Veletrh nápadů pro fyzikální vzdělávání aneb Supersborník

Zdeňka Koupilová, Leoš Dvořák, Petr Kácovský

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

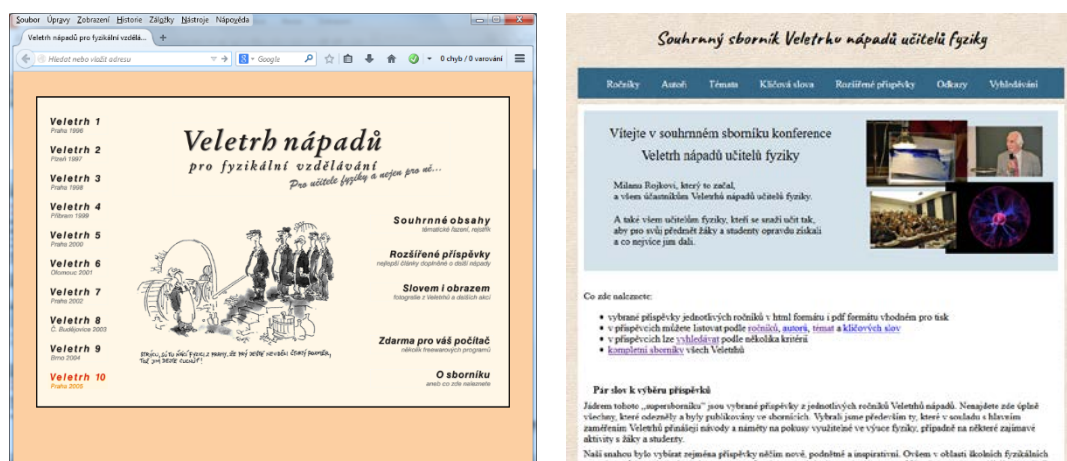
Abstrakt

U příležitosti 25. ročníku Veletrhu nápadů učitelů fyziky byly do jeho Souhrnného sborníku („Supersborníku“, [1]) doplněny příspěvky z předchozích čtyř ročníků. V příspěvku jsou krátce shrnuty základní myšlenky jeho vzniku a tvorby, historie, stávající obsah a možnosti využití.

Vznik Supersborníku

Konferenci *Veletrh nápadů učitelů fyziky* založil v roce 1996 doc. Milan Rojko, tehdejší vedoucí KDF MFF UK. Od tohoto roku každoročně desítky účastníků Veletrhů přicházeli a stále přicházejí s příspěvky a nápady tak zajímavými, že by bylo škoda na ně zapomenout a nechat je jen ve starých ročnících sborníků, které již zdaleka nejsou dostupné všem, jež by mohly inspirovat.

Vybrané příspěvky z proběhlých ročníků Veletrhů byly poprvé uspořádány a vydány na CD v roce 2005 u příležitosti 10. ročníku konference a také Světového roku fyziky. O rok později byla vytvořena webová verze, která je postupně doplňována o další a další ročníky. V roce 2012 došlo k převodu celého sborníku do databáze a zvýšily se tak nejen možnosti vyhledávání příspěvků podle zadaných kritérií, ale také přibyla možnost fulltextového vyhledávání (viz obr. 1).



Obr. 1. Původní (vlevo, v letech 2006–2011) a současná (od roku 2012) podoba webového Supersborníku.

Obsah Supersborníku

Obsah Supersborníku tvoří vybrané kvalitní příspěvky z jednotlivých ročníků Veletrhů nápadů, a to zejména takové, které přinášejí návody a náměty na pokusy využitelné ve výuce fyziky různého stupně škol, případně popisují zajímavé aktivity s žáky a studenty.

Vybíráme obvykle příspěvky něčím nové a inspirativní. Ovšem v oblasti školních fyzikálních experimentů nepovažujeme za účelné prosazovat původnost a originalitu za každou cenu. Nápady se tu často postupně přetvářejí či kombinují. I příspěvek popisující dobře známý pokus může přinést novou inspiraci například díky využití moderních technologií či zajímavému metodickému podání.

V září 2020 Supersborník obsahoval celkem 640 příspěvků ze všech 24 ročníků, navíc 90 vybraných z nich bylo přeloženo do angličtiny a zpřístupněno tak i zahraničním zájemcům. Všechny příspěvky jsou zařazeny tematicky, dle obtížnosti a náročnosti na použité pomůcky. Podle těchto parametrů a samozřejmě také podle autorů a ročníku konference lze v Supersborníku vyhledávat. Supersborník je také opatřen rejstříkem 469 klíčových slov, který společně s fulltextovým vyhledáváním umožňuje snadnou orientaci v publikovaných příspěvcích. Kromě vybraných příspěvků zahrnutých v databázi Supersborníku a opatřených uvedenými údaji zde naleznete i kompletní sborníky všech ročníků (ty nejstarší alespoň naskenované, celkem tedy více než 1100 příspěvků) a několik bonusových příspěvků.



Obr. 2. Unikátní přístupy za den do „Supersborníku“ v období září 2019 – srpen 2020.

Závěr

Supersborník má sloužit jako místo, kde učitelé fyziky všech stupňů škol nacházejí a budou i nadále nacházet užitečné informace a inspirativní náměty do výuky. Jak se to daří, mohou naznačit počty unikátních přístupů za den. Za uplynulý rok jsou graficky znázorněny na obr. 2. Věříme, že Veletrh nápadů učitelů fyziky bude i v dalších letech zdrojem dalších nápadů.

Literatura

- [1] Koupilová Z., Dvořák L., Kácovský P. (editoři): Souhrnný sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky. [cit. 3. 9. 2020]. Dostupné online: <https://vnuf.cz/sbornik/>

Fyzikální aplety z kvantovky v češtině

Zdeňka Koupilová, Petr Kácovský

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

Kvantová fyzika je poměrně abstraktní část fyziky, proto v ní hraje velkou roli názorná vizualizace jevů pomocí apletů. Lze nalézt mnoho apletů v angličtině, ale pro studenty učitelství, u kterých je důležité, aby správně ovládli domácí terminologii, je vhodnější používat aplety v češtině. V příspěvku jsou představeny aplety dostupné v češtině, které vznikly nebo byly přeloženy na KDF MFF UK, a také způsob, jak s nimi pracovat. Přestože je většina apletů na VŠ úrovni, některé lze využít i na SŠ pro představení vybraných konceptů.

Aplety ve výuce kvantové fyziky

Zřejmě díky abstraktnosti kvantové fyziky a její experimentální nedosažitelnosti existuje opravdu velké množství různých apletů či interaktivních programů, které mají pomoci studentům pochopit jednotlivé koncepty. Mají různá zaměření i kvalitu.

Většinu z nich ale můžeme zařadit do jedné ze dvou skupin. Do první skupiny bychom zařadili propracované aplety, ve kterých je možné nastavovat mnoho různých parametrů, přepínat různá zobrazení apod., a tak zobrazit velké množství situací. Příkladem mohou být aplety zaměřené na zobrazení řešení 1D problémů ze známého serveru PhET [1]. Tento přístup více vyhovuje učiteli, který pomocí jediného programu může postupně studentům ukazovat a komentovat řešení probíraných problémů a pružně reagovat na jejich dotazy pouhou změnou parametrů. Pro studenty, kteří se v problematice zatím tolik neorientují, ale bývá aplet s mnoha nastaveními často nepřehledný.

Druhým přístupem je vytvářet rozsahem malé, téměř jednoúčelové aplety pro konkrétní případ či koncept. Příkladem kolekcí několika desítek takových jednoúčelových kvalitních apletů jsou v současnosti již jen obtížně spustitelné Quantum Physlets [2] a Quantum Visualisation Project (QuVis) [3]. Tento přístup je pro studenty vhodnější, protože aplety mají obvykle jen velmi málo ovládacích prvků a studenty tak nerozptylují další možnosti nastavení. Také je jednodušší každý z apletů doplnit sadou navazujících úkolů, které ověřují pochopení zobrazovaného konceptu. Na druhou stranu pro výklad učitele může být nešikovné neustálé přepínání mezi různými aplety, zejména při nutnosti rychle reagovat na dotazy posluchačů.

Využívání apletů je podstatnou součástí kurzu kvantové fyziky pro budoucí učitele vyučovaného na KDF MF UK, jsou zakomponovány nejenom do výkladu, ale postupně jsou začleňovány i do vznikajících skript [4], a to včetně doprovodných úkolů či návodů, jak s nimi pracovat. Jejich užitečnost se výrazně ukázala během distanční výuky na jaře 2020, což potvrzují i autentická vyjádření ze zpětné vazby na distanční výuku tohoto kurzu:

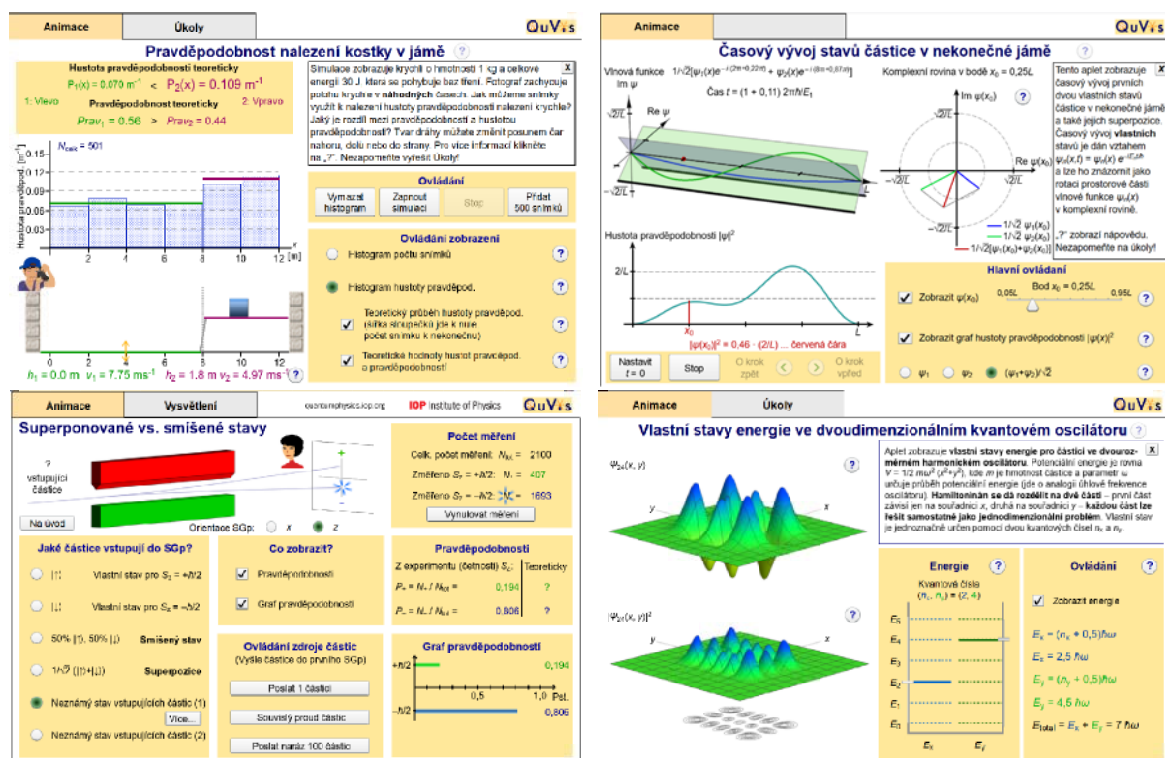
- *Podle mne super byly aplety. Klidně bych s nimi vymyslel víc domácích úkolů. Nejlepší je, když na to studenti přijdou sami. Pak jsem si to pamatoval.*
- *Pokud k tématu [je] nějaký aplet, tak jsem si s ním během učení mohl hrát, jak jsem potřeboval, kdežto při normální výuce s apletem operuje pouze jeden člověk –*

standardně vyučující – takže pokud mě zajímal nějaký výsledek konkrétního nastavení apletu, nemohl bych si ho sám najít.

V následujícím textu se věnujeme třem konkrétním příkladům apletů či jejich kolekcí, které používáme a na jejichž vzniku (či vzniku jejich české verze) jsme se podíleli.

Kolekce apletů QuVis (Quantum Visualisation Project)

Kolekce apletů QuVis [3] je založena nejenom na výzkumech častých studentských obtíží, ale také je ověřován výzkumem i jejich design a účinnost [5]. Koncepte těchto apletů velmi dobře zapadala do struktury našeho kurzu,¹ ale pro některé studenty byla na překážku jazyková bariéra, což limitovalo zejména samostatné používání apletů samotnými studenty. Protože u budoucích učitelů považujeme znalost české terminologie za velmi podstatnou, rozhodli jsme se se souhlasem jejich autorů přeložit vybrané aplety do češtiny. V plánu je přeložit cca 30 apletů, které jsou postupně uveřejňovány na serveru FyzWeb [6], aby byly volně dostupné všem zájemcům o jejich používání. Postupně se také objevují vhodné úkoly pro práci s těmito aplety (převzaté i původní) a jsou zintegrovávány do vznikajících skript [4].



Obr. 1. Vybrané příklady apletů kolekce QuVis přeložené do češtiny.

¹ Do roku 2019 jde o předmět NUFY100 Kvantová mechanika, od roku 2020 byl v rámci nové akreditace přejmenován na NFUF204 Úvod do kvantové mechaniky a kvantové teorie.

Tematická zaměření apletů:

- zavedení hustoty pravděpodobnosti na klasických případech
- vlastnosti měření (střední hodnota, neurčitost, postupná měření, ...) – nejčastěji ilustrované na spinových stavech
- vlastnosti vlnové funkce a řešení Schrödingerovy rovnice (časový vývoj, superpozice, hustota toku pravděpodobnosti)
- řešení základních jednodimenzionálních problémů (jámy, oscilátor, ...)
- dvoudimenzionální problémy
- provázané stavy, kryptografie, jednofotonové experimenty, ...
- poruchová metoda

a mnoho dalších. Ukázky několika apletů jsou na obr. 1.

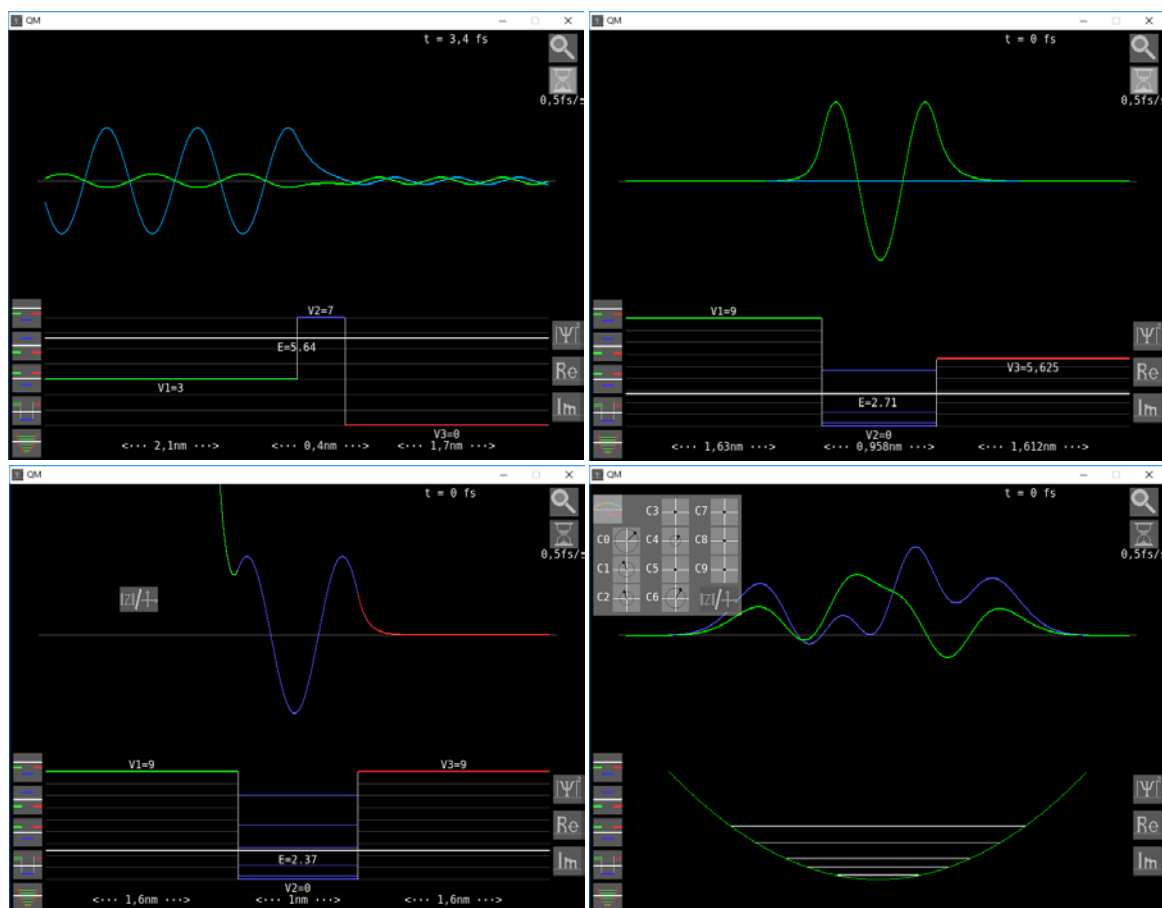
Zobrazování vlnové funkce pro vybrané 1D potenciály

Před několika lety došlo k ukončení podpory apletů naprogramovaných v Javě všemi majoritními prohlížeči, což znamenalo, že již nebylo možné ve výuce efektivně používat několik existujících velmi kvalitních kolekcí apletů ([2], [7] apod.) zobrazujících zejména řešení jednodimenzionálních problémů.

Z tohoto důvodu v rámci studentského projektu naprogramoval v letech 2016-2017 Tomáš Škraban, tehdejší student 2. roč. učitelství a tedy i kurzu kvantové mechaniky, program [8], který tyto aplety dokáže nahradit. Program je napsán v jazyce VisualBasic a uživatelsky jde o samostatně spustitelný program nevyžadující instalaci. Pomocí tohoto programu lze zobrazit následující situace (příklady viz obr. 2):

- Řešení kvantového schodu (stupně) a bariéry, konečné i nekonečné pravoúhlé jámy a harmonického oscilátoru; samozřejmě je možnost změny parametrů u všech těchto průběhů potenciální energie.
- Celkem neobvyklá je možnost zobrazit si matematické řešení Schrödingerovy rovnice pro libovolnou energii, tedy i takové, které není fyzikálně možné, což je pro výklad velmi cenné.
- Ve všech případech je možné zvolit, zdá má být vykreslena reálná a imaginární část vlnové funkce či hustota pravděpodobnosti.
- Kromě vázaných i rozptylových vlastních stavů energie program umožňuje ve vybraných případech vytvářet také superpozici několika vázaných stavů.
- Jako animaci znázorňuje časový vývoj libovolného zobrazeného stavu.

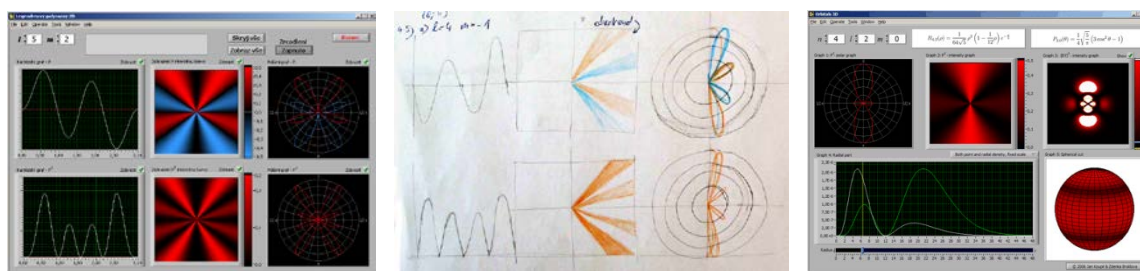
Za drobnou nevýhodu uvedeného programu je možné považovat poněkud nestandardní ovládání (vynucené jeho mnoha funkcemi), což znamená, že bez seznámení se s návodem není nový uživatel schopen program intuitivně používat.



Obr. 2. Obrazovky programu 1D kvantové potenciály – tunelový jev v případě nesymetrického potenciálového stupně (vlevo nahoře), vázaný stav nesymetrické konečně hluboké potenciálové jámy (vpravo nahoře), nefyzikální řešení konečně hluboké jámy (vlevo dole), nestacionární (superponovaný) stav lineárního harmonického oscilátoru (vpravo dole).

Orbitaly

Ze zkušeností z výuky víme, že je pro studenty velmi obtížné si na základě řešení Schrödingerovy rovnice a pomocí obrázků standardně uváděných v učebnicích správně představit průběh hustoty pravděpodobnosti vlastních stavů atomů vodíků, resp. tvary orbitalů. Zejména polární grafy jsou studenty zcela mylně chápány a interpretovány. I když existuje mnoho apletů zobrazujících tyto funkce, přínosem námi vytvořené sady čtyř programů (vytvořených v prostředí LabView) a zejména doprovodného pracovního sešitu s přibližně 30 úlohami [9, 10] je možnost postupného budování správné představy o průběhu daných funkcí. Programy využívají různé způsoby zobrazení každé funkce a jejich porovnávání (viz obr. 3).



Obr. 3. Ukázka dvou programů a řešení tzv. překreslovacího úkolu v programech Orbitaly.

Tyto programy i pracovní sešit stále používáme ve výuce budoucích učitelů fyziky (od roku 2007, cca 80 studentů, nejčastěji jako domácí práce) a jsou studenty velmi kladně oceňovány, což můžeme doložit několika autentickými citacemi:

- „... bylo to trochu jako detektivka, zda jsou moje obrázky správně.“
- „Před prací s těmito programy jsem si nedovedla představit, co znamená: orbital je koule uvnitř jiné koule.“
- „... až když jsem kreslil obrázky, jsem si uvědomil, že jsem vysvětlení zcela nepochopil a potřebuji si ho pročíst ještě jednou.“

I když programy i úlohy vznikly primárně pro vysokoškolskou výuku, mohou být využívány i při výkladu na středních školách.

Závěr

S využíváním apletů ve výuce kvantové fyziky ve výuce budoucích učitelů máme dlouhodobě výborné zkušenosti. Pokud jsou vhodně zakomponovány do výuky jako demonstrační ukázky i jako samostatná práce studentů, přispívají k pochopení probírané látky.

Poděkování: Překlad apletů kolekce QuVis a tvorba doprovodných úloh je finančně podporována jako jedna z tematických oblastí IRP MŠMT pro UK.

Literatura

- [1] PhET Interactive Simulations project – *Interactive Simulations for Science and Math*. University of Colorado Boulder. [cit. 4. 9. 2020] Dostupné online: <https://phet.colorado.edu/>. Konkrétně aplety: *Quantum Bound States* (<https://phet.colorado.edu/cs/simulation/legacy/bound-states>) a *Quantum Tunneling and Wave Packets* (<https://phet.colorado.edu/cs/simulation/legacy/quantum-tunneling>)
- [2] Belloni M., Christian W., Cox A. J.: *Physlet Quantum Physics: An Interactive Introduction*. Pearson Prentice Hall, 2006. Aplety jsou dostupné také online [cit. 4. 9. 2020] <https://www.compadre.org/pqp/>

- [3] Kohnle A. (vedoucí týmu) a kol.: The Quantum Mechanics Visualisation Project. University of St Andrews. [cit. 4. 9. 2020] Dostupné online: <https://www.st-andrews.ac.uk/physics/quvis/>
- [4] Koupilová Z., Kácovský P.: *Kvantová fyzika (nejen) pro budoucí učitele s otázkami, úlohami a příklady*. Rukopis skript. Vybrané kapitoly jsou postupně zveřejňovány na stránkách KDF [cit. 4. 9. 2020]. Dostupné online <https://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/kvantovka/>
- [5] Kohnle A. a kol. *A new multimedia resource for teaching quantum mechanics concepts*. Am. J. Physics 80, 148 (2012); <https://doi.org/10.1119/1.3657800>
- [6] Český překlad apletů z kolekce QuViS. [cit. 4. 9. 2020] Dostupné online: <http://fyzweb.cz/materialy/kvantovka/>
- [7] Basdevant J.-L., Dalibard, J.: *Quantum Mechanics*. Springer-Verlag Berlin and Heidelberg. 2005.
- [8] Škraban T.: *Zobrazování vlnové funkce pro vybrané 1D potenciály*. [cit. 4. 9. 2020] Dostupné online: <http://fyzweb.cz/materialy/qm-potencialy/>
- [9] Broklová Z., Koupil J. Visualisation of Hydrogen Atom States. In O. Slooten, E. van den Berg, T. Ellermeijer. *Modelling in Physics and Physics Education*. Proceedings of GIREP Conference 2006. Amsterdam: 2008.
- [10] Koupilová Z.: *Hrajeme si s orbitaly*, [cit. 4. 9. 2020]. Dostupné online: <http://kdf.mff.cuni.cz/~koupilova/orbitals/>

Zkušenosti z vysokoškolské online výuky

Zdeňka Koupilová, Marie Snětinová, Petr Kácovský, Leoš Dvořák

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

Letní semestr 2019/2020, jehož převážná část proběhla kvůli koronavirové karanténě distanční formou, nás donutil vyzkoušet mnoho nových technologií, ale hlavně způsobů práce. V příspěvku shrneme zkušenosti z intenzivní online výuky Elektřiny a magnetismu a Kvantové mechaniky, tj. dvou „velkých“ povinných přednášek v prvních dvou letech bakalářského studia budoucích učitelů fyziky. Popíšeme nejenom vedení přímých hodin (webinářů), ale i způsob, jak zadávat práci a kontrolovat její plnění.

Úvodem

Tento příspěvek by se dal začít citátem doktora Vlacha z Jirotkova Saturnina [1]:

„Prožíváme-li delší dobu idylu, přestaneme ji vnímat a osud by nám prokázal neocenitelnou službu, kdyby nás popadl za límec a vyhodil dočasně na mráz. Pak bychom nevzpomínali na to, že kamna trochu kouřila, nýbrž na to, že hřála. A na to, že bylo ostatně v naší moci, aby jenom hřála.“

Tvrdit, že do února 2020 jsme ve výuce zažívali jenom samou idylu, by možná bylo přehnané, ale „mráz“, do kterého nás osud v březnu 2020 hodil, byl nečekaný a intenzivní. Karanténa a nutnost učit distančně ale na druhou stranu znamenaly i opravdovou výzvu pro všechny, kteří se rozhodli nerezignovat a hledali cesty, jak realizovat výuku co nej kvalitněji. A přijmutí této výzvy znamenalo mnoho zkoušení a nových zkušeností.

V tomto příspěvku velmi stručně nastíníme model distanční online výuky dvou povinných předmětů, které na MFF UK studují budoucí středoškolské učitelé fyziky – NFUF103 Elektřina a magnetismus pro 1. ročník a NUFY100 Kvantová mechanika pro 2. ročník. V obou případech se jedná o „velké“ přednášky (6 vyučovacích hodin týdně), které jsou studenty vnímány jako náročné. Na výuce se podílí více vyučujících (za standardních podmínek přednášející a cvičící). U kvantové mechaniky nejsou odlišena cvičení a přednášky, ale teorie se prolíná s řešením úloh a výuka je vedena aktivizujícími metodami; studenti ji v této formě zažili prezenčně v prvních cca 4 týdnech semestru. Popsané předměty navštěvovalo v „koronavirovém“ semestru 10, resp. 11 studentů.

Naší snahou bylo zachovat skutečnou výuku, tj. nedegradovat ji na pouhé samostatné studium skript a řešení v nich uvedených úloh, případně pasivní poslouchání nahraných či streamovaných přednášek. Hlavním problémem proto bylo, jak zajistit efektivní oboustrannou komunikaci mezi vyučujícími a studenty, ale také jak umožnit studentům diskutovat nad problémy v menších skupinách s možností intervence vyučujícího.

Hlavním informačním kanálem se stal LMS Moodle (LMS = Learning Management Systém, spravovaný univerzitou), který byl pro výuku používán již v prezenční části semestru – studenti jej tedy znali, pouze se prohloubilo jeho využití pro zveřejňování studijních materiálů, zadávání, vybírání a opravování domácích úkolů, ale třeba i pro psaní cvičných, opakovacích i zápočtových testů. Doplněn byl systémem Perusall, který zjednodušuje

diskuzi o studijních materiálech. Pro interaktivní část výuky jsme zvolili platformu MS Teams, kde se odehrávaly pro každý předmět dvakrát týdně online hodiny či konzultace (individuální i hromadné). Podrobněji jsou vybrané nástroje a zkušenosti získané při práci s nimi popsány dále.

Moodle

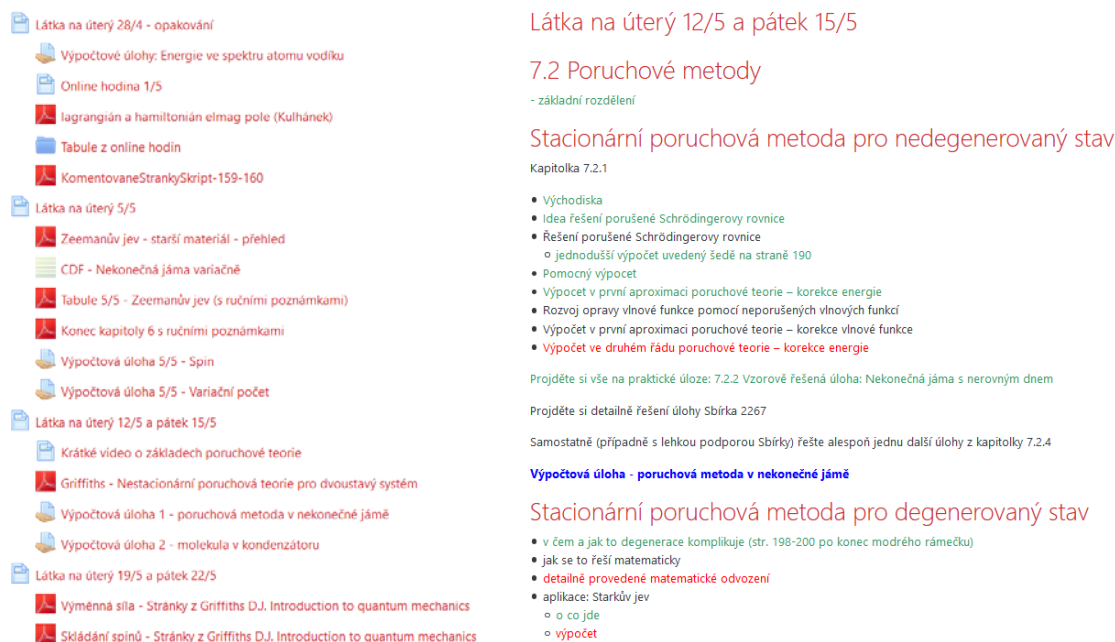
Na LMS Moodle [2] jsou naši studenti zvyklí, již pět let ho využíváme jako prostor, kde zveřejňujeme studijní materiály, ale také zadáváme domácí práci. V obou předmětech studenti pravidelně 1× týdně zodpovídají otázky týkající se toho, jak zvládli právě probíranou látku; jedná se o metodu Just-in-Time Teaching, námi používaná varianta je popsána v [3].

Při distanční výuce jsme navíc začali v Moodle zveřejňovat podrobně psané požadavky, co, jak a pomocí čeho si mají studenti v daném týdnu osvojit – přečíst, spočítat, vyzkoušet pomocí apletu apod. Ukázalo se, že oproti přímé výuce je v distančním přístupu pro studenty obtížnější odlišit, co je základní látka a která témata jsou spíše rozšiřující; přitom neplatí, že by rozšiřující látka byla vždy ta obtížnější nebo matematictější zaměřená. Protože jsme na zadávání rozšiřujících témat nechtěli rezignovat a mezi pokročilejšími studenty o ně byl navíc zájem, dospěli jsme nakonec k systému barevného rozlišování látky (viz obr. 1 vpravo). Zelenou barvou bylo označeno nezbytné minimum (bez těchto znalostí a dovedností nelze očekávat složení zkoušky a hrozí velké problémy v návazných předmětech), černě optimum (běžná látka, jejíž ovládnutí by mělo dostačovat i na výborné hodnocení u zkoušky) a červeně rozšiřující látka pro zájemce o hlubší porozumění či přesahy do dalších oblastí. Aktivita, ve kterých se očekávalo odevzdání nějaké domácí práce, byly označeny modrou barvou.

Moodle se ukázal jako skvělý pomocník při odevzdávání veškerých domácích prací – automaticky ukládá čas vložení, studenti mohou ke své práci připojit slovní komentář, ale hlavně je možné opravovat i komentovat práce přímo do textu bez nutnosti si je stahovat, ukládat na lokální disk a pak znovu nahrávat na server. Velmi se tak usnadňuje poskytování zpětné vazby, resp. formativního hodnocení v minimálně stejné intenzitě jako během prezenční výuky.

V LMS Moodle je také možné vytvářet různé druhy testů. Rozšířili jsme množství cvičných testů a nastavili je tak, aby studentům dávaly okamžitou informaci, zda odpověděli správně, případně aby poskytovaly vhodnou nápovědu. Využívali jsme nejenom uzavřené otázky, ale také krátké otevřené odpovědi (slovní i číselné), jež umožňují automatické vyhodnocování. Počet pokusů nebyl nijak omezen, studenti mohli vložit také vlastní zdůvodnění či komentáře k jednotlivým otázkám, které jsme průběžně opravovali a komentovali. Tyto testy byly mezi studenty velmi oblíbené, zejména pro svoji okamžitou odezvu. Jedinou jejich nevýhodou je velká časová náročnost jejich tvorby.

Kromě cvičných testů jsme v rámci kvantové mechaniky psali v Moodle i zápočtový test, který měl samozřejmě podmínky nastaveny velmi odlišně.

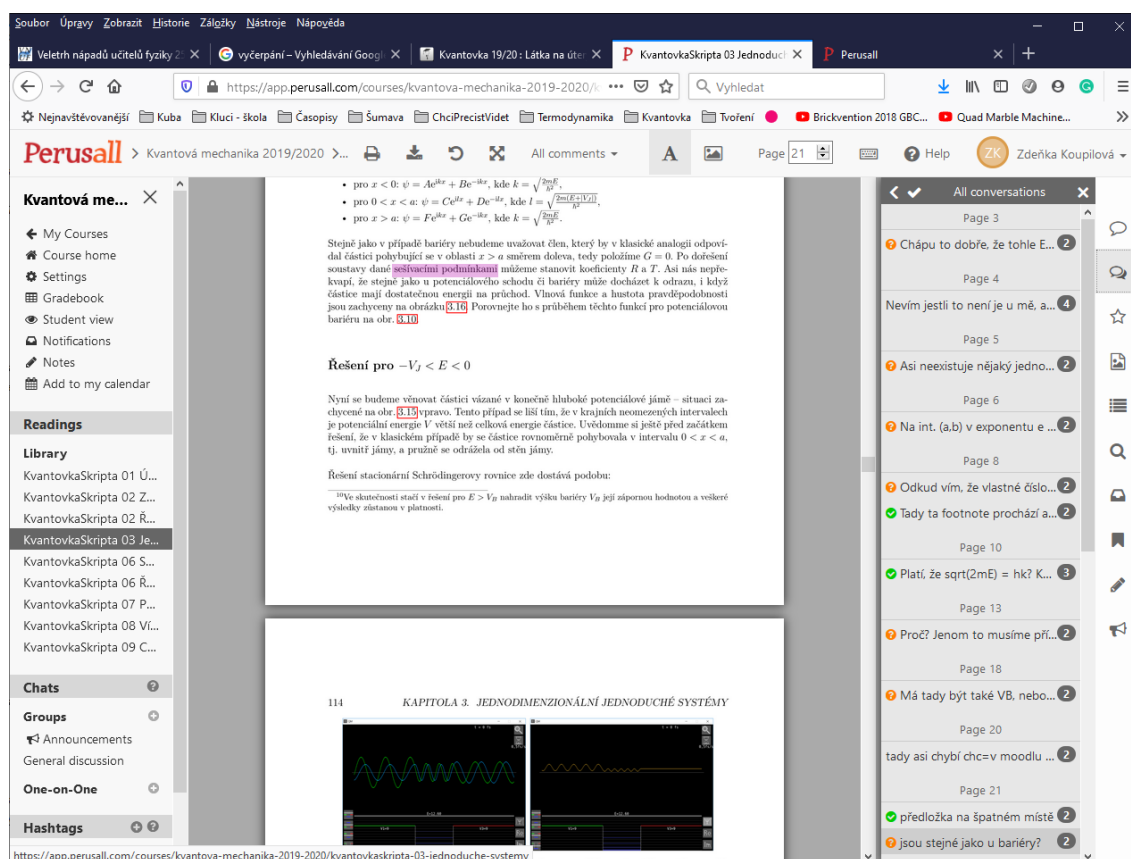


Obr. 1. Výřezy zobrazují LMS Moodle pro předmět Kvantová mechanika, vlevo je vidět týdenní struktura jednotlivých materiálů, vpravo je stránka s týdenním plánem, která ukazuje barevné odlišování látky.

Perusall

Systém Perusall [4] je vyvíjen na Harvard University, je zdarma dostupný a jeho cílem je umožnit studentům pohodlně diskutovat o studijním textu. Mimo jiné umožňuje učitelům, aby vložili své vlastní texty ve formátu PDF, a studenti mohou pouhým označením vkládat do rozhraní svoje otázky či postřehy k jednotlivým částem textu, případně komentovat dotazy spolužáků (viz obr. 2).

V naší výuce jsme toto rozhraní využili zejména k tomu, aby studenti mohli pokládat dotazy ke studijním textům, které během výuky průběžně vznikaly; na dotazy pak odpovídali typicky přímo vyučující. Ti studenti, kteří tuto nepovinnou součást výuky využili, ji hodnotili jako velmi užitečnou.



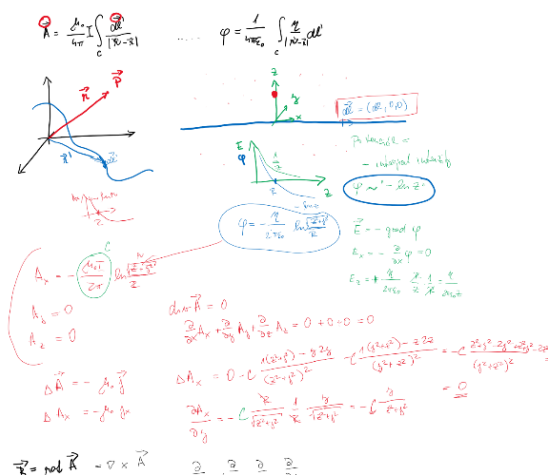
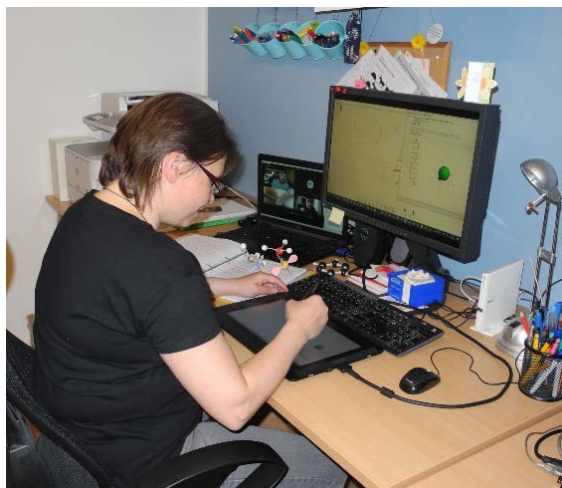
Obr. 2. Obrazovka systému Perusall, úplně vlevo seznam vložených dokumentů, uprostřed vložený dokument a vpravo seznam komentářů, vláken diskuzí.

MS Teams

Vzhledem k tomu, že naším cílem bylo učit, bylo nutné najít vhodnou platformu pro konferenční videohovory. Po rychlém vyzkoušení několika možností jsme zvolili MS Teams (součást MS Office 365 [5]) – mezi hlavní důvody patřilo to, že naše univerzita má multilicenci pro všechny studenty, na rozdíl od jiných systémů lze lekce komfortně nahrávat a software nabízí další funkce než jen videohovor (např. ukládání souborů, tvorba anket a testů), čímž se přibližuje LMS.

V obou předmětech se studenti shodli, že se budeme scházet dvakrát týdně na 90 minut. Asi polovina času byla určena na výklad či okomentování nové látky, druhou polovinu času jsme věnovali zodpovídání otázek studentů. Tedy „přímá online výuka“ nenahrazovala zcela prezenční výuku, ale byla kombinována se samostudiem.

Podstatné části všech hodin jsme nahrávali. Nakonec se ukázalo, že nahrávky nebyly ve velké míře využívány, studenti dávali přednost účasti na interaktivních online hodinách. Nejpodstatnější zkušeností, kterou jsme učinili, byla skutečnost, že během prvních tří hodin se studenti stávali stále pasivnějšími a nechávali svoje videokamery i mikrofony po celou dobu vypnuté, čímž se komunikace stala prakticky jednosměrnou bez jakékoliv zpětné vazby. Proto jsme se studenty o naší představě výuky promluvíli a dohodli se, že si budou kamery nechávat zapnuté (až na výjimečné případy); rozhraní umožňuje nastavit neutrální pozadí, takže je na videu vidět pouze osoba a nedochází tak k nežádoucímu pronikání do soukromí studentů.



Obr. 3. Pracoviště vyučující (vlevo) a ukázka tabule po jedné z konzultací.

Tabule a další zajištění interaktivity výuky

Kromě zajištění konferenčního videohovoru bylo třeba najít i způsob, jak nahradit tabuli. Předtočené videosekvence s náročnějšími odvozeními se ukázaly jako dobrý doplněk pro samostudium, ale přímo v online výuce neumožňují dostatečně pružně reagovat na dotazy studentů. Jako funkční a časově zvládnutelná možnost se ukázalo nafotit odvození psané na standardní tabuli krok po kroku, při hodině tyto fotografie procházet a dopisovat do nich detaily či alternativní kroky na základě dotazů. Fotografie je vhodné pořizovat s fotoaparátem na stativu a s dálkovým ovládáním, díky čemuž působí jejich sekvence téměř jako animace a studenty neruší „poskakování“ řádků.

Při vlastním výkladu lze využívat bílou tabuli, která je součástí MS Teams a její výhodou je, že se k ní jednoduše mohou připojit všichni účastníci hovoru. Studenty tak lze požádat, aby udělali značku u jimi preferované možnosti, označili něco v obrázku apod. Na druhou stranu tato tabule neumožňuje vkládání obrázků ani žádné další pokročilejší možnosti práce s napsaným textem, proto jsme při výkladu používali mnohem propracovanější MS Whiteboard (součást Office 365 [5], její sdílení je ale méně pohodlné). Ve spojení s grafickým tabletem bylo možné vést výklad i konzultovat matematická odvození téměř stejně komfortně jako v učebně.

Vpisování do společné tabule se ukázalo jako nepříliš vhodný prostředek zajištění aktivity všech studentů, protože podobně jako u slovních odpovědí vždy odpovědělo několik nejrychlejších studentů a ostatní buď jejich odpovědi opakovali či na odpovídání zcela rezignovali. Mnohem vhodnější byly jednoduché otázky v chatu videohovoru, kdy studenti víceméně anonymně hlasovali pomocí emotikonů (např. palec = ano, mračoun = ne), nebo jednoduché ankety vytvářené pomocí MS Forms (také součást MS Office 365 [5]), které se daly vytvářet i během výuky a umožňovaly pružně reagovat na situaci.

Ideálním nástrojem pro interaktivní výuku se ale ukázaly „malé tabulky pro každého studenta“ – jednoduchá webová aplikace Whiteboard.fi [6]. Vyučující si zde vytvoří svoji třídu, její kód sdělí studentům, kteří se připojí, vše bez jakékoliv registrace či sdělování osobních údajů. V aplikaci má každý student k dispozici svoji malou tabuli, na kterou může psát, kreslit i vkládat obrázky. Učitel má také svoji a může její obsah „zaslat“ studentům. Ideální se ukázalo zaslat studentům obrázek či vzorec a chtít po nich např. označit danou

část, domalovat šipku, zakroužkovat příslušný člen atd.; takové operace pohodlně zvládali i studenti připojení např. na telefonu nebo počítači, který nebyl vybavený myší. Studenti navzájem nevidí svoje odpovědi, takže odpovídají opravdu podle svého dosavadního pochopení (případně mohou zcela neveřejně vyučujícímu sdělit, že úkol vyřešit nedokáží). Vyučující vidí odpovědi každého ze studentů – a pokud chce sdílet obrazovku s odpověďmi všech studentů, může skrýt jejich jména. Tím se eliminuje ostych slabších studentů či těch, kteří na rozmýšlení potřebují více času. Tato aplikace byla neocenitelnou pomůckou, protože nahradila hlasovací karty a tabulky používané v hodinách.

Závěr

Distanční výuka byla velmi intenzivní novou zkušeností a přinesla nejenom mnoho poznatků technického rázu, ale také vedla k zamyšlení, zda některé postupy nevyužívat i při běžné výuce. Na druhou stranu přednášky byly zcela ochuzeny o experimenty. Demonstrační experimenty je možné s jistými omezeními do distanční výuky zařadit, ale pro studenty jsou mnohem cennější experimenty, na které si mohou opravdu „šáhnout“ a vyzkoušet si je na živo, což bohužel „na dálku“ není možné.

Literatura

- [1] Jirotko Z.: Saturnin. Československý spisovatel, Praha, 1991.
- [2] Moodle, open-source learning system. [cit. 11. 9. 2020] Dostupné online <https://moodle.org/>
- [3] Koupilová Z., Kácovský P.: *Výuka pomocí metod aktivního učení v kurzu pokročilé termodynamiky a statistické fyziky*. Scientia in educatione Vol 8 No 1 (2017)
- [4] Perusall, the truly online social e-reader. [cit. 11. 9. 2020] Dostupné online <https://perusall.com/>
- [5] Microsoft Office365. [cit. 11. 9. 2020] Dostupné online <https://www.microsoft.com/cs-cz/microsoft-365>
- [6] Whiteboard.fi. [cit. 11. 9. 2020] Dostupné online <https://whiteboard.fi/>

Sbírka řešených úloh z fyziky a Sbírka fyzikálních pokusů

Zdeňka Koupilová, Marie Snětinová, Petr Kácovský, Dana Mandíková

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

Elektronická Sbírka řešených úloh z fyziky obsahuje úlohy na úrovni základní, střední i vysoké školy. V současné době je ve Sbírce více než 900 úloh z fyziky rozdělených do šesti témat. Sbírka je unikátní konceptem propracovaných nápověd a komentářů, postupně jsou k úlohám doplňovány i interaktivní prvky. Novinkou je vznik sedmého tématu, do kterého jsou vkládány přírodovědné úlohy uvolněné z mezinárodního výzkumu PISA. Druhá Sbírka, Sbírka fyzikálních pokusů, obsahuje v současné době více než 160 zveřejněných detailně popsanych návodu na pokusy. Ty jsou určeny jako inspirace pro učitele zejména na úrovni základních a středních škol. Popisy pokusů obsahují metodické i technické poznámky, vzorové výsledky či krátké videosekvence daných pokusů. Obě Sbírky jsou vzájemně propojené a mají i své anglické verze.

Úvod

Sbírka řešených úloh z fyziky¹ je na KDF MFF UK rozvíjena již 14 let [1-4] a patří mezi nejvýznamnější podpůrné materiály pro studenty i učitele, které jsou na KDF MFF UK vytvářeny. V současné době obsahuje přes 900 úloh z fyziky (viz tab. 1), od jednoduchých základoškolských až po úlohy vysokoškolské obtížnosti. Úlohy jsou postupně doplňovány tak, aby Sbírka pokrývala všechny kapitoly příslušného tématu a obsahovala úlohy všech úrovní.

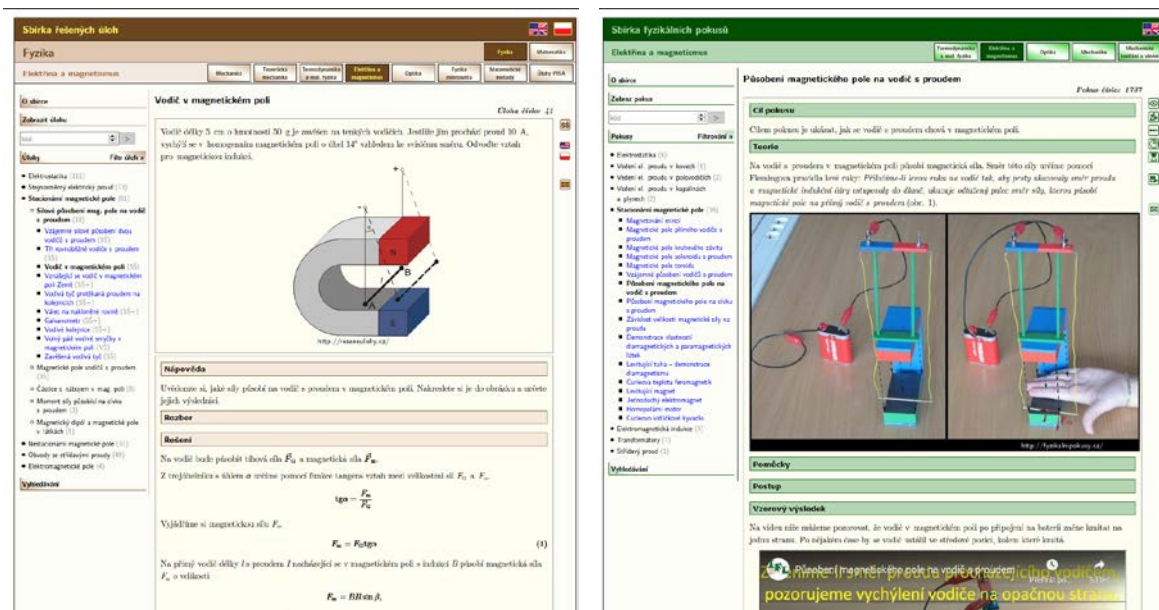
Unikátnost Sbírky spočívá nejen v tom, že všechny úlohy jsou řešené, ale hlavně ve speciální struktuře tohoto řešení, které čtenáře úlohou provází a podněcuje jeho vlastní přemýšlení pomocí gradovaných nápověd a komentářů. Zároveň si klade za cíl rozvíjet u uživatelů Sbírky schopnost řešit úlohy.

V roce 2015 vznikla s využitím stejného rozhraní a databáze **Sbírka fyzikálních pokusů**², jež má být inspirací pro učitele zejména na úrovni základních a středních škol. V tuto chvíli Sbírka obsahuje více než 160 pokusů (tab. 1). Ty jsou zpracovávány co nejnázorněji a jsou doplněny technickými a metodickými postřehy, fotografiemi a videosekvencemi zachycujícími vzorové provedení pokusu.

Použití stejného webového rozhraní umožňuje snadné propojování úloh a pokusů se stejnou tematikou (viz obr. 1), což ulehčuje využití obou Sbírek při přípravě na výuku. Vybrané úlohy i pokusy jsou průběžně překládány do angličtiny, aby byl obsah Sbírek mezinárodně dostupný. Kromě uvedených dvou Sbírek pracují na stejném rozhraní ještě dvě sbírky úloh z vysokoškolské matematiky, jejich cílová skupina i koncepce je ale odlišná.

¹ <http://reseneulohy.cz/cs>

² <http://fyzikalnipokusy.cz/cs>

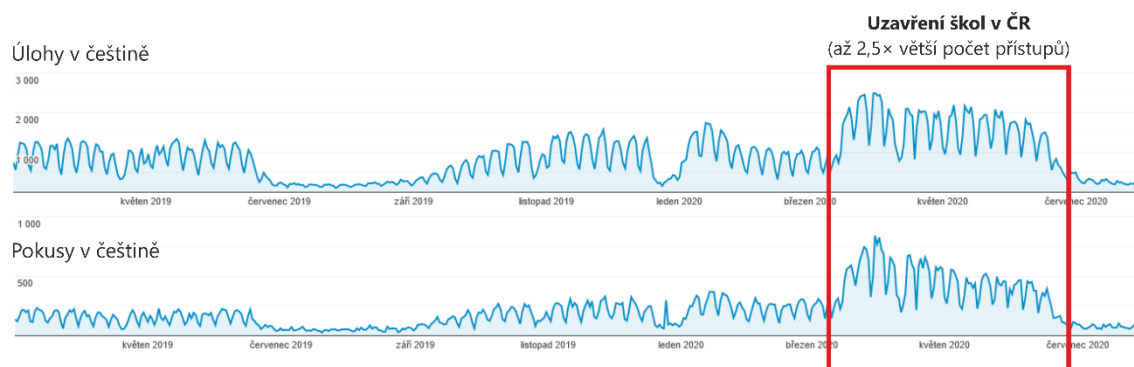


Obr. 1. Ukázka navzájem se doplňující úlohy *Vodič v magnetickém poli* (kód 41) a pokusu *Působení magnetického pole na vodič s proudem* (kód 1737).

Tabulka 1. Počty publikovaných úloh a pokusů z fyziky v jednotlivých tématech.

	Úlohy		Pokusy	
	česky	anglicky	česky	anglicky
Mechanika	235	96	7	
Elektřina a magnetismus	280	90	51	12
Termodynamika	152	74	73	37
Optika	67	18	29	5
Další témata	170		6	

V posledních letech monitorujeme přístupy do Sbírek pomocí služby Google Analytics. Ve dnech školního vyučování vykazuje česká část Sbírky řešených úloh téměř tisíc unikátních přístupů za den a česká část Sbírky fyzikálních pokusů přes 200 přístupů denně. V meziročním srovnání mají počty přístupů setrvalý či mírně se zvyšující trend. Obr. 2 ukazuje denní počty přístupů za posledních 16 měsíců. Můžeme si povšimnout, že v grafu vysledujeme výrazné poklesy v době víkendů, prázdnin či státních svátků, ale i očekávaná období zvýšeného zájmu na koncích obou pololetí/semestrů. Dále je zde patrné, že v době karantény a distanční výuky na všech typech škol v ČR v období března–červen 2020 stoupl počet přístupů do obou Sbírek více než dvojnásobně. Obě Sbírky mají podobnou míru okamžitého opuštění (cca 85 %), průměrný počet zobrazených stránek na přístup (1,5) i délku připojení (1 minuta), ale také míru návratnosti kolem 20 %. Ze všech indikátorů usuzujeme, že Sbírky jsou materiálem hojně využívaným žáky a učiteli.



Obr. 2. Graf počtu unikátních přístupů za den do českých částí Sbírky řešených úloh a Sbírky fyzikálních pokusů v období březen 2019 až srpen 2020.

Úlohy PISA – nová součást Sbírky řešených úloh

Nově se v posledních dvou letech staly součástí Sbírky řešených úloh přírodovědné úlohy uvolněné z mezinárodního výzkumu PISA. Úlohy používané v testech PISA se liší svou strukturou i zaměřením od úloh běžně využívaných v našich školách. Úlohy tvoří obvykle větší komplex otázek, které zkoumají jedno určité téma. Testové úlohy vycházejí z reálných situací, úlohy obvykle uvádí více či méně rozsáhlý text, graf, obrázek nebo jiný písemný materiál, ke kterému se vztahují otázky. Elektronické testování, které probíhá od roku 2015, umožnilo zařazovat do přírodovědného testu kvalitativně nové interaktivní úlohy obsahující simulace, modelování pokusů a další interaktivní prvky.

Chceme úlohy PISA touto formou zpřístupnit širšímu počtu učitelů a žáků. Úlohy jsou před zveřejněním doplněny nejenom o řešení, ale také o další komentáře tak, aby odpovídaly formátu a stylu ostatních úloh. Zatím je zveřejněno 10 klasických úloh a pracujeme na převodu nových úloh s interaktivními prvky. Na obr. 3 je ukázka úlohy PISA s uvedením jedné otázky a jejího řešení.

V mnoha zemích je možné zobrazit plod (vyvíjející se dítě) ultrazvukovým snímáním (echografie). Ultrazvuk je považován za bezpečný pro matku i dítě.



<http://reseneulohy.cz/>

Lékařka drží sondu a pohybuje s ní po břiše matky. Ultrazvukové vlny se přenášejí do břicha. Uvnitř břicha se odrážejí od povrchu plodu. Takto odražené vlny zachycuje opět sonda a předává je do přístroje, který vytvoří obraz.

Otázka 2:

Obraz plodu lze získat také pomocí rentgenových paprsků. Ženám se však doporučuje, aby se během těhotenství rentgenování břicha vyhýbaly.

Proč by se měly ženy během těhotenství vyhýbat rentgenování břicha?

ŘEŠENÍ OTÁZKY 2:

Úplná odpověď

Rentgenové záření poškozuje plod.

- Rentgenové paprsky poškozují plod.
- Rentgenové paprsky mohou způsobit mutaci v plodu.
- Rentgenové záření může způsobit poruchu plodu.

NEBO

Rentgenové záření může poškodit rozmnožovací soustavu matky.

- Mohou způsobit, že pro ni bude obtížnější mít další dítě.

Nevyhovující odpověď

Jiné odpovědi

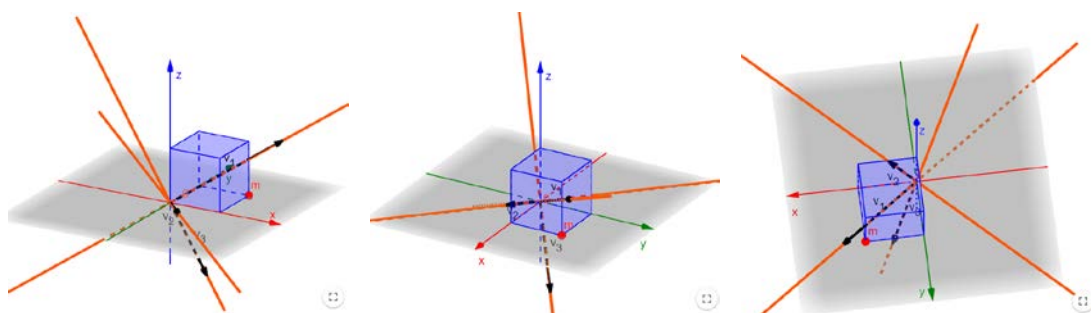
- Rentgenové paprsky nedávají jasný obrázek plodu.

Nezodpovězeno

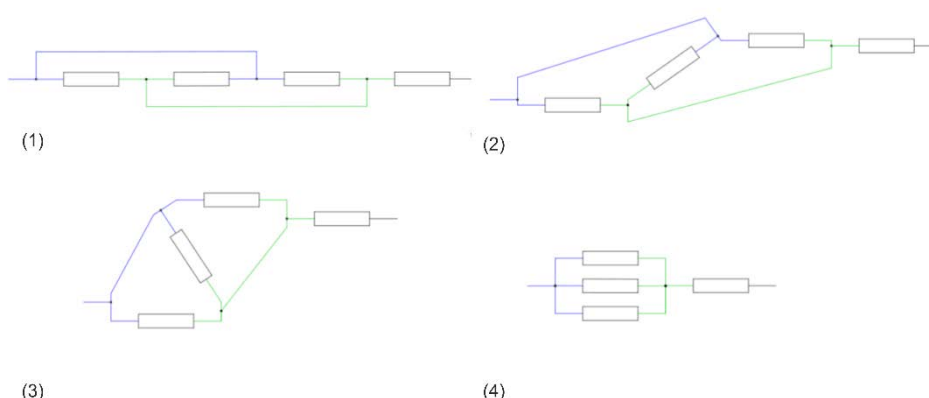
Obr. 3. Úloha PISA s ukázkou možných odpovědí na otázku (úloha Ultrazvuk, kód 2244).

Interaktivní prvky v úlohách

V posledních letech se také zvětšuje počet úloh ve Sbírce, které jsou doplněny o interaktivní prvky. Nejde jenom o úlohy nově přidávané, ale takové prvky jsou doplňovány i k vybraným úlohám, které již ve Sbírce jsou. Naší snahou je tak ještě více využít skutečnosti, že je Sbírka výhradně elektronická. V současnosti se jedná o interaktivní grafické modely vytvořené v GeoGebře³ nebo v Mathematice (jako CDF moduly)⁴. Tyto prvky plní různé účely, např. pomáhají vytvořit správnou geometrickou představu řešeného problému (viz obr. 4), simulují nějaký mentální proces, který by mohl činit méně zkušeným čtenářům potíže (viz obr. 5), graficky znázorňují postup řešení (viz obr. 6), znázorňují výsledek úlohy i pro jiné hodnoty, než je uvedeno v zadání, a to i pro takové situace, které by byly na dané úrovni jen obtížně analyticky řešitelné (viz obr. 7). Velmi často jsou interaktivní prvky doplněny nejenom o popis ovládání, ale také o konkrétní úlohy/úkoly. Čtenář si tak může s interaktivním prvkem volně „pohrát“ a samostatně zkoumat, ale i cíleně pracovat a prohlubovat si tak porozumění dané problematice.



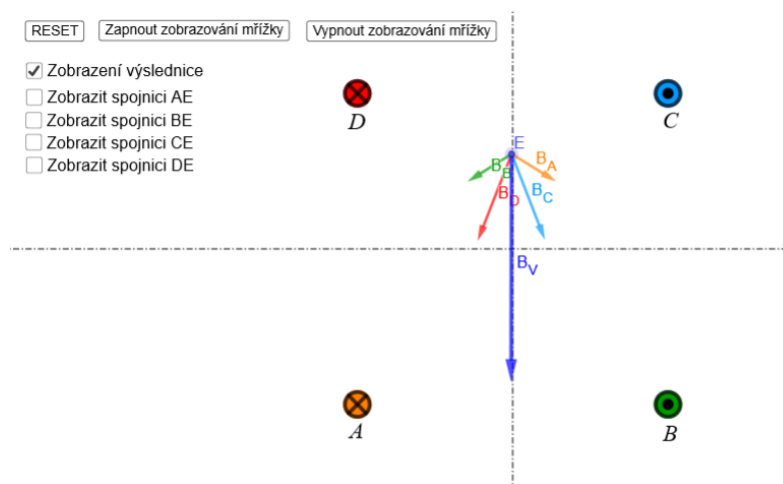
Obr. 4. Interaktivní prvek umožňuje natáčení 3D modelu řešené situace (úloha *Krychle s hmotným bodem – hledání hlavních os setrvačnosti*, kód 2250).



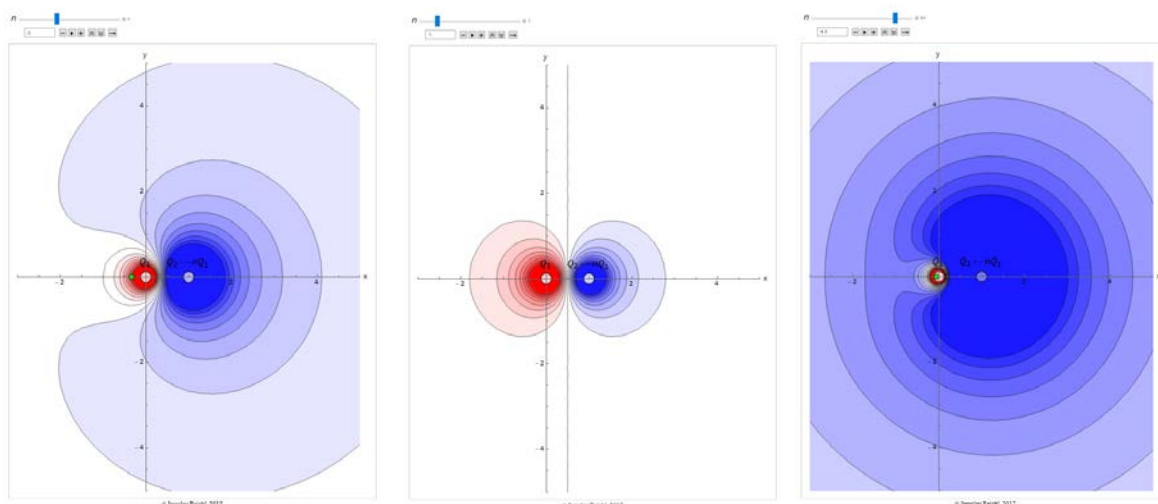
Obr. 5. Překreslení netypicky (nepřehledně) zakresleného obvodu do jeho obvyklejší podoby (úloha *Netradiční obvody 1*, kód 276).

³ <https://www.geogebra.org>

⁴ <https://www.wolfram.com/cdf/>



Obr. 6. Grafické znázornění řešení úlohy – hledání výsledného magnetického pole; s umístěním bodu, ve kterém jsou vykresleny příspěvky jednotlivých drátů i jejich výslednice, lze posunovat (úloha *Čtyři dlouhé vodivé dráty*, kód 2312).



Obr. 7. Ekvipotenciály dvou bodových nábojů pro různé poměry jejich velikostí (úloha *Ekvipotenciální plocha*, kód 2025).

Závěr

Sbírka řešených úloh z fyziky a Sbírka fyzikálních pokusů, které jsou zaštiťovány Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, se neustále rozvíjejí. Ve Sbírce úloh vzniklo nové téma zaměřené na úlohy uvolněné z mezinárodního výzkumu PISA. Vybrané úlohy jsou doplňovány interaktivními prvky, které uživatelům Sbírky pomáhají lépe porozumět dané problematice. Úlohy a pokusy se stejnou tematikou jsou vzájemně propojovány a tím mohou usnadnit přípravu učitelů na vyučování. V době uzavření škol na jaře 2020 se počet přístupů do obou Sbírek více než zdvojnásobil. Proto věříme, že Sbírky přinášejí prospěch učitelům i jejich žákům a studentům.

Poděkování: Rozvoj Sbírek je dlouhodobě finančně podporován IRP MŠMT pro UK.

Literatura

- [1] Koupilová Z., Mandíková D., Snětinová M.: *Sbírka řešených úloh – nové rozhraní*. In: Koudelková V. (editor): *Veletrh nápadů učitelů fyziky 20*, Sborník z konference. Nakladatelství P3K s.r.o., Praha, 2016.
- [2] Kácovský P.: *O elektronické Sbírce fyzikálních pokusů*. In: Koudelková, V. (editor): *Veletrh nápadů učitelů fyziky 20*, Sborník z konference. Nakladatelství P3K s.r.o., Praha, 2016.
- [3] Kácovský P., Snětinová M.: *Elektronické Sbírky (...řešených úloh a fyzikálních pokusů)*. In: Holubová R. (editor): *Veletrh nápadů učitelů fyziky 22*, Sborník z konference. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 2017.
- [4] Snětinová M., Kácovský P., Koupilová Z., Mandíková D.: *Interaktivní prvky ve Sbírce řešených úloh a fyzikálních pokusů*. In: Šerý M. (editor): *Veletrh nápadů učitelů fyziky 23*, Sborník z mezinárodní konference. Jihočeská univerzita, České Budějovice, 2018.

Chladniho obrazce bez smyčce a s mobilním telefonem

Alice Kutnarová, Lukáš Richterek

Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, Olomouc

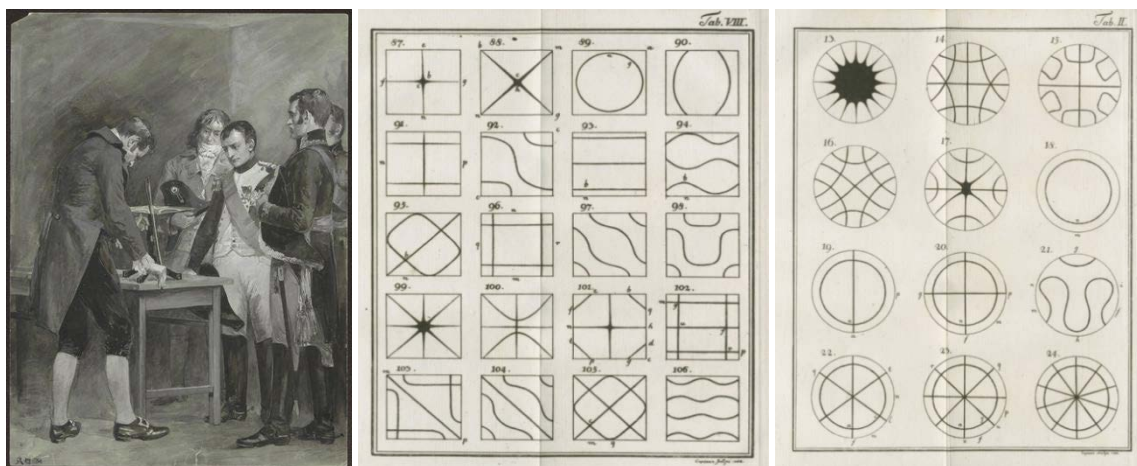
Abstrakt

V příspěvku představujeme výstup bakalářské práce – dvě jednoduchá zařízení k demonstraci Chladniho obrazců a získané obrazce spolu s odpovídajícími charakteristickými frekvencemi. Jako frekvenční generátor využíváme mobilní telefon nebo tablet.

Úvod a motivace

Chladniho obrazce jsou zajímavým fyzikálním jevem nejenom pro lidské oko, ale také pro ucho, představují jeden z příkladů „vnímání fyziky více smysly“. Jsou zmiňovány v řadě učebnic a patří k repertoáru vděčných školních výukových experimentů z oblasti akustiky.

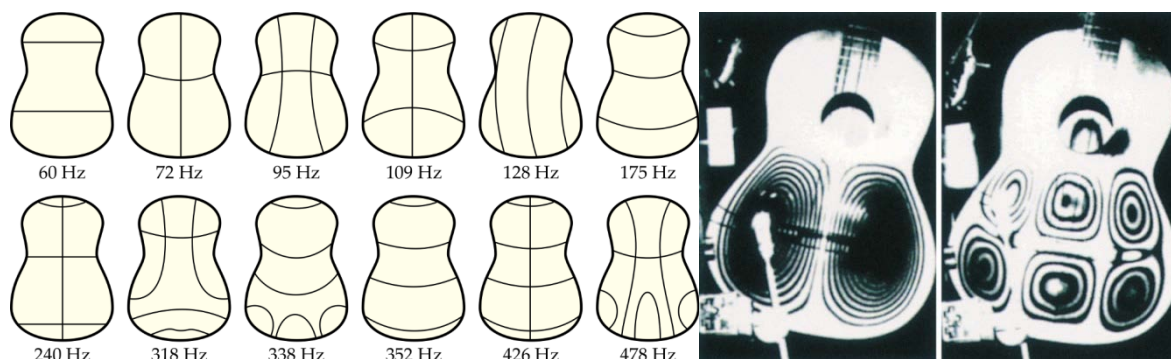
Jako jeden z prvních historicky zaznamenaných pokusů tohoto typu se uvádějí experimenty Roberta Hooka z 8. 7. 1680, při nichž smyčcem rozezníval skleněnou desku posypanou moukou (některé zdroje zmiňují i Galileiho pokusy s kovovými deskami z roku 1638) [1 a odkazy tam uvedené]. Nejvíce je však proslavil německý fyzik a hudebník nazývaný také „otcem akustiky“ Ernst Florens Friedrich Chladni (30. 11. 1756 Wittenberg – 3. 4. 1827 Vratislav), jehož pradědeček Georg Chladni (1637–1692) pocházel ze slovenské Kremnice, ale v době rekatolizace odešel do Německa. Ernst Chladni se zabýval především měření rychlosti podélných zvukových vln v pružných tělesech a vyslovil teorii o kosmickém původu meteoritů (v roce 1794, potvrzena byla Jeanem-Baptistem Biotem 1803). Chladni zaznamenal obrazce v publikaci [2] a předváděl je při návštěvě Paříže i Napoleonovi (obr. 1).



Obr. 1. Vlevo Chladni demonstruje své obrazce před Napoleonem roku 1809 v Tuilerijském paláci [3], uprostřed a vpravo ukázky z Chladniho práce Entdeckungen über die Theorie des Klanges [2].

Princip vzniku Chladniho obrazců je dnes využíván při výrobě hudebních nástrojů nebo při stavbě hudebních prostor. Zákonitosti kmitání desek se využívají nejenom k výběru vhodného materiálu na výrobu hudebního nástroje, ale také k jeho tvarování. Houslové

desky jsou složitějšího tvaru („vykrojené“ a prohnuté) a mají mnoho vibrujících módů. Chladniho obrazce se zpravidla vytváří na desce ve tvaru houslí, která je ale rovná (na „průřezu“ tělem houslí). Také se studují případy, kdy okraje desky jsou upnuté nebo volné. Nejlépe studované módy s nejnižší frekvencí jsou užitečné pro tvarování desek a celkovou konstrukci nástroje.



Obr. 2. Vlevo Chladniho módy na desce tvaru kytary [1], vpravo interferenční hologramy mapující kmitny na ozvučné desce kytary [4].

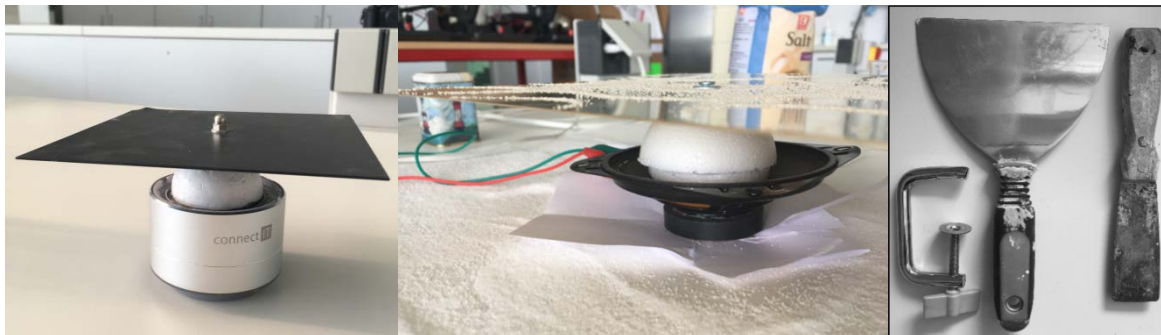
U kytar desky také vibrují mnoha způsoby. Při nízkých frekvencích se módy podobají módům na obdélníkové desce. Jejich tvar a frekvence závisí na okrajových podmínkách a na výztuhách umístěných uvnitř kytary (obr. 2). Chladniho obrazce se rovněž využívají u dalších hudebních nástrojů jako např. u bicích nástrojů, kde jsou používány bubny s membránou s upnutým okrajem, nebo u těla klavírů a varhan.

Současné technologie umožňují k mapování kmitů desek využít tzv. holografickou interferometrii. Metoda je založena na interferenci dvou vlnění laserového světla, která původně neexistovala ve stejném čase (je tzv. dvoukroková). Nejprve kamera zaznamená hologram původního stavu tělesa, následně je těleso rozvibrováno (změní se jeho stav) a dojde ke změně fáze. Prvotní hologram je přenesen na deformovaný objekt, čímž se překryjí oba obrazy, a tam, kde došlo ke změně, se vytvoří interferenční obraz (interferogram). Interferenční proužky na interferogramu znázorňují kmitny pohybujícího se povrchu (obr. 2).

Sestava a použité pomůcky

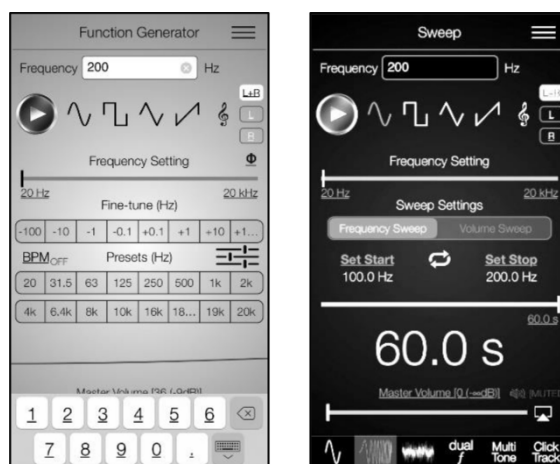
Jedním z cílů experimentu bylo nahradit tradiční rozeznívání desky smyčcem generováním tónů pomocí „chytrého“ mobilního telefonu nebo tabletu a reproduktoru. Při přenosu kmitů z reproduktoru na desku byl využit postup popsáný v [5]. K sestavení aparatur jsme v jednom případě využili bezdrátový reproduktor značky connectIT® model CI-1227 (Bluetooth) s odstraněným kovovým krytem, ve druhém klasický reproduktor s papírovou membránou YD103-01F (8 Ω , 2 W, k propojení s telefonem nebo tabletem je v tomto případě nutný konektor jack 3,5 mm). Zvuk lze zesílit v případě potřeby zesilovačem v reproduktoru. Ke generování tónů byl použit iPhone s nainstalovanou aplikací *Audio Function Generator* (v případě systémů založených na Androidu nebo při použití notebooku by bylo nutné zvolit ekvivalentní aplikaci jako např. *Frequency Sound Generator* nebo *Audacity*). Desky (čtvercová a kruhová) z černé lakované oceli o tloušťce 1,3 mm a hraně 140 mm z demonstrační soupravy Frederiksen Scientific, která byla zakoupena pro laboratoř školních pokusů na PŘF UP (int.frederiksen.eu/shop/product/chladni-plates--square--metal), i mosazná deska

o tloušťce 0,5 mm a hraně 200 mm byly přes šroub nebo vrut s podložkou zapíchnuty do části polystyrenové koule o průměru asi 30 mm přilepené ke kmitající části reproduktoru tavnou pistolí. Tavnou pistolí nebo lepicí gumou bylo zajištěno vsunutí desky s vrutem (nebo šroubem) a podložkou do polystyrenové polokoule. Z dalších pomůcek byly potřeba propojovací vodiče, nůž na rozřezání polystyrenové koule a krupice, písek nebo sůl, jimiž jemně posypeme horní stranu desky (obr. 3).



Obr. 3. Různá použitá uspořádání experimentu: Bluetooth reproduktor s tlustší čtvercovou deskou ze soupravy Frederiksen Scientific (vlevo), tenčí mosazná deska s reproduktorem připojeným přes audio jack a vodiče (uprostřed) a dvě domácí špachtle/stěrky s držákem na upevnění rozeznívané smyčcem (vpravo).

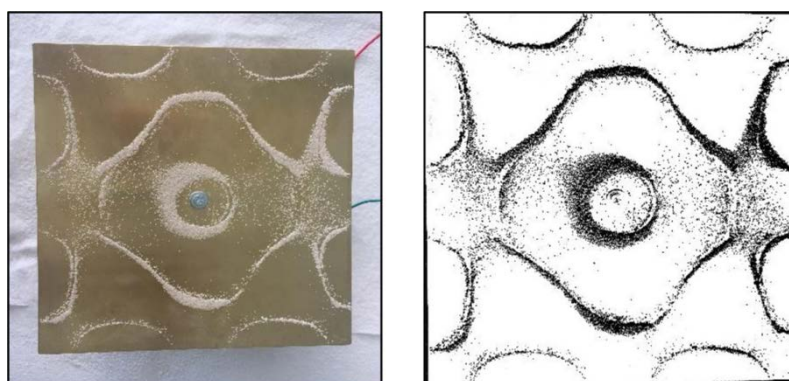
Před samotným měřením frekvencí jsme vždy nejprve vyvážili desku pomocí vodováhy, aby byla vodorovná. V případě nerovností jsme papírem podložili reproduktor, ke kterému se následně připojil telefon. Na desku jsme nasypali pšeničnou krupici nebo kuchyňskou sůl. Pomocí nainstalované telefonní aplikace *Audio Function Generator* a její funkce „Frequency sweep“ jsme nejdříve proměřovali spektrum v intervalech frekvencí od 0–100 Hz, 100–200 Hz vzestupně až do hodnoty 1 000 Hz. Každý úsek se měřil po dobu 60 sekund (obr. 4). Při tomto měření jsme prováděli záznamy hodnot frekvencí, kdy se na povrchu desky rozpohybovala krupice nebo sůl a následně se vrátili k poznamenaným hodnotám a proměřovali užší intervaly frekvencí. Potom jsme provedli pozorování, při které frekvenci se obrazce tvoří nejlépe. Tímto způsobem jsme určili všechny výsledné naměřené hodnoty u obou aparatur.



Obr. 4. Aplikace *Audio Function Generator* s funkcí generování tónů o definované frekvenci (vlevo) a „Frequency sweep“ (vpravo).

Měření jsme nejprve prováděli s pšeničnou krupicí. Při praktickém měření a pozorování jsme ovšem zjistili, že její jemnější struktura zanechává prachové částice, které v některých případech rušili vzor obrazců. Při použití kuchyňské soli na černé desce byly obrazce patrnější.

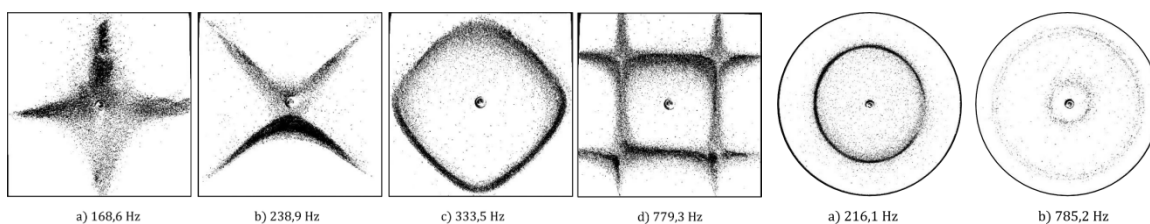
Vzniklé obrazce na deskách jsme dokumentovali pomocí telefonu. Získané snímky pak pomocí programu *Zoner Photo Studio X* upravili v počítači tak, aby uzlové čáry byly co nejzřetelnější. Toho jsme docílili snížením jasu, a naopak zvýšením kontrastu. Následným převedením fotografie na negativ a zobrazením pouze v odstínech šedé barvy. Pomocí opětovné úpravy jasu a kontrastu (popř. bílého a černého bodu), bylo dosaženo zvýšené viditelnosti obrazců. Oříznutím fotografie byly odstraněny nežádoucí plochy a zůstala tak zobrazena pouze deska s obrazcem. Příklad originální a upravené fotografie je uveden na obr. 5.



Obr. 5. Ukázka úpravy fotografií ke zvýraznění obrazců v programu Zoner Photo Studio X: originální fotografie (vlevo) a upravená fotografie obrazce (vpravo).

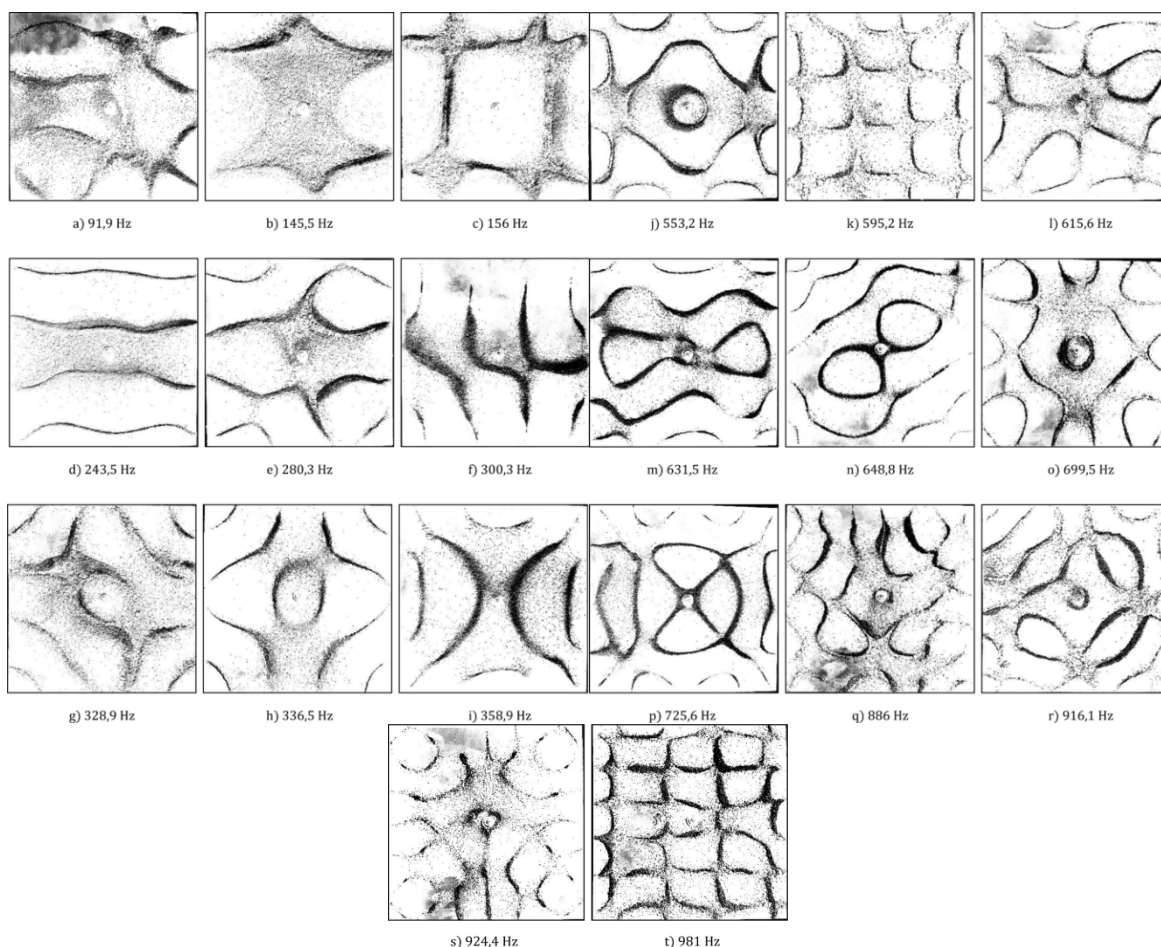
Získané obrazce

Při měření s bezdrátovým reproduktorem a černou čtvercovou deskou, jsme naměřili pouze čtyři frekvence, při nichž obrazce vznikaly, v případě kruhové desky z demonstrační sady dokonce pouze dvě (obr. 6).



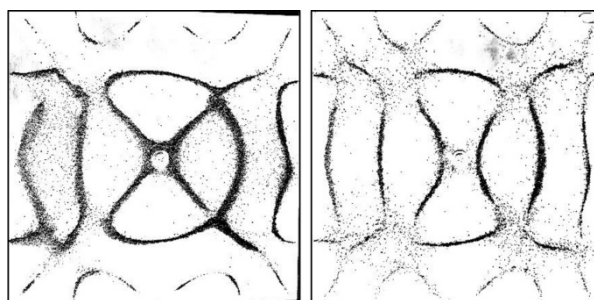
Obr. 6. Obrazce získané na čtvercové a kruhové desce ze soupravy Frederiksen Scientific.

Měření s mosaznou deskou bylo podstatně úspěšnější jak množstvím, tak složitostí získaných obrazců (obr. 7). Při této konstrukci byl polystyren umístěn na membráně reproduktoru blíže k jeho středu, docházelo zřejmě i k lepšímu přenosu vibrací na desku. Celkem jsme naměřili 20 hodnot vlastních frekvencí. Hodnoty naměřených frekvencí, při nichž vznikaly zřetelné obrazce, nepřesáhly hodnotu 1 000 Hz. Při hodnotách vyšších než 1 000 Hz se už neprojevovaly výrazné změny na povrchu desky.



Obr. 7. Obrazce získané na mosazné čtvercové desce s příslušnými frekvencemi.

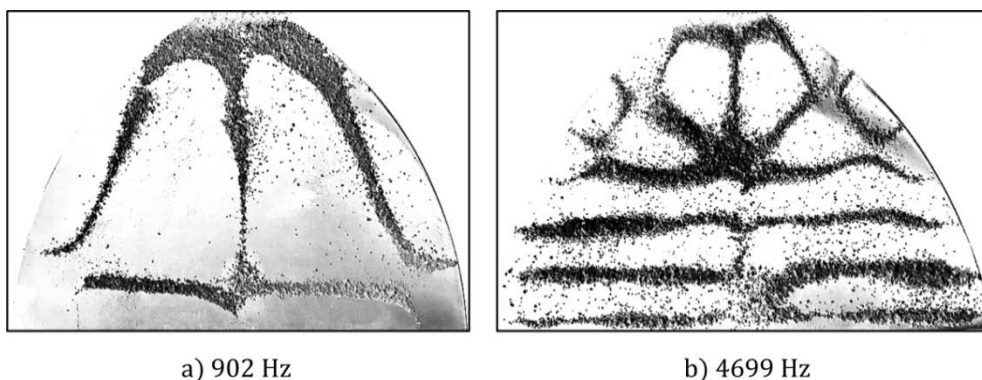
U jednoho z výsledných obrazců (frekvence 725,6 Hz) jsme vyzkoušeli k jednomu rohu desky připnout kancelářskou sponku a sledovat, do jaké míry se obrazec změní díky této asymetrii (obr. 8).



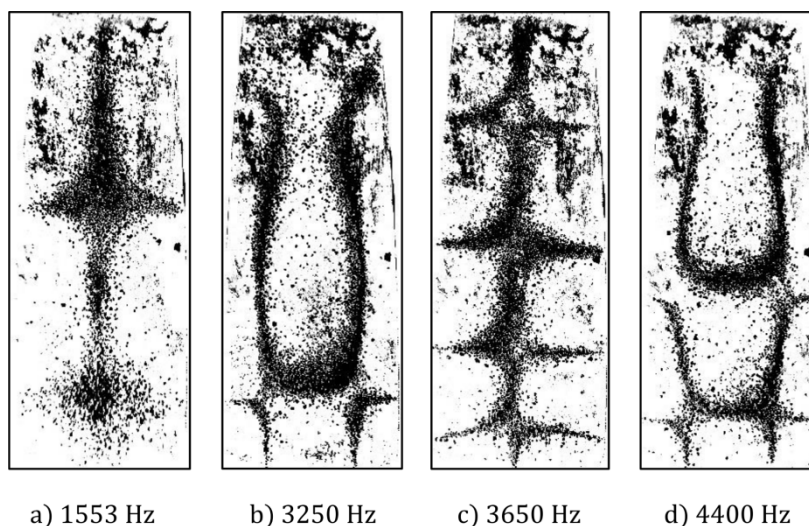
Obr. 8. Původní obrazec (vlevo) a obrazec získaný přidáním kancelářské sponky do pravého horního rohu (vpravo).

Poslední měření jsme provedli pomocí pomůcek zobrazených na obr. 3 vpravo, houslového smyčce a pšeničné krupice. Jednalo se o kovové špachtle běžně využívané v domácnosti například k sádrování. Pomocí šroubovacího držáku jsme špachtle uchytili na jedné straně k psacímu stolu. Z fyzikálního hlediska jde v tomto případě o experimenty s deskami uchycenými na jedné straně, a ne podepřenými v jejich středu jako v předchozím případě. Pro určení vlastní frekvence jsme nejprve „zahráli“ smyčcem na

špachtli. Frekvence tónů byla nižší u volného okraje, přibližováním smyčky k upevněnému okraji jsme mohli slyšet vyšší frekvence. Při opakování tahů na stejném místě jsme zřetelně slyšeli danou frekvenci, při níž vznikl obrazec. Vlastním sluchem jsme odhadli vlastní sluchem frekvenci tak, že pomocí aplikace v telefonu jsme volili hodnoty blízké vlastní frekvenci. V tomto okamžiku byly slyšet záněje. Dále jsme se tedy přibližovali k vlastní frekvenci, dokud záněje slyšet nebyly. Na větší špachtli se nám podařilo zachytit dva obrazce (obr. 9) na menší 4 (obr. 10), špachtle jsou uchyceny vždy v horní části obrázku. Podobně jako při přidání kancelářské sponky vidíme, že znečištění menší špachtle v horní polovině způsobilo, že jsou obrazce v této části v horší kvalitě („rozostřené“). Na obrázcích špachtlí můžeme vidět, že na volných okrajích převažují kmitny a v místě upevnění uzly. Lze také pozorovat, že na rozdíl od desek upevněných uprostřed je rozložení obrazců zřetelně v jednom směru asymetrické.



Obr. 9. Obrazce na větší špachtli.



Obr. 10. Obrazce na menší špachtli (díky zbytkům materiálu jsou obrazce v horní části zřetelně nesymetrické).

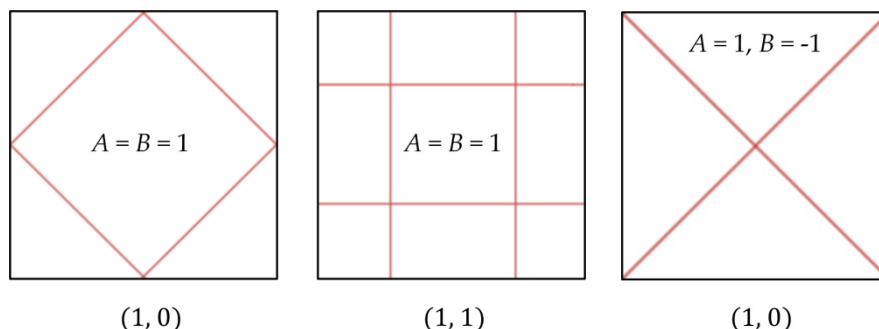
Zjednodušený teoretický model

Teoretický popis stojatých vln na deskách či membránách zahrnující řešení vlnové rovnice s disperzí, volbu počátečních i okrajových podmínek popř. vhodné aproximativní metody (jako Ritzova, Rayleighova) přesahuje rámec středoškolské fyziky i základního vysokoškolského kurzu fyziky, základní informace lze získat např. v [6], [7] nebo [8].

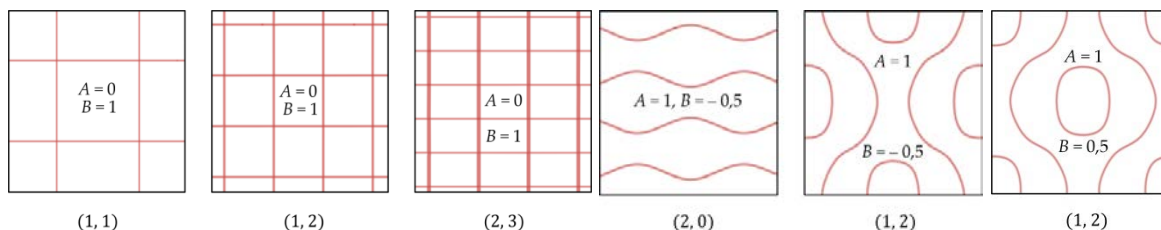
Naproti tomu rovnici uzlových čar čtvercové desky s volnými okraji upevněné uprostřed lze vyjádřit poměrně jednoduchým vztahem (viz např. [9])

$$A \cos\left(\frac{m\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{n\pi x}{b}\right) + B \cos\left(\frac{n\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{m\pi x}{b}\right) = 0, \quad (1)$$

kde m a n jsou tzv. módová čísla. Řešení rovnice (1) můžeme vykreslit pomocí vhodného software nebo modelu www.desmos.com/calculator/flki7fzjwp využívajícího online kalkulačtor Desmos podobný multiplatformnímu dynamickému prostředí GeoGebra. Volitelnými parametry jsou jednak amplitudy A a B a jednak módová čísla m a n . U jednodušších obrazců lze určit módová čísla odpovídající experimentálně získaným obrazcům (obr. 4 a 5) i některým originálním Chladniho obrazcům (obr. 1).



Obr. 11. Módová čísla (v závorce) a amplitudy odpovídající obrazcům na silnější ocelové čtvercové desce ze soupravy Frederiksen Scientific.



Obr. 12. Módová čísla (v závorce) a amplitudy odpovídající obrazcům na tenčí mosazné čtvercové desce.

Závěr

Pro experimentální měření jsme sestrojili dvě aparatury se dvěma čtvercovými deskami různých rozměrů. Na menší černé čtvercové desce jsme naměřili pouze čtyři vlastní frekvence, při nichž vznikaly výraznější obrazce. Při měření s černou deskou jsme nejprve pro zobrazování používali pšeničnou krupici, která vytvářela nežádoucí prachové částice narušující vzhled obrazců. Na základě získaných poznatků a podle návodu v [5] jsme zkonstruovali druhou aparaturu s rozměrově větší a tenčí mosaznou deskou. Pro znázornění uzlových čar jsme použili kuchyňskou sůl, vytvořené Chladniho obrazce byly patrnější. Na mosazné desce se podařilo nalézt podstatně více vlastních frekvencí a jim odpovídajících Chladniho obrazců. Pomocí této rovnice a on-line kalkulačtoru Desmos bylo možné určit módová čísla m a n některých experimentálně získaných obrazců a ukázat, že průběh uzlových čar lze v některých případech popsat pomocí poměrně jednoduché goniometrické rovnice (1), kterou je ale nutné řešit numericky.

Nakonec jsme vyzkoušeli měření v domácím prostředí pomocí škrabky/stěrky a houslového smyčce. Takové experimenty s běžnými pomůckami podtrhují souvislost fyzikální látky a pojmů s jevy a předměty každodenního života; i pomocí nich žáci mohou získat představu, jak „vypadá“ kmitání na desce. Podrobnější popis lze nalézt přímo v bakalářské práci [10].

Literatura

- [1] Wikipedia contributors. *Ernst Chladni. Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [cit. 28. 7. 2020]. Dostupné online: https://en.wikipedia.org/wiki/Ernst_Chladni.
- [2] Chladni, E. F. F.: *Entdeckungen über die Theorie des Klanges (Objevy v teorii zvuku)*. Weidmanns Erben und Reich, Leipzig 1787. [cit. 4. 9. 2020]. Obrázky dostupné online: publicdomainreview.org/collection/chladni-figures-1787.
- [3] Deutschen Museums, München a Digiporta, Digitales porträtarchiv. [cit. 4. 9. 2020]. Dostupné online: www.digiporta.net/index.php?id=221253510.
- [4] Science and the Stradivarius – Physics World. [cit. 24. 8. 2020]. Dostupné online: physicsworld.com/a/science-and-the-stradivarius/.
- [5] Williams A. *Chladni Plates: Speaker Version*. [cit. 1. 9. 2020]. Dostupné online: www.spsnational.org/programs/outreach/chladni-plates-speaker.
- [6] Bajer, J.: *Mechanika 3*. PŘF UP Olomouc 2006.
- [7] Fletcher, N. H., Rossing, T. D.: *The Physics of Musical Instruments*. New York: Springer, 2010.
- [8] Staňová, K.: *Fyzika Chladniho obrazců*. Bakalářská práce, Bakalářská práce Masarykova univerzita, Brno 2006. [cit. 2. 8. 2020]. Dostupné online: is.muni.cz/th/jilOf/Fyzika_Chladniho_obrazcu.
- [9] Potoček, V.: *Matematické modelování Chladniho obrazců na počítači*. Rozhledy matematicko-fyzikální, 82 (2), p. 16–25. [cit. 20. 8. 2020]. Dostupné online: dml.cz/handle/10338.dmlcz/146193.
- [10] Kutnarová, A.: *Vlastní frekvenční módy Chladniho obrazců*. Bakalářská práce, UP, Olomouc 2020. [cit. 4. 9. 2020]. Dostupné online: muj.optol.cz/richterek/doku.php?id=vyuka.

6. ročník „Vím proč“

Daniela Martincová

ZŠ a MŠ při FN Motol, Praha 5

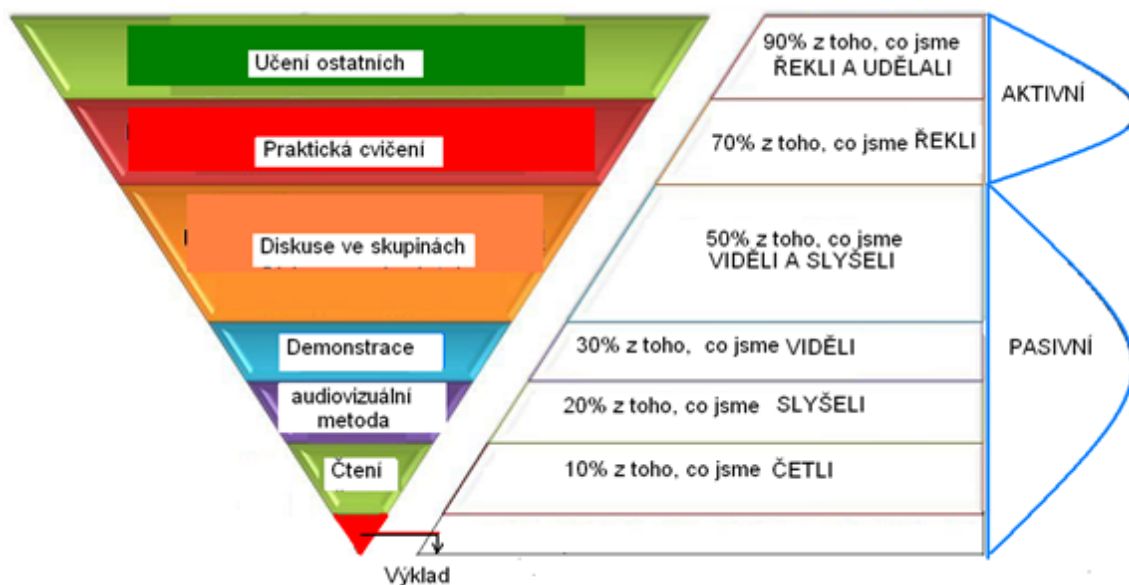
Abstrakt

Cílem příspěvku je seznámit učitele fyziky s opětovným spuštěním projektu „Vím proč“, informovat je o možnosti účastnit se soutěžní části pro žáky ZŠ a SŠ z celé ČR i v jeho 6. ročníku a ukázat dvě zajímavá motivační videa s fyzikálními pokusy žáků ZŠ a SŠ.

6. ročník „Vím proč“

Před dvěma lety na 23. VNUF jsem sdělovala informace o pokračování 6. ročníku soutěžní části vzdělávacího projektu SKUPINY ČEZ, a.s. „Vím proč“, aniž bych věděla, že GDPR tento záměr oddálí a pokračování bude možné až za dva roky.

Vizi vzdělávacího projektu SKUPINY ČEZ, a.s. „Vím proč“ je vytvořit „video-učebnici“ fyziky pro základní a střední školy s fyzikálními pokusy žáků. Vytvořit žákům ZŠ a SŠ online prostor, kde mohou vzájemně prezentovat své fyzikální, technické vědomosti, dovednosti a nadání, učit sami sebe navzájem. Didaktickým základem tohoto vzdělávacího projektu jsou principy efektivity učení zpracované podle [1] (obr. 1).



Obr. 1. Pyramida učení [1].

Projekt „Vím proč“ vytváří prostor ke vzájemnému sdílení fyzikálních videí žáků žákům, učitelům i široké veřejnosti prostřednictvím jejich umístění na vzdělávacím portálu Skupiny ČEZ, a.s. [2], [3] a také na YouTube.

V průběhu pěti ročníků soutěže „Vím proč“ se projektu daří propojit formální a neformální vzdělávání fyziky na ZŠ a SŠ. Každému žákovi, který se účastnil soutěžní anebo i nesoutěžní části, projekt „Vím proč“ umožnil zažít svůj úspěch. Vytváří příležitosti pro objevování

nadání žáků. Stal se prostorem pro sdílení individuální práce s těmito žáky. Byl nápomocen při rozvoji jejich potenciálu, tvůrčí činnosti a dosahování co nejlepších osobnostních výkonů v oblasti fyziky ZŠ a SŠ. Jako příklad může posloužit každé video Anežky Laryšové, která se stala se svými videi fenoménem soutěže „Vím proč“. Například video s názvem „Podtlak ve sklenici“, které je na stránce [4].

Každé video je hodnoceno odbornou porotou užitím principů formativního hodnocení, a tak je možné se z každé chyby poučit a opravit ji. Platforma „Vím proč“ tak učitelům i žákům slouží k prezentaci jejich práce, ale současně k jejímu hodnocení a individualizaci práce se žákem. Video do soutěže lze nahrát a zařadit do jednoho ze 33 fyzikálních témat. Zaslání videa a komentáře k nim lze použít přímo do výuky, v online vzdělávání zvláště. Lze je použít jako výuková a motivační videa, pro práci s chybou, nebo jako ukázkou dalšího vlastního žákovského projektu. Jejich tvorbu lze zařadit do portfolia práce a hodnocení žáků. Soutěže se může účastnit jednotlivec nebo skupina s maximálním počtem třech žáků.

Bilance 1.–5. ročníku soutěže „Vím proč“, je uvedena v tabulce č. 1, která ukazuje přehled celkového počtu účastnících žáků, škol a úspěšných videí [2].

Tabulka 1. Bilance 1.–5. ročníku soutěže „Vím proč“

ZŠ/SŠ	604/ 946
Děvčata/chlapci	557/823
Celkový počet videí	1010

Jednotlivá zveřejněná videa mají uvedeného autora videa, délku videa, pomůcky, popis videa a hodnocení odborné poroty. Uvádím ukázkou hodnocení videa „Podtlak ve sklenici“ od Anežky Laryšové odbornou porotou, které je umístěno na stránce [4].

Vyjádření odborné poroty:

„Ahoj Anežko,

moc děkujeme za správné vysvětlení tvého pokusu.

Je super, že jste si s tatínkem udělali čas a podívali se na náš portál a podle toho jste si vybrali video, které budete natáčet a možná jste se také podívali na nedostatky, které autorům vytýkáme.

Pokud tomu tak bylo, tak jsme rádi, že naše práce má smysl, a pokud ne, tak jsi moc šikovná, protože jsi tento pokus vysvětlila úplně perfektně.

Odborná porota "Vím proč". "

Ve snaze představit soutěž „Vím proč“ v co největším možném jeho záběru ve svém vystoupení pokračuji v linii předcházejících přednášek ze sobotního dopoledního programu VNUF 2020. Těmi jsou přednáška pana Milana Pleška (Omyl mistra Leonarda) a Pavla Konečného (Magnusův jev). Pan Milan Plešek se zabýval stlačitelností a zředitelností vzduchu a jevy, které vznikají při pohybu rotujícího tělesa vzduchem. Pavlu Konečnému, který měl snahu předvést svépomocně zhotovené zařízení za účelem demonstrace Magnusova jevu, se jeho záměr v danou chvíli předvést nepodařilo. A tak se nabízí uvést video žáků SŠ, kterým se Magnusův jev demonstrovat a vysvětlit podařilo natolik dobře,

že o něm se svým učitelem fyziky natočili vítězné video 4. ročníku „Vím proč“. Vítězné video 4. ročníku „Vím proč“ v kategorii SŠ je umístěno na stránce [5].

Autoři vítězného videa z Gymnázia Jiřího z Poděbrad, Poděbrady Bohumil Homola, Karel Palata a Daniel Vyhlídal se vyjádřili, že nápad přihlásit se do soutěže „Vím proč“ přišel od jejich pana učitele fyziky. *„Nikdy předtím jsme se žádných soutěží neúčastnili, tohle byla naše první,“* říká Bohumil Homola, jeden z autorů vítězného videa v kategorii SŠ. *„Magnusův efekt jsme si vybrali, protože se s ním mnoho lidí setkává ve sportu, ale jen málokdo si ho dokáže vysvětlit. I nám trvalo týden, než jsme přišli na to, jak ho co nejlépe popsat. Zpracovat video už pak bylo záležitostí několika dní,“* říká Vyhlídal. *„Fyzika nás baví hlavně díky našemu skvělému učiteli,“* dodává Palata, *„předmět podává zábavnou formou a zapojuje do výuky poučné a někdy i vtipné pokusy.“*

Další vyjádření vítězky 4. ročníku „Vím proč“ v kategorii ZŠ Kateřiny Bartákové uvádím pro doplnění jakými různými způsoby se žáci o soutěži „Vím proč“ dozvídají. *„Na housle hraji už šestým rokem a video jsem připravovala se svým dědou, který rozumí hudbě, fyzice, technice, vlastně snad úplně všemu,“* směje se Katka. O soutěži jí řekla maminka, která se to zase dozvěděla od sousedky. Že se přihlásila do „Vím proč“, ve škole Katka nikomu nic neřekla, svěřila se, až když vyhrála hlavní cenu. *„Fyzika mě hodně baví, je taková ze života,“* dodává. Od fyzikářky prý dostala za svůj úspěch pochvalu, jedničky až do konce roku ale prý zadarmo nezíská.

Toto vítězné video je umístěno na stránce [6]. Kateřina Bartáková ze ZŠ Šlapanice zaujala odbornou porotu svým videem „Harmonické tóny strun“, které je o šíření zvuku a tajemné houslové struně G.

Skupina ČEZ, a.s. ve svém vzdělávacím projektu „Vím proč“ výherce soutěže v jednotlivých kategoriích ZŠ i SŠ odměňuje věcnými dary, tablety pro vítěze a pro školu vítězů 200 000 Kč. Finanční odměnu soutěži „Vím proč“ poskytuje Nadace ČEZ. Kromě odborné poroty o nejlepším pořadí hlasuje i veřejnost. I tito výherci z hlasování v kategorii pro veřejnost jsou odměněni věcnými cenami a vzdělávacími aktivitami.

Cílem mého vystoupení je v krátkosti informovat o 6. ročníku soutěže „Vím proč“, který začíná 15. září 2020 a končí 15. prosince 2020. Naproti předchozím pěti ročníkům soutěže „Vím proč“ v 6. ročníku došlo ke změně doby trvání soutěže ze šesti měsíců na tři měsíce. Další změnou je skutečnost, že i současný 25. VNUF 2020 se už nese ve stínu opatření COVID – 19, a tak je potřebné se na tyto změny připravit. Také na to, že je nutné v ČR pokračovat v digitalizaci vzdělávání, přípravě žáků a učitelů na online výuku a že učitelé i při online výuce budou nezbytně nutní. Jako příklad pro porovnání v této souvislosti uvádím odhad pro chybějící počet zdravotních sester na celém světě pro rok 2030, který je přibližně 9 000 000, avšak deficit učitelů se pro rok 2030 odhaduje až na 68 800 000.

Projekt „Vím proč“ i svým 6. ročníkem nabízí podporu zkvalitnění výuky fyziky. Nabízí možnost projektové, zážitkové a objevitelské výuky, pomáhá zvyšovat IT kompetence žáků i učitelů, usnadňuje online vzdělávání a současně podporuje individualizaci práce se žáky částkou 200 000 Kč pro školu výherců v kategorii ZŠ i SŠ.

Literatura

- [1] Kalhous Z.; Obst O.: Školní didaktika. Portál, 1.vyd. Praha 2002. ISBN 80-7178-253-X, s. 308–447.

- [2] Vím proč. [cit. 29. 8. 2020]. Dostupné online: www.vimproc.cz
- [3] Vím proč. [cit. 29. 8. 2020]. Dostupné online: [www.svetenergie.cz /cz/vim-proc](http://www.svetenergie.cz/cz/vim-proc)
- [4] Vím proč. [cit. 29. 8. 2020]. Dostupné online:
<https://www.svetenergie.cz/cz/vim-proc/video/1780>
- [5] Vím proč. [cit. 29. 8. 2020]. Dostupné online:
<https://www.svetenergie.cz/cz/vim-proc/video/1971>.
- [6] Vím proč. [cit. 29. 8. 2020]. Dostupné online:
<https://www.svetenergie.cz/cz/vim-proc/video/1889>

Experimenty s „peckami“

Otakar Matouš, Peter Žilavý

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

Běžnou výbavou mnoha studentů bývají sluchátka – „pecky“, z nichž část končí po zabavení při vyučování ve sbírkách učitelských šuplíků. Tato (či jiná porouchaná) sluchátka lze využít při fyzikálních experimentech nebo laboratorních pracích studentů. Můžeme si z nich postavit jednoduchý telefon nebo je třeba „pitvat“ za účelem pochopení funkce elektroakustického měniče. Příspěvek popisuje několik experimentů s těmito sluchátky.

Zkoumání sluchátek

Sluchátka představují spotřební zboží denního užitku. Každý den je používá obrovské množství lidí. Otázkou však zůstává, kolik z nich má reálnou představu o tom, jak se vlastně přes ně zvuk dostane například z mobilu do jejich uší. Proto jsme se rozhodli experimentálně prozkoumat a vysvětlit, jak vlastně sluchátka fungují. Následující postup pak mohou samostatně zopakovat studenti doma či ve škole.

První možností zkoumání, která se nabízí, je nahlédnutí dovnitř sluchátka, druhou je změření jeho elektrických vlastností. V tomto příspěvku se soustředíme zejména na „pitvání“ sluchátka. Podíváme se, z jakých komponent se sluchátko skládá a k čemu jednotlivé části slouží.

K „pitvě“ jsme vybrali miniaturní sluchátka určená k vložení do ucha (pecky, špunty). Zvolili jsme starší sluchátka značky Apple a obyčejná sluchátka neznámé značky, která budeme pro zjednodušení nazývat „plastová“. Sluchátka od obou výrobců obsahovala jeden elektroakustický měnič. Vzhledem k rozdílu cen jsme předpokládali, že dražší sluchátka značky Apple budou mít propracovanější konstrukci (kvalitnější materiály, preciznější provedení apod.) než obyčejná levná sluchátka.



Obr. 1. Sluchátka Apple a „plastová“ sluchátka použita pro „pitvání“.

Prvním krokem bylo otevřít samotné sluchátko tak, aby se celé nepoškodilo. K tomu jsme využili kleště kombinačky, kterými jsme sluchátko lehce ze strany stlačili a tím ho otevřeli (viz obr. 2). V případě levnějších sluchátek se nepovedlo sluchátko otevřít bez poškození krytu.

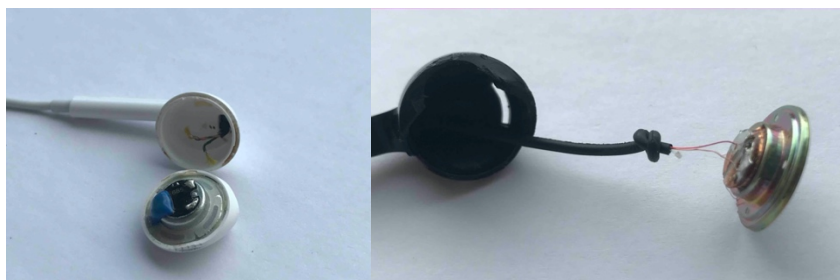


Obr. 2. Otvírání sluchátka.



Obr. 3. Pohled na elektroakustický měnič (EAM).

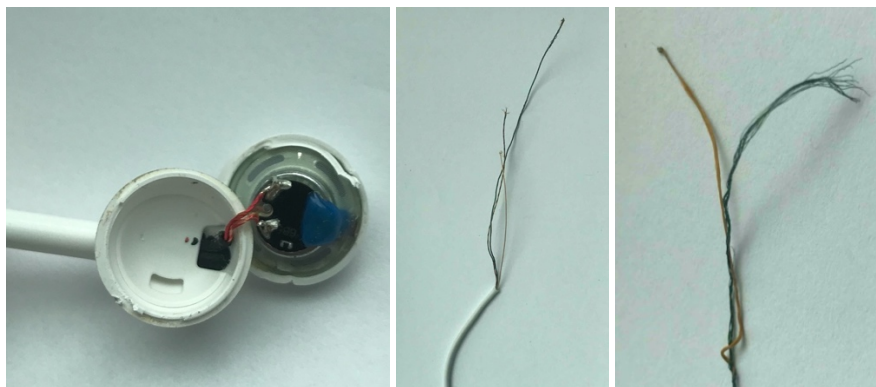
V dalším kroku bylo třeba odpájet (případně utrhnout) přívodní vodiče (drátky) k samotnému reproduktoru, který je srdcem sluchátka.



Obr. 4. Přívodní vodiče k EAM.

Na obrázcích si můžeme všimnout, kolik vodičů vede k reproduktoru. Častou, ale mylnou představou studentů bývá, že do sluchátka vede pouze jeden vodič. Tento předpoklad je nejspíše způsoben tím, že jsou přívodní vodiče schovány v plastové izolaci, která má zabránit jejich poškození. To pak působí, jako by ke každému sluchátku vedl pouze jeden „drát“. Z fotografií je však patrné, že k reproduktoru vedou dva tenké vodiče.

Kabel ke každému sluchátku tedy obsahuje dva vodiče. Dle kvality sluchátek je rozdíl v jeho provedení. U plastových sluchátek je kablík tvořen jednou vrstvou vnější izolace a dvěma lakovanými měděnými vodiči (jedna žíla). U sluchátek Apple pak najdeme pod odolnou vnější izolací dva vodiče, a ještě navíc i samostatné textilní vlákno pro zvětšení odolnosti kabelu proti přetržení. Samotné vodiče jsou přitom tvořeny mnoha tenkými lakovanými drátky zapletenými do přidáního textilního vlákna.



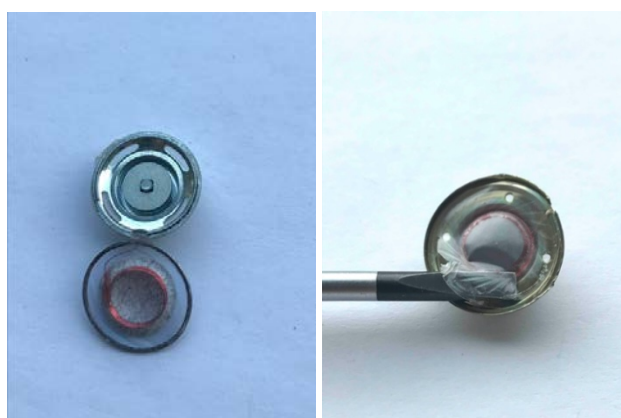
Obr. 5. Přívodní vodiče ke sluchátku.

Následně jsme vyjmuli samotný elektroakustický měnič (reproduktor) z plastového krytí. V případě levnějších sluchátek byl plastový kryt poškozen (obr. 4).



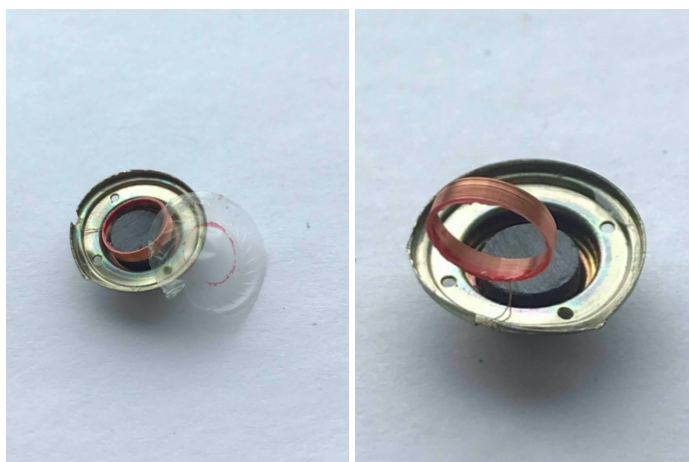
Obr. 6. Plastové krytí sluchátek Apple.

Nyní prozkoumáme hlavní část sluchátek – elektroakustický měnič. V případě sluchátek Apple bylo možné membránu s kmitací cívkou oddělit snadno, aniž by došlo k jejímu poškození. U plastových sluchátek bylo oddělení membrány od koše reproduktoru složitější. Nakonec jsme museli využít šroubovák, kterým jsme však jemnou membránu poškodili.



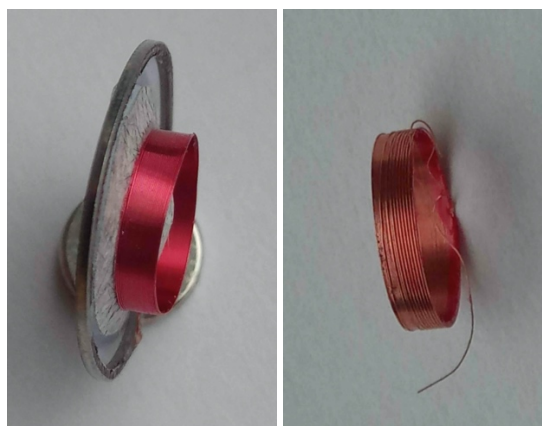
Obr. 7. Oddělení membrány od koše reproduktoru.

Na následujících detailních záběrech (obr. 8) plastových sluchátek můžeme vidět plastovou (vyzkoušeno pomocí nahřátého hrotu páječky) membránu oddělenou od kmitací cívky a její umístění spolu s přívodními vodiči.



Obr. 8. Membrána a kmitací cívka elektroakustického měniče.

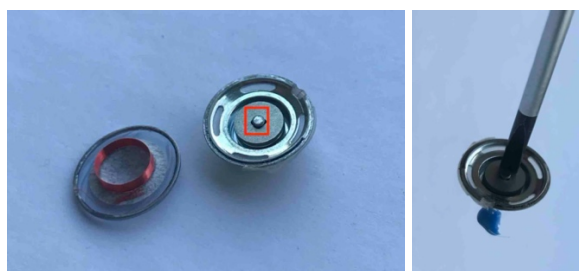
Prozkoumejme nyní samotnou kmitací cívku u obou elektroakustických měničů. Využili jsme fotoaparát mobilního telefonu, který umožňuje pořídit zvětšenou fotografii. Studenti mohou využít svých oblíbených mobilních zařízení pro získání makro fotografie a určení přibližného počtu závitů kmitací cívky.



Obr. 9. Detail kmitací cívky.

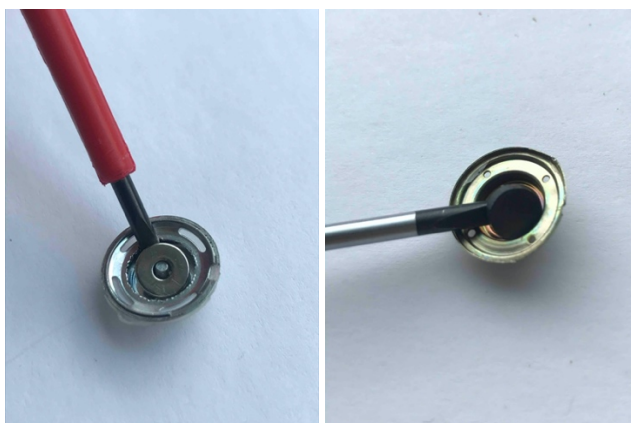
Kmitací cívka sluchátek Apple má přibližně 27 závitů. Samotné vinutí je vyrobeno z ještě tenčího drátu než přívodní vodiče, které vedou k plošnému spoji na zadní části reproduktoru. V případě kmitací cívky plastových sluchátek si můžeme všimnout rozdílu v počtu závitů a v konstrukci. Levnější plastová sluchátka mají cca 10 závitů. Závity jsou navinuté ze stejného vodiče jako přívod k plošnému spoji reproduktoru od kmitací cívky (viz obr. 8).

Další nedílnou součástí reproduktoru sluchátek je permanentní magnet. Sluchátka značky Apple mají magnet umístěný na mechanickém „čepu“, který slouží k lepšímu upevnění magnetu a pólového nástavce. Plastová sluchátka tento prvek neobsahují. Funkci magnetu lze ověřit dotykem železného šroubováku (viz obr. 10).



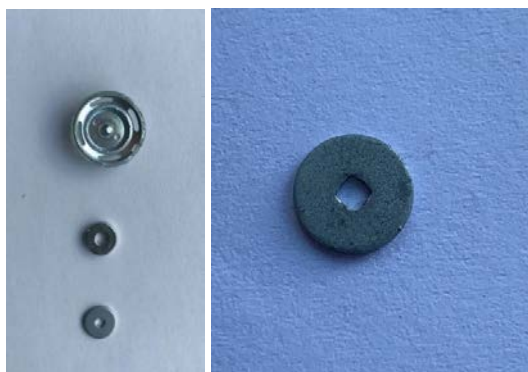
Obr. 10. Permanentní magnet EAM.

Dalším krokem bylo vyjmutí permanentního magnetu z koše reproduktoru. K tomu jsme opět využili obyčejný šroubovák (případně dva šroubováky), kterým jsme se mohli jednoduše dostat pod magnet a tím ho nadzvednout (obr. 11).



Obr. 11. Vyjmutí permanentního magnetu z koše reproduktoru.

Sluchátka Apple navíc obsahují pólový nástavec, který je umístěn na permanentním magnetu. Pólový nástavec je vyroben z magneticky vodivého materiálu a slouží k vhodnějšímu vytvarování magnetického pole.



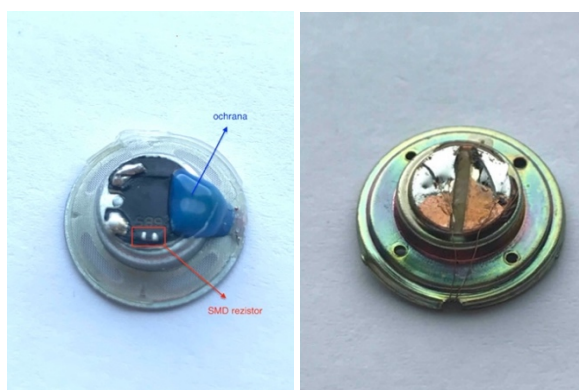
Obr. 12. Pólový nástavec sluchátek Apple.

Ve sluchátkách Apple můžeme najít silný (pravděpodobně neodymový) magnet s dírou uprostřed (pro umístění na mechanický čep koše). Plastová sluchátka mají slabší feritový magnet, který je přilepen ke koši reproduktoru.



Obr. 13. Porovnání permanentních magnetů.

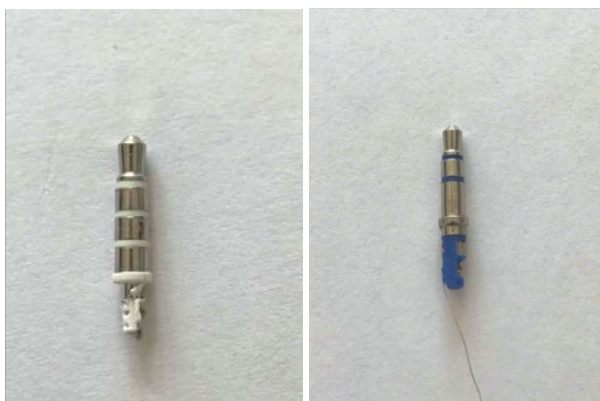
Při pohledu z druhé strany elektroakustického měniče můžeme vidět destičku plošného spoje, ke které jsou připájeny jak vodiče kmitací cívky, tak přívodní vodiče. U sluchátek Apple jsme navíc našli sériově zapojený SMD rezistor s kmitací cívkou o odporu $10\ \Omega$. Přívodní vodiče kmitací cívky jsou zajištěny modrou plastovou ochranou.



Obr. 14. Pohled na zadní stranu elektroakustických měničů.

Další důležitou součástí sluchátek je prvek zajišťující připojení sluchátek ke zdroji signálu. Naše zvolená sluchátka se připojují k zařízení pomocí konektoru – JACK (pro jednoduchost neuvažujeme sluchátka s přidanou elektronikou – USB, Bluetooth).

Vybraná sluchátka mají velikost konektoru Jack 3,5 mm, přičemž sluchátka značky Apple obsahují navíc i mikrofon. S přítomností mikrofону souvisí i počet kontaktů konektoru. V případě sluchátek bez mikrofónu má konektor tři kontakty. Pokud je součástí sluchátek i mikrofon, případně ovládání hlasitosti, jsou kontakty čtyři.



Obr. 15. Čtyřpólový a trojpólový konektor JACK.

Poznámka: Zkoumání zapojení Jacku „pitváním“ je složité díky tomu, že konektor je zalit plastovou hmotou, která při rozebírání poničí přírodní vodiče. Proto je snazší zkoumat sluchátka pomocí ohmmetru či připojení monočlásku dvěma drátky.

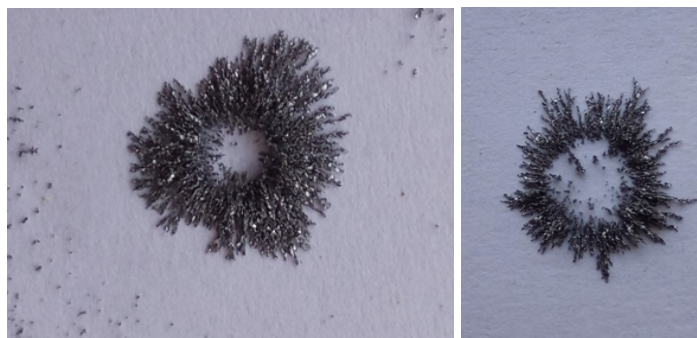
Princip činnosti sluchátek

Díky předchozímu „pitvání“ sluchátka víme, jaké součásti sluchátka obsahují a jak vypadají. Nyní se zaměříme na to, jaký je princip činnosti sluchátek. První věc, kterou se pokusíme objasnit, je tvar magnetického pole ve sluchátku. Běžným způsobem, který ve škole využíváme k zobrazení magnetického pole magnetu, je sypání železných pilin. My tento přístup využijeme s tím rozdílem, že železné piliny nasypeme přímo na koš reproduktoru s permanentním magnetem s i bez pólového nástavce.



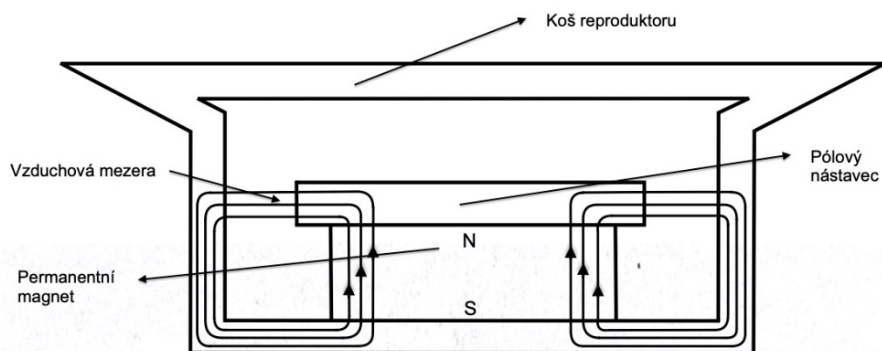
Obr. 16. Zkoumání magnetického pole uvnitř reproduktoru pomocí železných pilin.

Z obrázků je vidět důležitý rozdíl. Na levém obrázku jsou železné piliny nalepeny hlavně na samotném permanentním magnetu, zatímco na obrázku vpravo se piliny spíše nachází ve vzduchové mezeře mezi košem reproduktoru a magnetem. Část sluchátka, která tento rozdíl způsobuje, je pólový nástavec. Z obrázků se dá rozpoznat, k čemu slouží. Permanentní magnet slouží jako zdroj magnetického pole, pólový nástavec zajišťuje, aby byl magnetický tok směřován právě do vzduchové mezery. Vzduchová mezera by měla být dostatečně úzká, aby magnetický tok byl co nejméně zeslaben a mohl dobře prostupovat do koše reproduktoru. Naši úvahu si můžeme také ověřit, vezmeme-li jednu magnet a po druhé magnet s pólovým nástavcem a přes obyčejný papír nasypeme železné piliny k oběma.



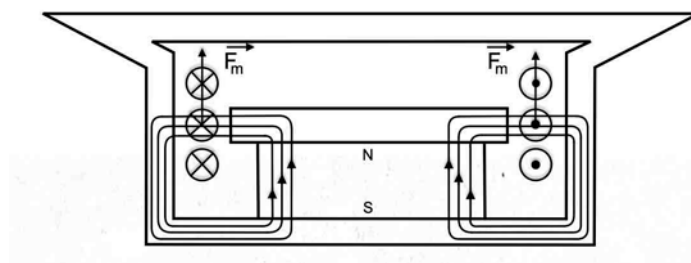
Obr. 17. Zkoumání vlivu pólového nástavce na tvar magnetického pole.

Na základě předchozího zkoumání můžeme s trochou představivosti nakreslit řez sluchátkem a odhadnout přibližný tvar magnetických indukčních čar (magnetického pole). Je dobré mít na paměti, že magnetický indukční tok (reprezentovaný indukčními čarami) se chová podobně jako elektrický proud v elektrickém obvodu. Také si vybírá cestu nejmenšího (magnetického) odporu, což pro magnetické indukční čáry jsou kovové části – koš reproduktoru a pólový nástavec. Na obrázku 18 je zachycen koš reproduktoru, permanentní magnet, který má vyznačené póly a na něm nasazený pólový nástavec.

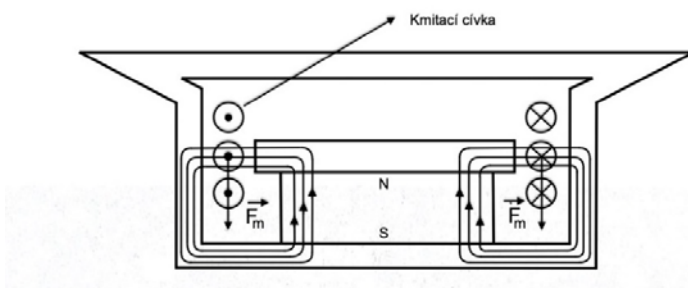


Obr. 18. Představa o tvaru magnetického pole uvnitř reproduktoru.

Obrázek nyní doplníme závitů kmitací cívky napájené střídavým elektrickým proudem (oba směry proudu). Jednoduchým použitím Flemingova pravidla levé ruky dostaneme směr síly působící na kmitací cívku a tím i na membránu při obou směrech proudu (pro přehlednost na obrázku není membrána nakreslena).

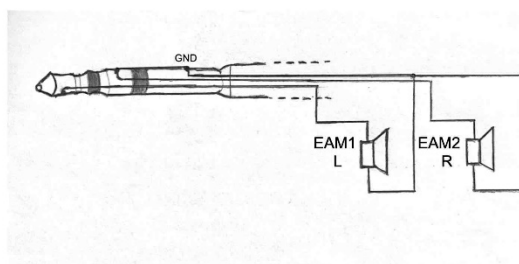


Obr. 19. Síla působící na kmitací cívku protékanou proudem.

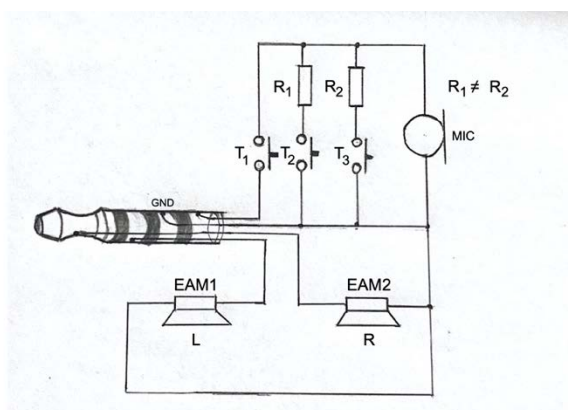


Obr. 20. Síla působící na kmitací cívku protékanou proudem.

Důležitou informací pro jakékoliv experimentování s funkčními sluchátky je zapojení JACK konektoru, pomocí kterého jsou připojeny do počítače/mobilu. Schéma zapojení lze najít na internetu (viz např. [1], [2]) jak pro obyčejná sluchátka bez mikrofonu (v našem případě to byla ta „plastová“ sluchátka), tak i pro sluchátka s mikrofonem a dalšími ovládacími prvky (v našem případě sluchátka značky Apple). Mnohé můžeme „objevit“ i pomocí 1,5 V monočlánku se dvěma vodiči či pomocí ohmmetru, které budeme připojovat k jednotlivým kontaktům konektoru. Výsledek hledání a měření ukazují obrázky 21 a 22.



Obr. 21. Zapojení konektoru JACK sluchátek bez mikrofonu.



Obr. 22. Zapojení konektoru JACK sluchátek Apple s mikrofonem a dalšími ovládacími prvky.

Ze schémat na obrázcích 21 a 22 je vidět, že elektroakustické měniče i mikrofon (v případě obr. 22) mají jeden společný vodič (zem – GND). V případě sluchátek bez mikrofonu (viz obr. 21) proto stačí tři kontakty konektoru.

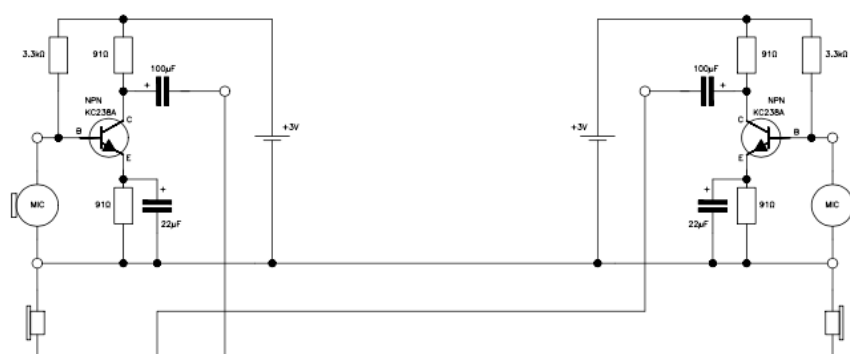
Tlačítka T_1 , T_2 a T_3 ve schématu na obrázku 22 slouží k ovládání hlasitosti (zesilování či zeslabování) a k vypnutí mikrofonu (MUTE). Tyto funkce nejsou standardem u všech sluchátek. Při stisku zvoleného tlačítka dojde ke změně odporu v obvodu mezi kontakty konektoru, kde je připojen mikrofon. Elektronika mikrofonního vstupu počítače či mobilního telefonu v závislosti na této změně odporu provede požadovanou akci.

Pozn.: Řada výrobců (např. Nokia a mnoho „noname“ dalších) využívá pozměněné zapojení čtyřpólového konektoru JACK, kde jsou vzájemně zaměněny kontakty GND („zem“) a MIC (kontakt, ke kterému je připojen mikrofon a případně i ovládací tlačítka) [2].

Výroba jednoduchého telefonu

Oblíbenou hračkou dnešní starší generace byl dětský telefon využívající uhlíkový mikrofon a sluchátkovou vložku. Dva přístroje (každý napájený vlastní baterií) přitom byly propojeny kabelem a bylo možné uskutečnit hovor i na vzdálenost několika desítek metrů. Současná mobilní komunikace však zájem o „drátové“ spojení potlačila a s tím omezila i přístup zvědavcům k něčemu jednoduchému, co lze rozebrat a pochopit jak vlastně komunikační zařízení funguje.

Jako alternativu proto nabízíme telefon z „peckových“ sluchátek s mikrofonom (viz schéma na obr. 23). Na obou koncích komunikačního řetězce je mikrofon připojen k jednoduchému tranzistorovému zesilovacímu stupni, který současně se zesílením střídavého signálu z mikrofону zajišťuje i potřebné napájení mikrofónu.



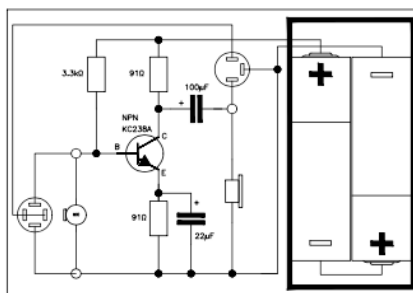
Obr. 23. Schéma zapojení telefonu.

Rezistor o odporu 3,3 kΩ (v bázi tranzistoru) si můžeme spolu s mikrofonom představit jako odporový dělič napětí. Výstupní napětí tohoto děliče (na svorkách mikrofónu) se mění při dopadajícím zvuku na mikrofon. Pokud je ticho (výstupní napětí děliče beze změn), je tranzistor částečně otevřen a napětí na rezistoru 91 Ω v jeho emitoru je přibližně stejné jako výstupní napětí děliče v bázi (menší o napětí cca 0,6 V na přechodu báze-emitor). Jelikož je proud kolektorem i emitorem přibližně stejný (liší se o mnohem menší proud báze), bude stejné i napětí na stejně velkém odporu v kolektoru tranzistoru.

Pokud na mikrofon dopadá zvukové vlnění, výstupní napětí děliče se mění kolem „klidové hodnoty“. Představme si nyní kladnou změnu tohoto napětí. Díky tomu, že kondenzátor 22 μF v emitoru tranzistoru byl před změnou nabitý na „klidovou hodnotu“ napětí, kladná změna napětí v bázi způsobí otevření tranzistoru, větší proud kolektorem a tím i zvětšení napětí na rezistoru 91 Ω v jeho kolektoru. Tato změna se přes výstupní kondenzátor 100 μF (slouží jako oddělovač stejnosměrné složky) přenesse na připojené sluchátko (sluchátkem teče pouze střídavý proud). Výstupní kondenzátor současně řeší i potíže související se společným vodičem pro sluchátka a mikrofon.

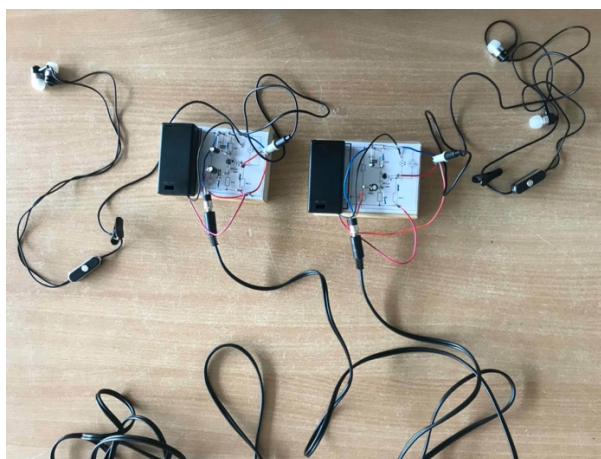
Samotnou technickou realizaci lze provést oblíbenou „hřebíčkovou“ technologií, kdy jsou do destičky z měkkého dřeva (přes papír s nakresleným schématem – viz obr. 24) zatlučeny mosazné hřebíky. Na ně jsou pak připájeny jednotlivé součástky. Připojení sluchátek s mikrofonom je provedeno pomocí čtyřpólového konektoru JACK (kružnice se čtyřmi kontakty v levé části obr. 24). Vzájemné propojení „telefonních stanic“ je pak provedeno pomocí standardního propojovacího kabelu JACK-JACK o délce např. 10 m.

Konektor pro tento kabel je na obr. 24 vyznačen kružnicí se třemi kontakty. U druhé stanice musí být (v souladu se schématem na obr. 23) zaměněn „horní“ a „dolní“ kontakt na tomto konektoru.



Obr. 24. Schéma zapojení k nalepení na dřevěnou destičku.

Napájení obou stanic je zajištěno pomocí dvou tužkových monočlánků AA umístěných v plastovém držáku (na obr. 24 znázorněn tlustým černým obdélníkem).



Obr. 25. Pohled na hotový telefon ze sluchátek do uší.

Literatura

- [1] <https://cz.pinterest.com/pin/847099011133759656/>
- [2] <https://cz.pinterest.com/pin/627196685583591595/>

I cement může být nádherný

Věra Pejčochová

ZŠ Brno, Novolíšeňská

Abstrakt

Příspěvek je trochu netradičním pohledem na kaleidoskopy. Ukáže, jak si jednoduše vyrobit velké krasohledy korálkové s různými soubory zrcadel i oktoskop se skleněnou kulovou čočkou. Představí na základě historické informace kaleidoskop s cementem i nový polarizační kaleidoskop.

Několik poznámek na úvod

Název kaleidoskop vznikl ze 3 řeckých slov – kalos = krásný, eidos = tvar, skapeó = dívat (Přístroj, kterým lze vidět krásné obrázky.)

Už staří Řekové si pohrávali s myšlenkou vícenásobného odrazu dvěma nebo více odraznými plochami. Ale až v roce 1815 na Edinburské univerzitě skotský fyzik David Brewster při zkoumání vlastností světla zůstal ohromený mnohonásobným odrazem obrazu zrnka cementu na konci skleněného žlabu. V roce 1817 byl Brewsterovu vynálezu udělen patent.

Kaleidoskop se stal oblíbenou hračkou dětí, zábavou dospělých i nástrojem umělců a designerů.

Tělo krasohledu tvoří trubka, která je uvnitř vyložená obvykle ze tří stran zrcadly, a otočná objímka s pouzdem s drobnými tělísky. Otočení objímky způsobuje pohyb drobného materiálu v pouzdru, což vede k neustále se měnícím seskupením tělísek. Díky zrcadlům dochází k několikanásobným odrazům, a tak vznikají zajímavé symetrické vzory. Zrcadla bývají zpravidla 3 a mohou svírat různý úhel. (Velikost úhlů by měla být dělitelem 360°, aby vznikala pěkná symetrie.) Nejčastěji se používají 3 zrcadla, která vzájemně svírají 60°. Můžou být i 4 zrcadla.

Na jednom konci také může být místo pouzdra s tělísky skleněná kulová čočka.

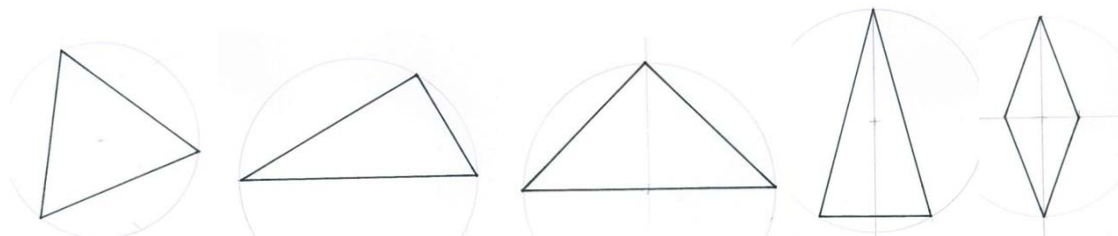
Jak vyrobit velký krasohled

Materiál a pomůcky:

Kartonové zásilkové tubusy průměr 80 mm × 500 mm (s nasazovacím uzávěrem), stříbrné zrcadlo 1,0 mm – plastové, malá pilka, užší izolepa, izolační páska užší (19 mm) a širší (48 mm), oboustranná lepicí páska, speciální nůžky na karton nebo řezák, nůžky, nůž, pravítko, Petriho plastové misky, slinek (hrudky o různých velikostech z cementářské pece), cihlová drť, korálky, kružítko, tužka, vinan sodno-draselný, kastrolek, kancelářský papír, skleněná koule o průměru 8 cm, lepidlo Chemoprén.

Provedení:

- Papírové tubusy zkrátíme na délku 31 cm. (Kaleidoskop se skleněnou koulí může být delší, např. 39 cm). Na jedné straně uříznutého tubusu zůstala papírová podstava.
- Nejdříve si na kancelářský papír narýsujeme kružnice o poloměru asi 3,8 cm a do nich různé sestavy zrcadel.

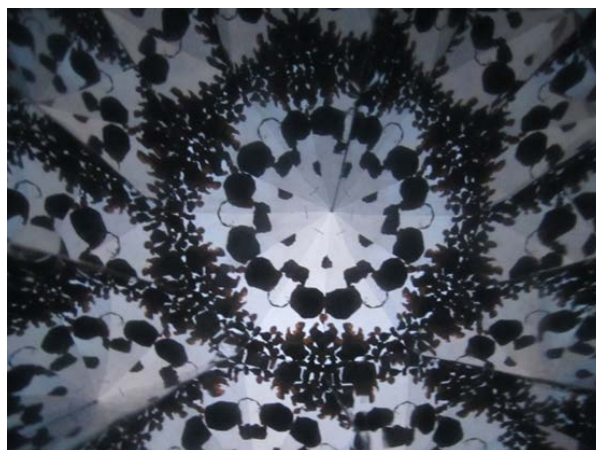
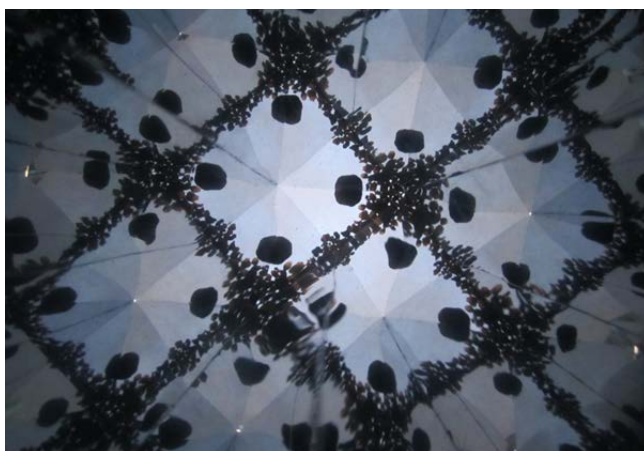
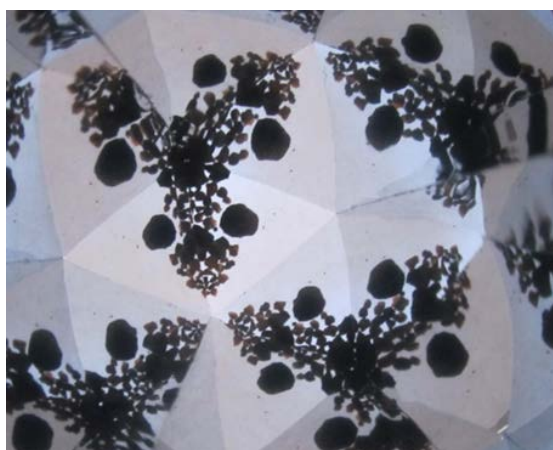


- Změříme si délky stran zrcadel u jednotlivých souprav zrcadel. (To bude šířka zrcadlových obdélníků.)
- Na plastovou fólii narýsujeme obdélníky s délkou 30 cm a šířkami podle změřených hodnot a vystříhneme je speciálními nůžkami nebo nařežeme řezákem.
- Obdélníky z jedné soupravy zrcadel položíme na stůl vedle sebe zrcadlovou stranou dolů a slepíme je k sobě kousky užší izolepy.
- Pak polotovar ohneme do tvaru pláště trojbokého (čtyřbokého) hranolu a pomocí kousků izolepy spojíme volné boční hrany. Zrcadla jsou uvnitř.
- Pak všechny boční hrany pláště přelepíme barevnou izolační páskou. Máme vytvořené jednotlivé soupravy odrazných zrcadlových ploch.
- Soupravy dáme dovnitř uříznutých tubusů a připevníme je k vnitřku tubusu pomocí oboustranné lepicí pásky, aby držely na správných místech.
- Do kruhové papírové podstavy vystříhneme otvory, kterými se budeme dívat dovnitř kaleidoskopu. Proto jejich tvar a umístění na kruhu bude různé podle tvaru základny soupravy zrcadel.
- Potom si vezmeme nasazovací uzávěr tubusu a oddělíme z něj kruhovou podstavu. Místo ní dáme dovnitř válcového uzávěru menší část plastové Petriho misky. (Pokud je miska trochu větší než vnitřek uzávěru, okraje oškrábneme nožem nebo jinak obrousíme.)
- Do této menší misky dáme různá drobná tělíska (korálky, kousky sklíček,...).
- Pak na ní nasadíme větší část Petriho misky a boky zalepíme užší izolační páskou.
- Uzávěr nasadíme na tubu a vyzkoušíme otáčení.
- Kaleidoskop je hotový.

Kaleidoskop s cementem

V tomto krasohledu místo korálků použijeme portlandský slínek. (Do některých můžeme přidat i cihlovou drť.) Slínek jsou hrudky nebo korekce, obvykle o velikosti 3–25 mm v průměru, vyrobené slinováním vápence s hlinito-křemičitanovým jílovým materiálem, který vzniká během výroby v cementářské peci. (Slínek se mele na cementový prášek.)

Ukázky obrazů z krasohledů se slinkem nebo se slinkem a cihlovou dtří:



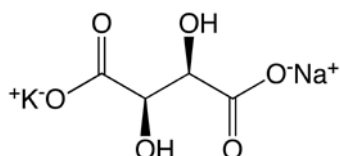
Polarizační kaleidoskop

Tento kaleidoskop spojuje fyziku s chemií. Inspiraci k jeho výrobě jsem získala na konferenci Vedecká hračka v edukácii v Banské Bystrici od Ing. Lucie Dovalové ze ZŠ a MŠ Badín.

V polarizačním kaleidoskopu se místo barevných korálků používají krystaly, které jsou vloženy na konci trubice kaleidoskopu mezi dva polarizační filtry.

Krystaly vloženy do polarizačního světla se stávají barevnými.

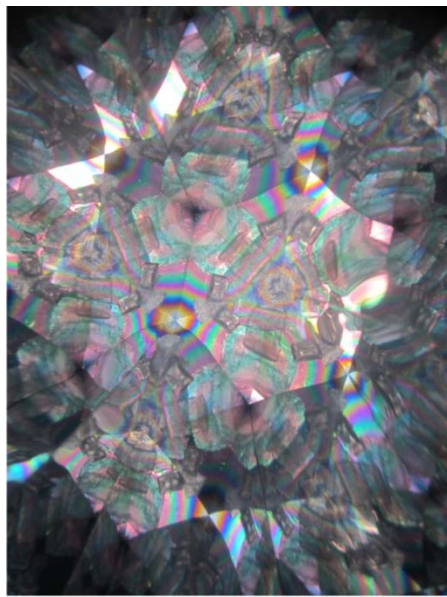
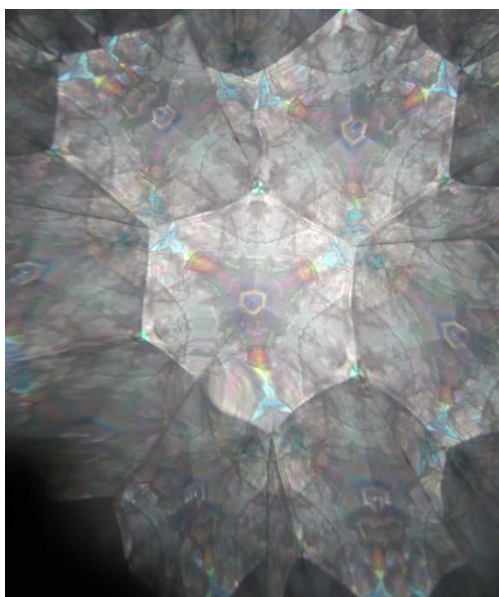
Na krystaly jsem použila vinan sodno-draselný. Ve 100 ml vody jsem rozpustila více jak 63 g vinanu. Roztok jsem nalila do několika misek a nechala krystalizovat. V každé misce vzniklo několik velkých krystalů.



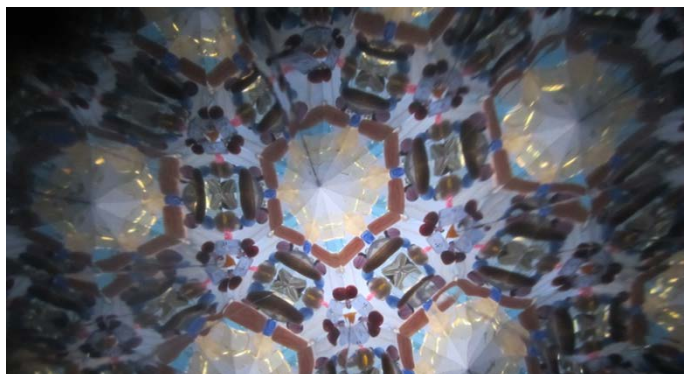
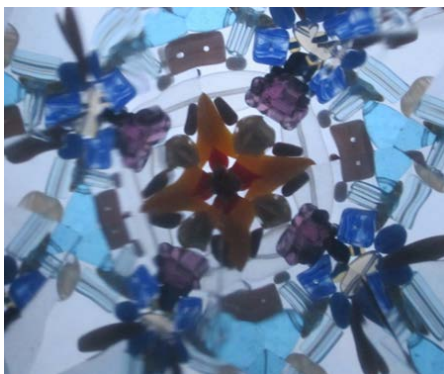
Konstrukce polarizačního kaleidoskopu je trochu upravená. Z polarizační fólie jsem vystříhla 2 kruhy. Jeden jsem nalepila pomocí Chemoprénu na volný konec tubusu. Druhý kruh jsem vložila do horní větší Petriho misky. Do menší misky jsem dala krystaly vinanu sodno-draselného, přikryla jsem jí větší miskou s polarizační fólií a po bocích jsem uzavřenou misku zalepila užší izolační páskou.

Ukázky obrazů z polarizačních krasohledů:

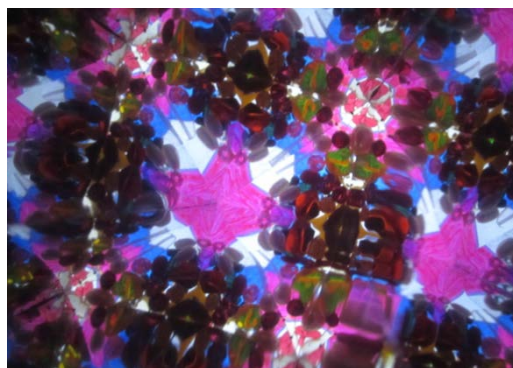
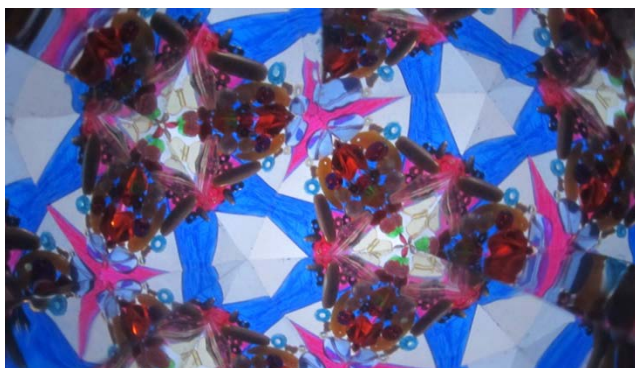




Ukázky obrazů z různých kaleidoskopů s korálky a s různými zrcadlovými soupravami:

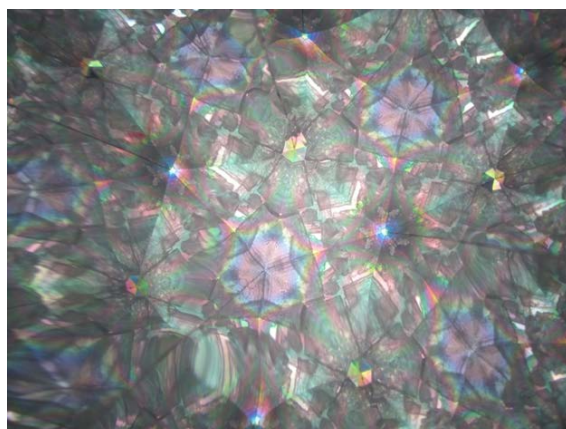


Ukázky obrazů z různých kaleidoskopů s korálky a předním sklem s dělenými barevnými filtry:



Oktoskop (kaleidoskop se skleněnou kulovou čočkou)

U tohoto krasohledu nepotřebujeme otočný uzávěr s pouzdrem s korálky, nahrazuje ho skleněná kulová čočka. Skleněná koule se vlepuje do druhého konce krasohledu, kde není otvor okuláru. Aby koule dobře držela, vlepila jsem dovnitř zmenšený kruh uříznutý ze zbytku tuby (lepidlo Herkules). Až tento kroužek dobře zaschnul, natřela jsem vnitřek tubusu nad ním lepidlem Chemoprén. Pak jsem vložila dovnitř polovinu koule a vše nechala dobře zaschnout.



Co na závěr

„Až budete mít všeho dost
Do ruky vemte tenhle velkolepej skvost
V tu chvíli dá vám krasohled
Zapomenout na celý svět.“

(Ze hry Jiřího Suchého Jako když se tiskne)



Odkazy

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/David_Brewster
- [2] <https://cs.wikipedia.org/wiki/SI%C3%ADnek>
- [3] <https://mladychemik.webnode.sk/oznamy/kaleidoskop/konferencia-vedecka-hracka/>

Termočlánek jako stabilní fyzikální pokus

Zdeněk Polák

Jiráskovo gymnázium v Náchodě

Abstrakt

V příspěvku budou rozebrána následující témata: Termočlánek a jeho místo ve výuce, výroba kovového termočlánku ve školních podmínkách, termočlánekový teploměr, detekce malých napětí termočlánku, magnetické pole termoelektrického proudu, Peltierův článek jako zdroj napětí, termoelektrický motor poháněný teplem svíčky.

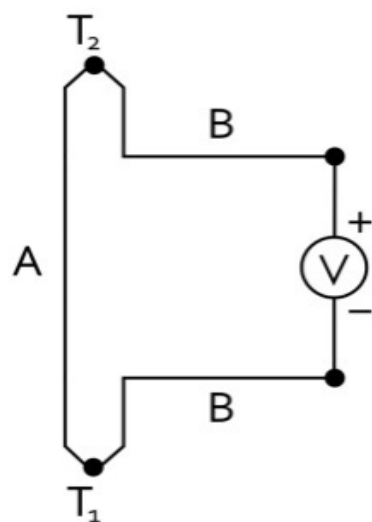
Stabilní pokus

Každý učitel fyziky při výuce používá široké spektrum demonstračních pokusů, od jednoduchých spolehlivých sestav až po složité a na nastavení citlivé soustavy přístrojů. Pokud to jde, preferuji ty první. Experiment při běžné výuce nemá zaměstnat učitele, ale žáky. Musí být proto co nejjednodušší, s malým počtem věcí, které je nutné připravit, a hlavně musí být spolehlivý, aby probíhal podle našich představ. Osvědčilo se mi mít připravené sestavené experimenty a potřebné pomůcky nepoužívat v jiných. Pokud používám stavebnici, tak z ní vytvořím tolik sestav, kolik to jde, a dále je nerozebírám. Vznikají tak „stabilní pokusy“ – např. nakloněná rovina se setrvačником pro zrychlený pohyb, sestavená optická lavice pro měření ohniskové vzdálenosti čočky, sestavený RLC obvod pro měření impedance a demonstraci rezonance, U-trubice pro kapaliny na stojanu atd. Jedním učitelem takto připravený pokus mohou pak využít i ostatní učitelé v jednom kabinetě. Jedinou podstatnou nevýhodou je potřeba velkého prostoru pro umístění sestavených pokusů.

Pokusy s termoelektrinou přímo vybízejí k vytvoření stabilních sestav.

Termočlánek

Termoelektrický jev objevil 1821 německý fyzik žijící v Estonsku Thomas Johann Seebeck. Popis tohoto jevu lze nalézt např. v [1]. V podstatě jde o to, že když vložíme kovový vodič A (mezi jehož konci je rozdíl teplot Δt) mezi další dva stejné vodiče B, pak na volných koncích vodičů B naměříme napětí (viz obr. 1). Naměřené napětí je při malém rozdílu teplot Δt přímo úměrné tomuto rozdílu: $U = \alpha \Delta t$. Bohužel pro běžné kovové vodiče je získané napětí velmi malé, řádově desítky mikrovoltů na teplotní rozdíl jednoho stupně Celsia. Větší napětí získáme zvětšením rozdílu teplot na stovky stupňů – to se dostáváme na milivolty – a řazením termočlánků do série. Mnohem větší možnosti máme při použití polovodičových termočlánků, kde však jsme bohužel obvykle omezeni teplotním rozdílem na desítky stupňů Celsia. Polovodičové termoelektrické generátory TEG schopné vyrovnat se s vyššími teplotami jsou drahé.



Obr. 1. Obecné schéma termočlánku.

Tab. 1. Termoelektrická napětí kovů a slitin proti platině při teplotním rozdílu 100 °C mezi teplým a studeným spojem. Převzato z [3].

materiál	napětí v mV
nikl-chrom (85% Ni, 15% Cr)	2,55
železo	1,9
mosaz	1,1
měď	0,75
manganin (86% Cu, 12% Mn, 2% Ni)	0,68
hliník, hořčík, cín	0,4
platina	0,00
nikl	-1,55
konstantan (55% Cu, 45% Ni)	-3,50

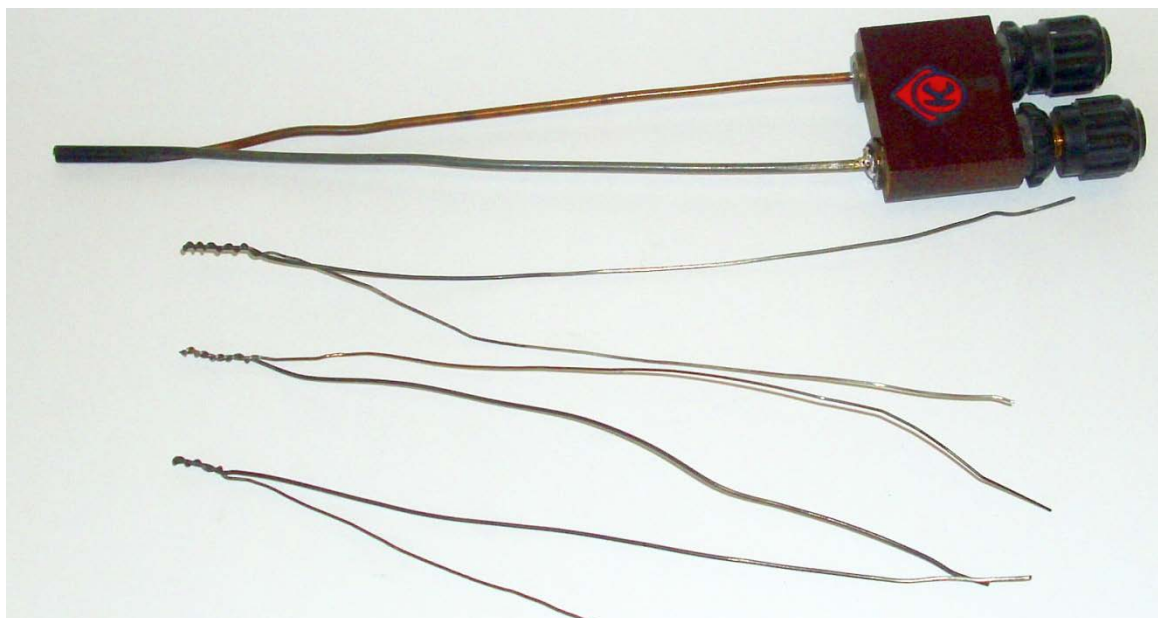
Většina kovových termočlánků pracuje s konstantanem. Ten pak má nižší potenciál, než druhý kov – to lze vyčíst z tabulky termoelektrických napětí kovů proti platině při teplotním rozdílu teplého a studeného konce 100 °C, viz tab. 1. Termočlánek niklchrom-nikl bude vytvářet napětí $U = 2,55 - (-1,55) \text{ mV} = 4,1 \text{ mV}$, termočlánek železo-konstantan (Fe-Ko) napětí $U = 1,9 - (-3,5) \text{ mV} = 5,4 \text{ mV}$ (obojí při $\Delta t = 100 \text{ °C}$).

Při konstrukci termočlánku máme dva hlavní problémy: kde vzít vhodné vodiče a jak je spojit. Pro běžné školní pokusy používám termočlánky Fe-Ko a Cu-Ko. Měděný drát není problém, obvykle stačí stáhnout plastovou izolaci z telefonních vodičů a vyhovující měděný drát je k dispozici. Železný drát používám běžný měkký vázací – nesmí být nijak povrchově pokovený, ani cínovaný (včelařský drát se nehodí), ani pozinkovaný. Černý vázací drát, který je pokryt tenkou vrstvou oxidu železa, vyhovuje. Konstantan lze koupit jako odporový drát. Obchodní označení bývá jiné a je nutné dát pozor, jaké je složení slitiny, ze které je odporový drát vyroben. Konstantan měl původně 55% Cu a 45% Ni, dnes ho lze koupit pod obchodním názvem Thomsen nebo IZOTAN ve složení 55% Cu, 1% Mn, 44% Ni. Důležité je pohlídat si měrný elektrický odpor, který je u konstantanu $0,49 \mu\Omega/\text{m}$. Konstantanovými vodiči jsou vinuty některé velké odpory a všechny reostaty vyráběné dříve Metrou Blansko. Konstantan na reostatech i dodávaný na cívkách bývá povrchově izolovaný buď polyuretanovým lakem, nebo tenkou vrstvou černého oxidu (běžné u reostatů). Od chromniklu, kterým také bývají drátové rezistory navinuty, poznáte konstantan tak, že je nemagnetický, zatímco chromnikl je feromagnetický s relativně nízkou Curieovou teplotou.

Důležité je kvalitní spojení kovů. Můžete je spojit kroucením, to ale nemá dlouhou životnost a spoj je velmi nedokonalý. Spájení cínem je dobré řešení, ale vydrží jen do teploty cca 230 °C, lihový kahan tedy cínový spoj roztaví. Slitiny s niklem a chromem se navíc také obtížně pájí (oproti tomu konstantan obsahuje hodně mědi a pájí se dobře). Lepší je proto nechat si termočlánky spájet tvrdou pájkou – stříbrem nebo mosazí. Nejlepší je termočlánek svařit – jednoduchý, ale velmi účinný způsob, jak svařit dráty termočlánku, je popsán v [2].

Sváření termočlánků

Budeme potřebovat robustní transformátor nejlépe s odbočkami, ideálně 5–15 V / 100 W, bez usměrnění a na sekundární straně bez pojistek. Důležité je, aby mu nevadil krátkodobý velký odběr. Dále potřebujeme stojan s držákem, robustní uhlíkovou tyčku o průměru 6-10 mm (používám elektrodu z uhlíkové obloukové lampy, ale uhlík z velkého monočlánu také vyhoví) a silikonovou hadičku dlouhou cca 2 cm, kterou lze těsně navléknout na uhlík. Tyčinku dobře upevníme do stojanu a dolní konec připojíme k jedné svorce nízkého napětí transformátoru vodičem o průřezu minimálně 1,5 mm². Hadičku navlékneme tak, aby pružně těsnila kolem uhlíkové tyčky, a na horním okraji necháme cca 1 centimetr přesahovat. Do hadičky nalejeme několik milimetrů vysoký sloupec lihu. Dráty termočlánu dobře očistíme smirkovým papírem a kleštičkami zkroutíme k sobě tak, aby vznikl pevný mechanický spoj. Termočlánek asi 3 cm od svařovaného konce také dobře očistíme smirkem, vložíme do přehnutého konce silného měděného vodiče (licny) připojeného k druhé svorce nízkého napětí transformátoru a pevně sevřeme do kleští. S brýlemi na očích (nebo ještě lépe s ochranným štítem na obličeji) se volným koncem stočených drátů termočlánu, které svíráme v kleštích, lehce dotkneme konce uhlíkové tyčinky pod hladinou alkoholu. Dojde k výboji, při kterém se na konci roztaví a svaří smotané dráty. Sváření probíhá pod hladinou alkoholu, který chemicky reaguje s horkými vznikajícími oxidy a redukuje je. Vzniká čistý hladký svár. Bohužel, trochu alkoholu vystříkne do prostoru a musíme být připraveni, že může začít hořet. Sváření lze drátky průměru od 0,2 mm do 1 mm – záleží na napětí transformátoru a celkovém odporu obvodu, nutno vyzkoušet. Běžné kovy jako železo, mosaz, měď a konstantan se sváří dobře, niklchrom obtížně. Výsledek viz obr. 2.

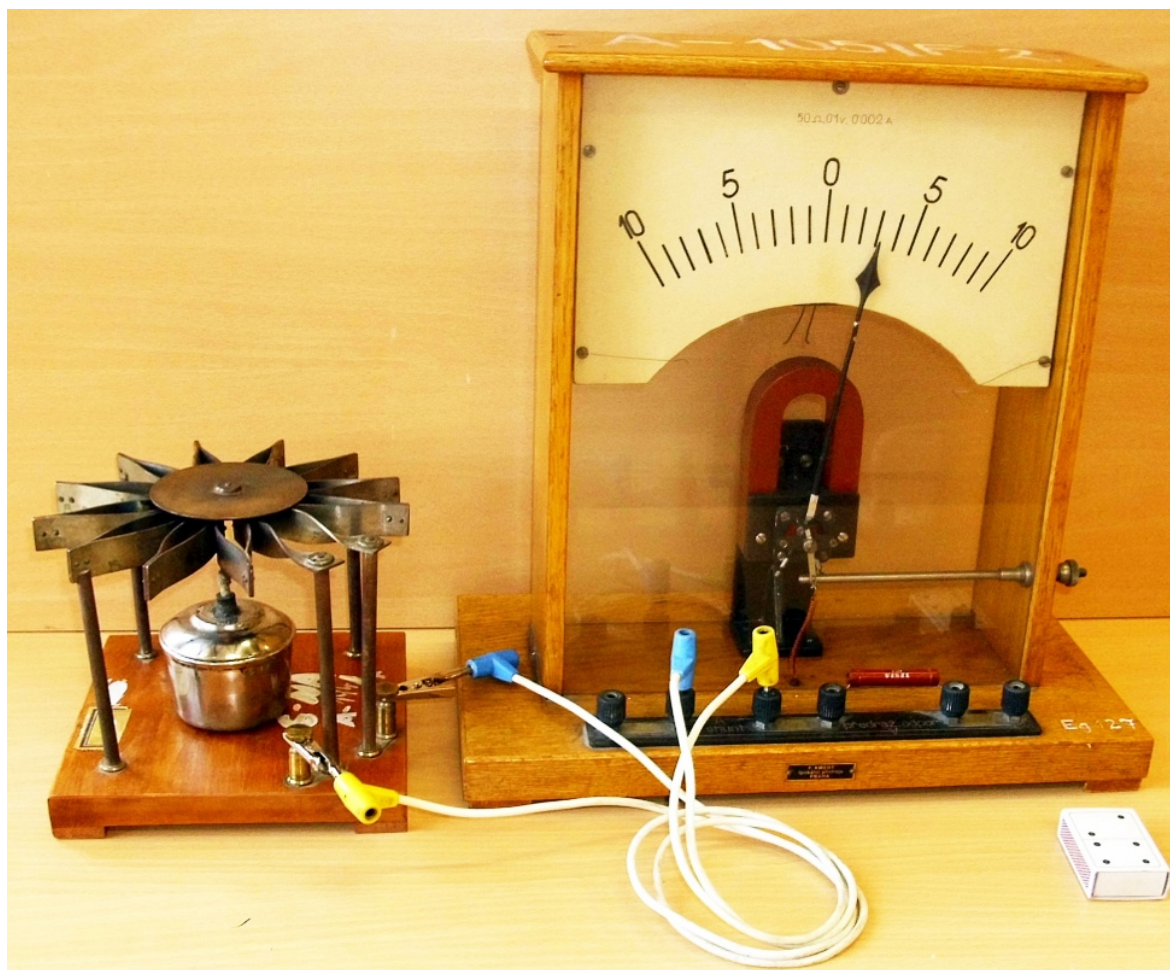


Obr. 2. Termočlánek Cu-Ko jako školní pomůcka dodávaná před půl stoletím Komeniem a trojice termočlánků Fe-Ko vyrobených ve škole popsanou metodou svařování.

Termočlánek Cu-Ko dává cca 4,2 mV na teplotní rozdíl 100 °C. Na lihovém kahanu můžeme předpokládat zahřátí do cca 400 °C a tedy napětí do 20 mV. Experimentálně ověříme polaritu – měď získává kladný potenciál proti konstantanu.

Co můžeme najít v kabinetu

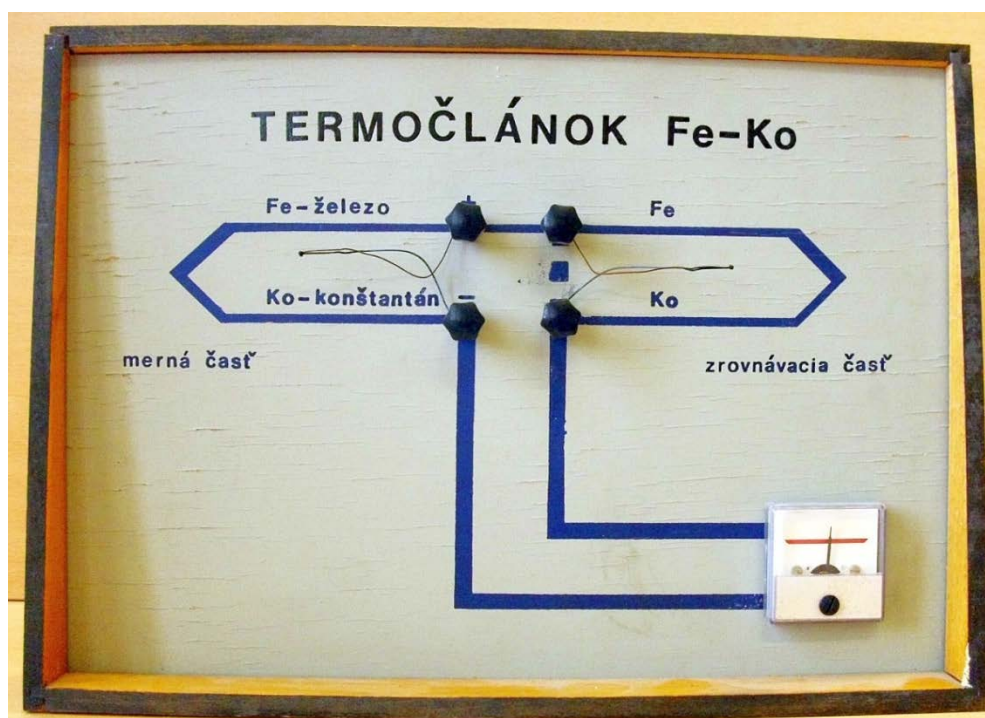
Na obrázku 3 je baterie termočlánků Fe-Ko se stářím téměř 100 let. Vypadá robustně a dvanáct termočlánků dává naději na větší výkon. Musíme však počítat s menším teplotním rozdílem a také bohužel s nedokonalým elektrickým spojením jednotlivých částí, takže naměřené napětí při zahřívání lihovým kahanem je cca 30–40 mV a zkratový proud okolo 30 mA. Termočlánky nejsou svařeny, konstruktér byl mechanik, ne elektrikář. Všechny díly jsou spojeny mechanicky, nýtováním a šroubováním, což po dlouhé době znamená pro každý spoj přechodový odpor.



Obr. 3. Baterie dvanácti Fe-Ko termočlánků z roku cca 1930 a milivoltmetr z téže doby.

Termočlánek Fe-Ko na panelu

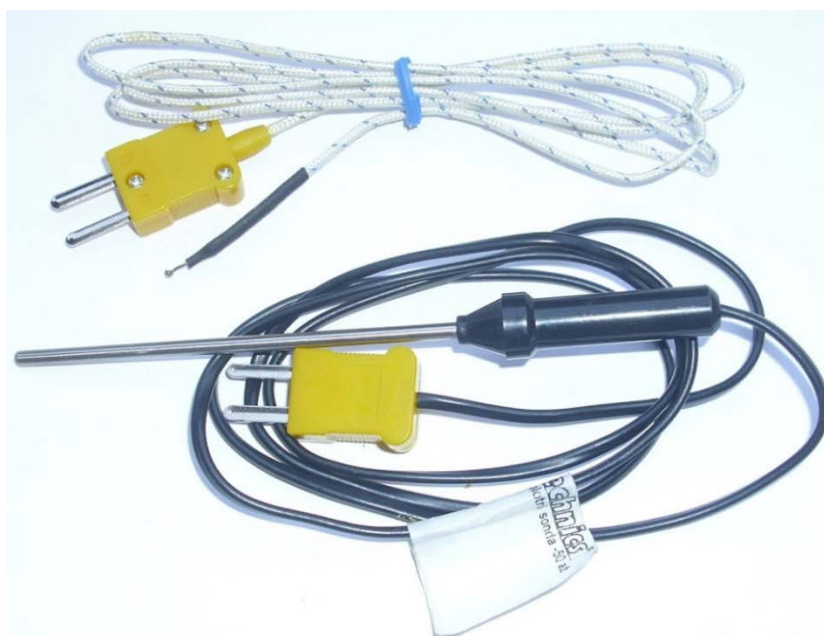
Velmi praktická a jednoduchá pomůcka, typická ukázka stabilního pokusu (obr. 4). K termočlánu je připojen měřicí přístroj s nulou uprostřed umožňující sledovat směr proudu při zahřívání jednoho nebo druhého spoje. Měřicí přístroj má na plnou výchylku napětí cca 6 mV, což odpovídá teplotnímu rozdílu cca 120 °C. Při zahřátí rukou (Δt je cca 10 °C) se ručka přístroje nepatrně pohne, při zahřátí hořící sirkou ručka přístroje „jde za roh“ – ukazuje plnou výchylku. Termočlánek ze slabých drátků i slabým plamínkem snadno prohřejeme na potřebnou teplotu.



Obr. 4. Dvojice termočlánků na panelu je vzorovým provedením stabilního fyzikálního pokusu. Vždy připraven k použití, žádné nastavování.

Teplotní termočláňkové sondy k měřicím přístrojům

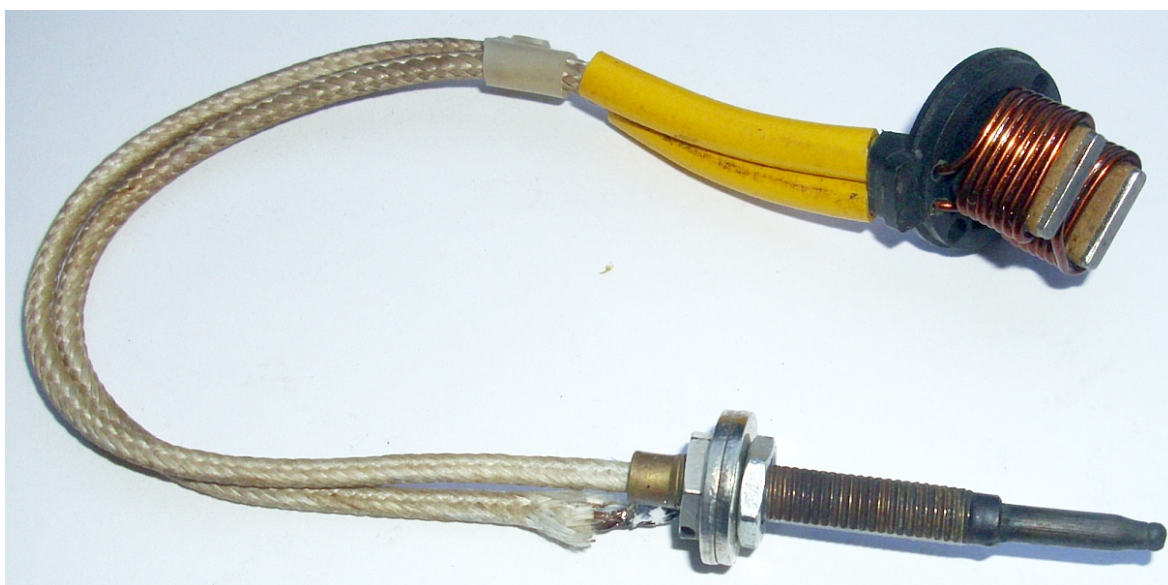
Termočláňky se požívají jako levné měřicí sondy k digitálním měřicím přístrojům. Typ K na obr. 5 má použití od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Horní omezení je dáno hlavně tepelnou odolností izolace vodičů a omezenou přesností díky nelinearitě závislosti napětí na teplotním rozdílu spojů. Jinak mají slitiny chromu a niklu velmi vysokou teplotní i mechanickou odolnost a běžně je lze použít až do teploty spoje okolo $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 5. Měřicí termočláňky k univerzálním měřicím přístrojům. Typ K (chromel–alumel).

Termopojistka

Dalším velmi užitečným využitím termočlánu jsou termopojistky. Běžné jsou mechanické termostaty, kde mechanické vypnutí proudu v obvodu zajišťuje bimetalový pásek. Bohužel bimetal není spolehlivý a s počtem vykonaných cyklů při extrémně velké teplotní a korozní zátěži ztrácí své vlastnosti. Zvláště se to projevuje, je-li bimetal vystaven přímému plameni – tak je tomu třeba u ovládání přívodu plynu u plynových hořáků. Aby při poklesu tlaku plynu a zhasnutí věčného plaménku (zajišťujícího okamžité zapálení hořáku při zapnutí ohřevu) nedošlo po obnovení tlaku k nekontrolovanému úniku plynu, je třeba mít spolehlivou pojistku, která uvolní přívod plynu jen v přítomnosti plamene. To je zajišťováno elektromagnetickým ventilem, který je napájen proudem z termočlánu. Nechoří-li plamen, termočlánek se nezahřívá, nevzniká napětí a elektromagnetický ventil (viz obr. 6) zůstává uzavřen.

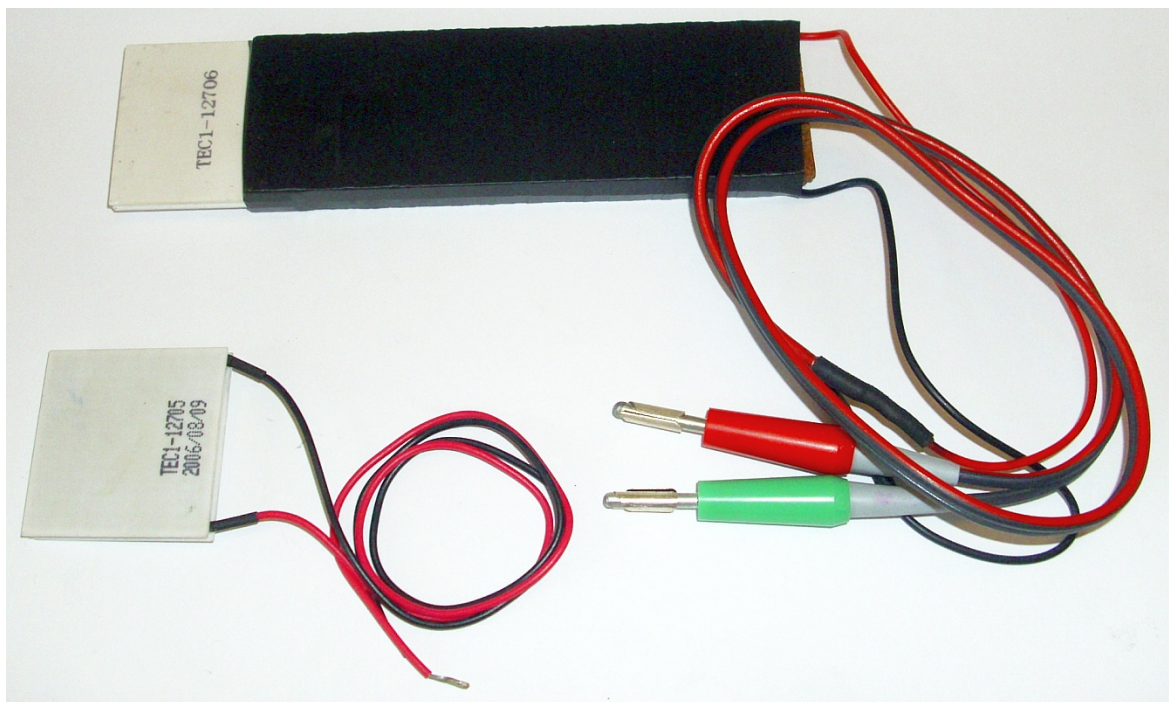


Obr. 6. Termočlánek v mosazné trubičce napájí elektrickým proudem elektromagnet. Pro správnou funkci elektromagnetu stačí napětí cca 10–20 mV, které zajistí proud v obvodu řádově desetiny ampéru.

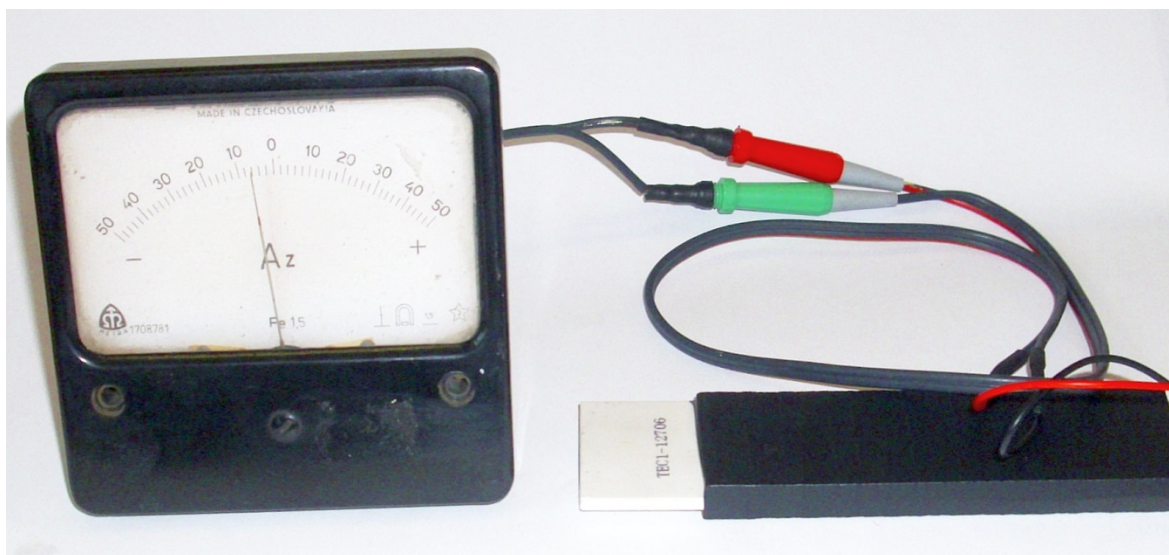
Peltierův polovodičový článek

Co nedokáže jedno spojení kovů, toho snadno dosáhne baterie několika desítek polovodičových termočláneků. Běžně lze v obchodě s elektronickými součástkami koupit tzv. Peltierovy chladicí články. Jde o baterii v sérii spojených termočláneků využívajících Peltierova jevu, který je inverzní k jevu Seebeckovu. Jestliže kovem zapojeným mezi dva další vodiče prochází elektrický proud, pak jeden spoj se zahřívá a druhý naopak ochlazuje. Je-li takových článků celá soustava orientovaná tak, aby teplé konce směřovaly na jednu a studené konce na druhou stranu, máme tepelné čerpadlo, které lze použít při chlazení tepelně citlivých součástek. Ale obráceně, jestliže jednu stranu Peltierova článku ohříváme a druhou chladíme, máme termoelektrický zdroj napětí. Jeden takový článek při teplotním rozdílu cca 50 °C poskytuje napětí 1–2 V a proud stovky mA. To není nic zanedbatelného a takový termoelektrický článek je vděčný pro školní pokusy i jako reálný termoelektrický zdroj proudu. Bohužel povrch článků kryje velmi křehká, tepelně dobře

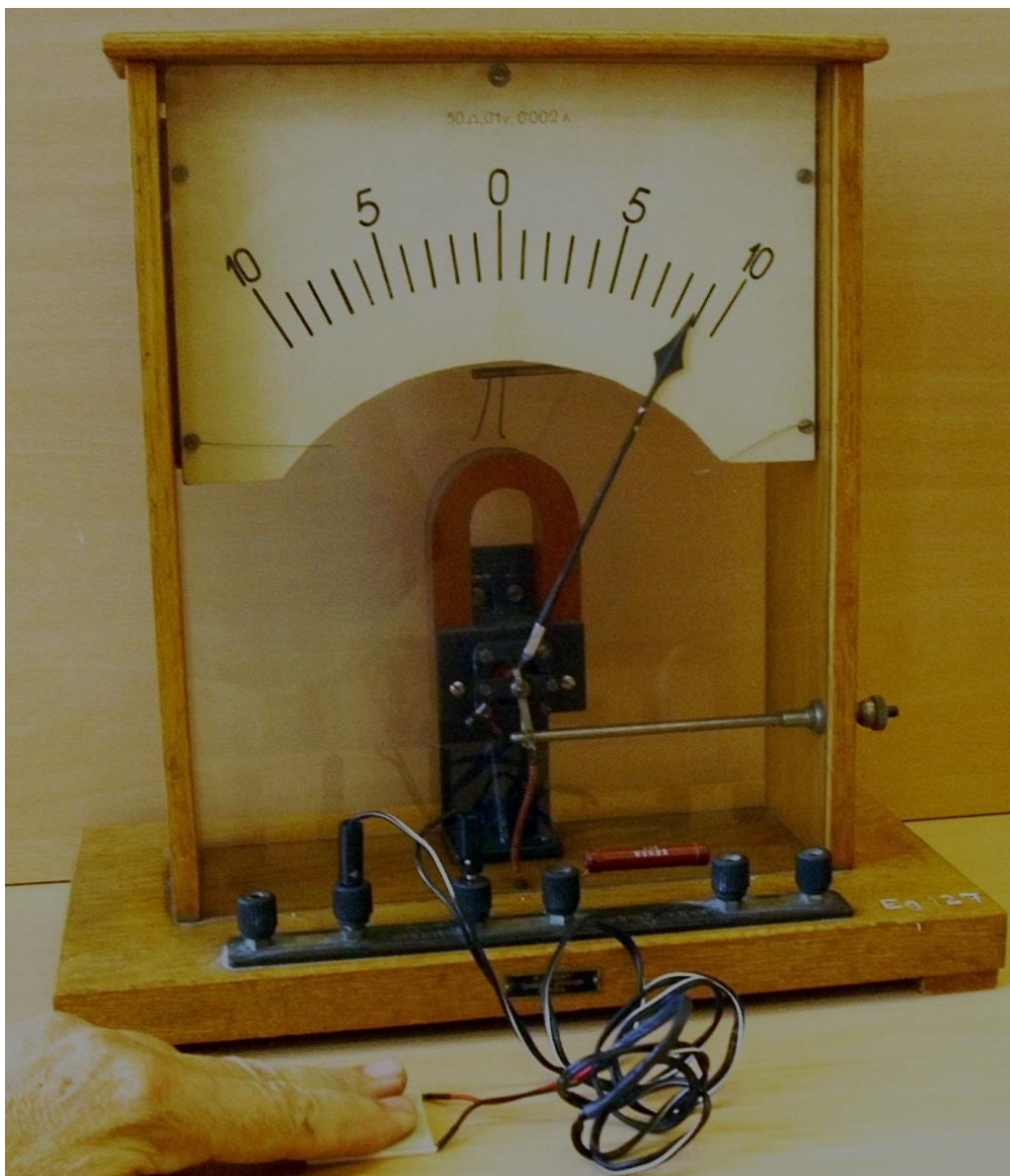
vodivá keramika a článek je mechanicky málo odolný. Navíc podléhá snadno korozním změnám, když do něj nateče voda – tato nepříjemná vlastnost se dá potlačit tím, že koupíme Peltiery vodotěsně uzavřené silikonem (obr. 7 a 8).



Obr. 7. Peltierův článek samotný (vlevo dole) a vložený do dřevěného držáku pro vyšší mechanickou ochranu (nahore, s připojenými vývody s banánky).



Obr. 8. Typický stabilní pokus, Peltier s galvanometrem. Pro plnou výchylku na jednu stranu postačí dotek prstu. Při doteku z druhé strany se změní směr proudu a ručička přístroje se vychýlí na druhou stranu. Samozřejmě je možné dotýkat se naopak chladným předmětem, např. kouskem ledu, proud bude pak mít opačný směr.



Obr. 9. To, co umí sto let stará baterie termočlánků zahříváná lihovým kahanem (viz obr. 3), zvládne jeden Peltierův článek zahříváný dvěma prsty. Nutno přiznat, že lavice byla před přiložením termočlánku ochlazená – stál na ní plecháček s ledovou vodou.

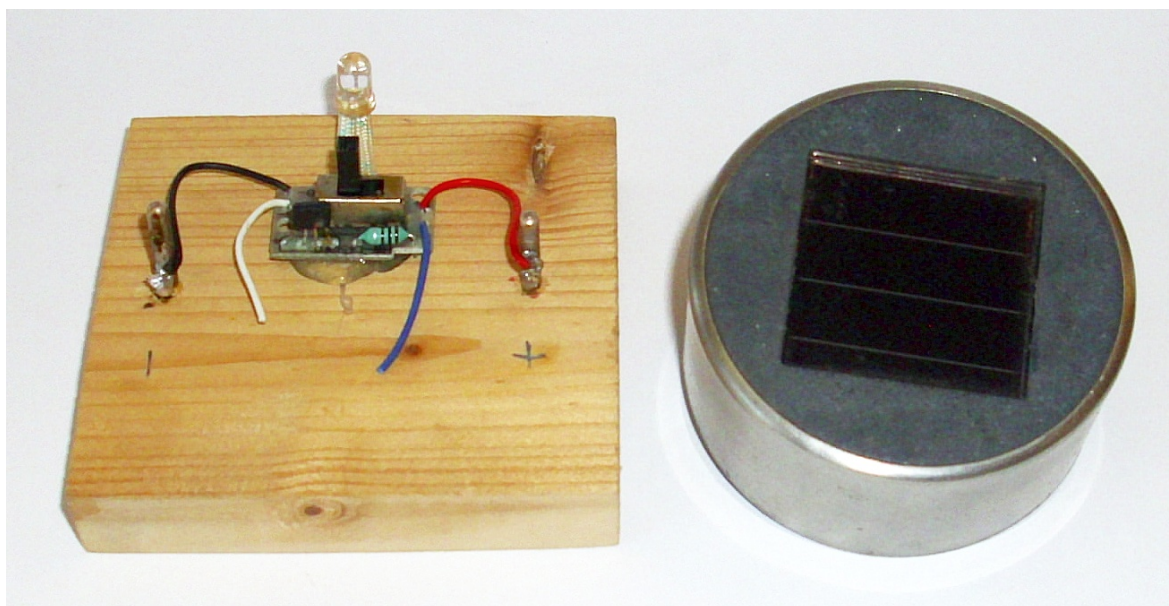
Experimenty s Peltierovými články

S Peltierovými články lze provádět řadu experimentů. Můžeme bez problému dosáhnout napětí něco přes 1 volt a proud v řádu stovek miliampér. To umožňuje roztočit motorek (obr. 10) nebo rozsvítit malou žárovku – vhodná je 1,3 V / 100 mA, případně běžnější typ 1,2 V / 220 mA.

Na rozsvícení LED je vzniklé napětí příliš malé a je zapotřebí měnič. Nejjednodušší je vymontovat z vysloužilého solárního světla hotový jednoduchý DC měnič, který z napětí NiCd článku 1,2 V vyrábí cca 3 V pro bílou LED. Měnič funguje od napětí cca 0,9 V a jde o obvod na tištěném spoji, z něhož dva vývody vedou na solární článek, dva na dobíjecí NiCd článek a dva k LEDce – viz obr. 11.



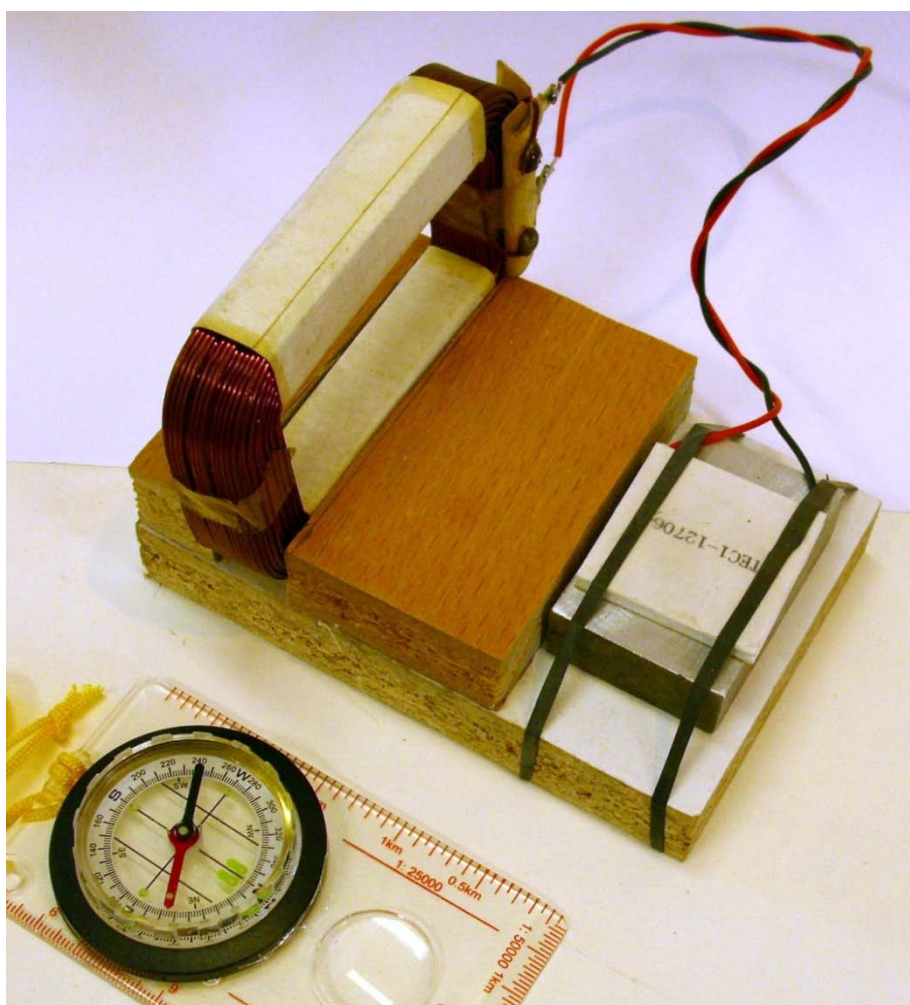
Obr. 10. Peltier leží na chladiči z počítače. Chladič je ponořen do ledové vody, která ho udržuje na nízké teplotě. Navrchu leží dva měděné hranoly, které byly původně ohřáty v horké vodě na teplotu cca 50 °C. V tomto uspořádání dává Peltier napětí cca 1,3 V a proud okolo 150 mA.



Obr. 11. Napěťová pumpa ze solární svítilny. Volné drátky byly původně připojeny k fotočlátku. Na rozsvícení LED stačí jen cca 0,9 V.

Magnetické pole termoelektrického proudu

Proudem, který vyrobí termočlánek, můžeme napájet elektromagnet tepelné pojistky (viz obr. 6) nebo vychylovat magnetku magnetickým polem vzduchové cívky, viz obr. 12. Je důležité, aby cívka měla pokud možno malý odpor, ale hodně závitů. Dobrý kompromis je, když je odpor cívky srovnatelný s vnitřním odporem článku a cívka má stovky závitů. Dobře vyhověla cívka z primárního vinutí transformátoru z mikrovlnné trouby – na obr. 12 je cívka z mikrovlnky (o výkonu 1 kW), která má asi 220 závitů a odpor cca 2 ohmy. Výhodou této cívky je, že má vhodnou dutinu, do které se vejde busola, a z výroby je dobře zpevněna prolakováním, takže je mechanicky tuhá. Buzolu vložíme do dutiny a nastavíme severojižním směrem, aby magnetka ležela v rovině cívky. Pak se stačí dotknout jedním prstem, zahřát tak Peltierův článek o několik stupňů Celsia a magnetka se výrazně vychýlí. Není bez zajímavosti, že tyto robustní cívky jsou vinuty hliníkovým vodičem.



Obr. 12. Peltierův článek s cívkou. Hliníkový blok pod článkem zajišťuje svou tepelnou setrvačností malé teplotní změny dolní plochy článku. Horní plochu ohříváme dotekem prstu, případně ochlazujeme ledem. Magnetka se vychýlí na jednu nebo na druhou stranu.

Motor z termočláneků

Máme-li zahřívaný zkratovaný termočlánek s malým odporem, protéká jím poměrně velký proud. Toho se dá využít ke konstrukci motoru. Konstrukce je dobře patrná z obr. 13.



Obr. 13. Motor z termočláneků

Stator je tvořen dvěma silnými neodymovými magnety, které mezi sebou svírají silnou jehlu vetknutou tupým koncem do dřevěného podstavce. Na hrotu jehly spočívá rotor. Ložisko je tvořeno mosazným šroubkem, v jehož zářezu pro šroubovák je vyvrtán mělký kuželovitý důlek – třecí ložisko. Samotný rotor je vystřížen z měděného plechu. Středem je kruh o průměru cca 4 cm, ze kterého vybíhá 16 pásků o šířce cca 0,5 cm a délce asi 5 cm. Konce pásků jsou spojeny silným konstantanovým drátem s průměrem asi 1 mm, který pochází z mohutného reostatu. Silné konstantanové dráty se dají také koupit v Conradu za cenu cca 800 Kč za 100 g, v podstatě nezávisle na jejich průřezu. Dráty nespojují přímo protilehlé konce pásků, ale jdou „kratší cestou“ – mezi dvěma navzájem spojenými konci je pět dalších. Ušetří se tak materiál, sníží se vnitřní odpor termočláunku a hlavně uprostřed vznikne dostatečně velká díra k provléknutí magnetů statoru. Konstantanové dráty jsou spojeny s měděným plechem pájením cínem. Pod rotor postavíme malou čajovou svíčku přibližně v ose magnetu. Zahřátím vznikne proudová smyčka, která má magnetické pole kolmé k magnetickému poli statoru. Vzniká silový moment a rotor se začíná otáčet. Tím se ale začne ohřívat následující uzavřený termočlánek a předchozí chladne, čímž se stále udržuje silový moment potřebný k otáčení rotoru. Pokud přemístíme svíčku na druhou stranu, otáčí se rotor opačným směrem.

Jde o další vděčný stabilní experiment, stabilní fyzikální pokus.

Závěr

Tento článek není určen k přesnému vysvětlení termoelektrických jevů. Jde o pohled na to, jak uspořádat pokusy, aby učitel experimentoval, ukazoval fungování přírody a využití fyzikálních jevů v praxi, prováděl odhady a jednoduché výpočty, ale přitom se z toho nezbláznil.

Zdroje a literatura:

[1] https://cs.wikipedia.org/wiki/Termoelektrick%C3%BD_jev

[2] <https://www.guenther.eu/cz/>

[3] Šedý V.: *Rozeberte si PC*. BEN – technická literatura, Praha 2001. ISBN 80-7300-016-4

Redefinice fyzikálních jednotek SI

Miloš Rotter

Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta, Praha

Abstrakt

V květnu 2019 vstoupila v platnost nová definice soustavy jednotek SI založená na fixovaných hodnotách univerzálních fyzikálních konstant s perspektivou jejich zpřesňování. Významný je zejména experimentální přístup k definici jednotky hmotnosti a jednotky teploty.

Historie soustavy jednotek SI

Mezinárodní den metrologie byl stanoven na 20. května na výročí přijetí Mezinárodní konvence pro míry a váhy v roce 1875. Konvence přijatá 17 členy Mezinárodního úřadu pro míry a váhy (BIPM) stanovila jednotky délky, hmotnosti a času odvozené z rozměrů Země a doby otáčení Země kolem její osy tak, aby byly přístupné pro všechny a navždy („*A tous les temps, à tous le peuple*“) podle idejí Velké francouzské revoluce (1789). Byly vyvinuty mezinárodní etalony metru a kilogramu, přidala se jednotka elektrického proudu – ampér. Zavedení všeobecně užívaných jednotek si vynutil rozvoj obchodu, průmyslu a vědy.

V roce 1960 byla přijata soustava SI (Système International d'Unités), která definovala šest základních fyzikálních jednotek (metr, kilogram, sekunda, ampér, kelvin, kandela a posléze mol) a vztahy mezi nimi. Jednotka časového intervalu – sekunda určená z délky středního slunečního dne či tropického roku mohla díky rozvoji kvantové fyziky být určena jako 9192631770 period záření odpovídajícího přechodu mezi dvěma hyperjemnými úrovněmi energie základního stavu atomu ^{133}Cs a byla tak určena s přesností 10^{-16} . Jednotka délky – metr byla posléze také určena pomocí kvantové teorie záření jako 1 650 763,73 vlnových délek ve vakuu záření přechodu mezi kvantovými hladinami úrovní 2p₁₀ a 5d₅ atomu ^{86}Kr . Nejnovější definice metru vychází z fixované hodnoty rychlosti světla ve vakuu, metr je dán délkou, kterou urazí světlo ve vakuu za 1/299 792 458 sekundy [1].

V definici základních fyzikálních jednotek zbyly tedy jen dvě, které jsou určeny pomocí artefaktů, tedy bez využití výsledků kvantové fyziky. Po řadu let byla vyvíjena snaha nahradit prototyp kilogramu uchovávaný v podzemí Pavillon de Breteuil v Sèvres spolu s autentickými kopiemi a národními etalony a také realizaci trojného bodu vody (273,16 K) modernějšími prostředky. Na 26. generální konferenci CGPM 16. listopadu 2018 bylo jednomyslně usneseno, že Mezinárodní den metrologie 20. května 2019 bude dnem vyhlášení nové struktury soustavy SI a redefinice základních fyzikálních jednotek [2].

Nová definice soustavy jednotek SI

Použití etalonů je v nové definice nahrazeny využitím fundamentálních konstant v jejich fixované hodnotě, jak je připravilo sdružení CODATA na základě kritické analýzy hodnot publikovaných v odborných časopisech k roku 2017 [3].

$\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$ – frekvence hyperjemného přechodu v základním stavu atomu ^{133}Cs

$c = 299\,792\,458\text{ m/s}$ – rychlost světla ve vakuu

$h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}\text{ Js}$ – Planckova konstanta

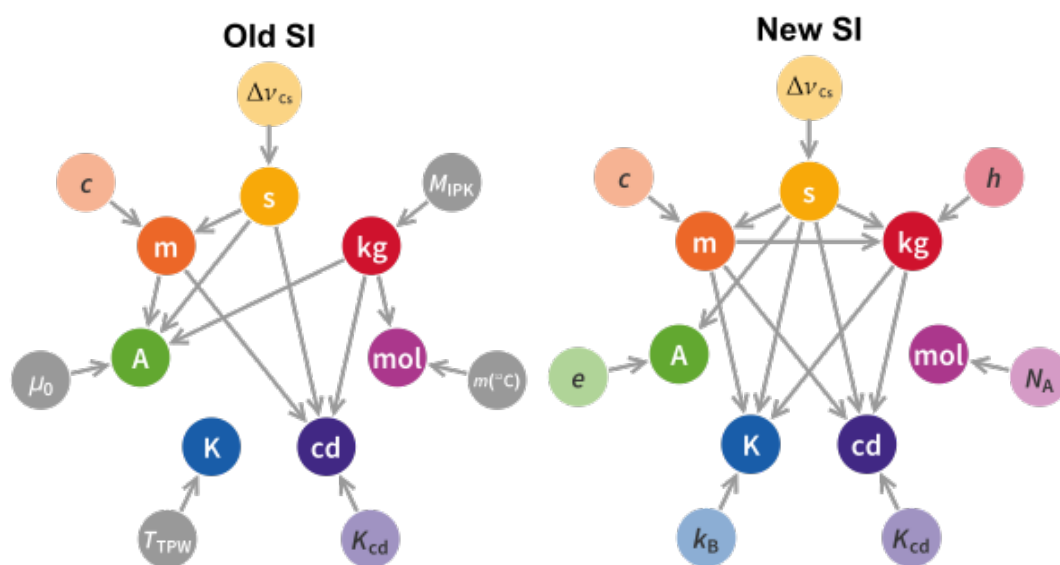
$e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}\text{ C}$ – elementární elektrický náboj

$k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}\text{ J/K}$ – Boltzmannova konstanta

$N_A = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}\text{ mol}^{-1}$ – Avogadrova konstanta

$K_{\text{cd}} = 683\text{ lm/W}$ – světelná účinnost monochromatického záření o frekvenci $540 \cdot 10^{21}\text{ Hz}$

Struktura a vztahy mezi jednotkami SI se v nové definici významně liší od původního stavu.

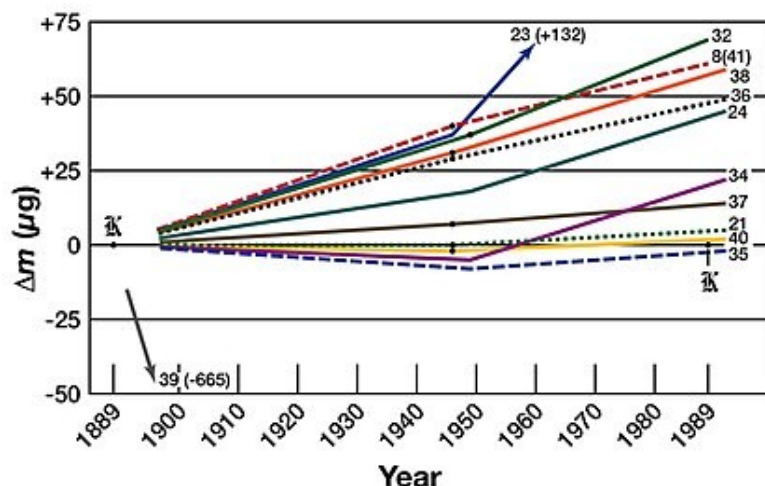


Obr. 1. Původní a nová struktura SI.

Původně byla jednotka hmotnosti určena pouze prototypem mezinárodního kilogramu, nyní je určena Planckovou konstantou ale také metrem a sekundou. Jednotka teploty byla dána pouze hodnotou trojného bodu vody. V nové definici je ztotožňována s energií a závisí na Boltzmannově konstantě a také na metru, sekundě a kilogramu. Všechny jednotky soustavy SI závisí nyní systematicky na fixovaných hodnotách fundamentálních konstant. Předpokládá se, že v budoucnu budou jejich hodnoty a příslušné nejistoty stále zpřesňovány. Nemůže však dojít k tak významným změnám, aby to ovlivnilo praktickou metrologii. Nové definice však vyžadují unikátní sofistikované metody určení zejména fundamentálních konstant. V dalším se zmíníme pouze o určování hmotnosti (kilogram), látkového množství (mol) a teploty (kelvin).

Nový způsob určení kilogramu

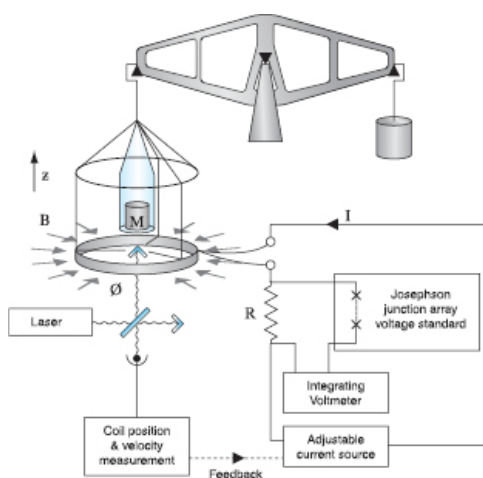
K mezinárodnímu prototypu kilogramu uchovávanému od roku 1889 v přísně kontrolovaných podmínkách v podzemí Pavillon de Breteuil v BIPM bylo pro účely srovnávání s národními etalony vyrobeno 6 oficiálních přesných kopií. Srovnávání jejich hmotností (v obr. 1 č. 8 a 32) a hmotností národních etalonů ukázalo na rozdíly proti původní hodnotě mezinárodního prototypu, které s časem vesměs vzrůstají.



Obr. 2. Srovnání hmotností etalonů kilogramu. [3]

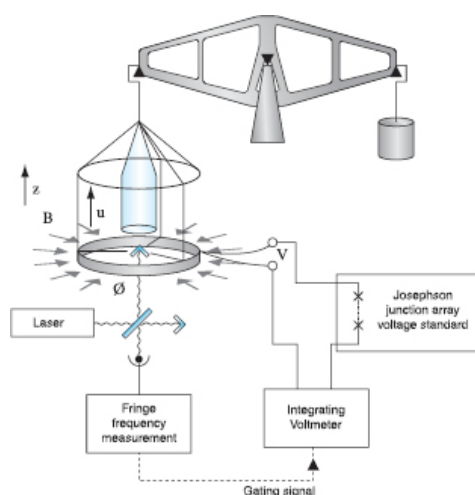
V roce 2014 dosahoval střední rozdíl hmotnosti mezi prototypem, jeho kopiemi a národními etalony střední hodnoty $\approx 35 \mu\text{g}$, tedy střední relativní nejistota odpovídá $\approx 3,5 \cdot 10^{-8}$. Důvod těchto změn není zcela jasný (abrazie při periodickém čištění, povrchová oxidace apod.) Uchovávaný prototyp se tedy zřejmě nekontrolovatelným způsobem v čase mění a nemůže být do budoucna garantem přesné hodnoty hmotnosti kilogramu. [2]

Hledal se tedy způsob, jak jiným způsobem trvale definovat hmotnost kilogramu a svázat ji s hodnotou Planckovy konstanty. Jako vhodné zařízení byly vybrány váhy, které v roce 1975 zkonstruoval Bryan Kibble v National Physical Laboratory (NPL) ve Velké Británii. Zařízení, někdy označované (nesprávně) jako wattové váhy, mělo původně sloužit k měření jednotky proudu. Kibblovy váhy zpravidla pro hmotnost 1 kg jsou dále zdokonalovány v řadě špičkových laboratořích ke zvýšení přesnosti a reprodukovatelnosti jejich měření. Kvůli snížení nákladů a snadnějšímu praktickému rozšíření byly v NPL zkonstruovány i Kibblovy váhy pro hmotnosti 10 g a 1 mg. Náklady na tato zařízení by neměly překročit 1 milion Kč.



Obr. 3. Schéma Kibblových vah ve vyvažovacím módu.

Pozn.: vyvažovací mód: $M \cdot g = B \cdot I \cdot d$ (váha $M \cdot g$ je vyvážena silou působící na cívku s vodičem délky d protékané proudem I v horizontálním magnetickém poli B).



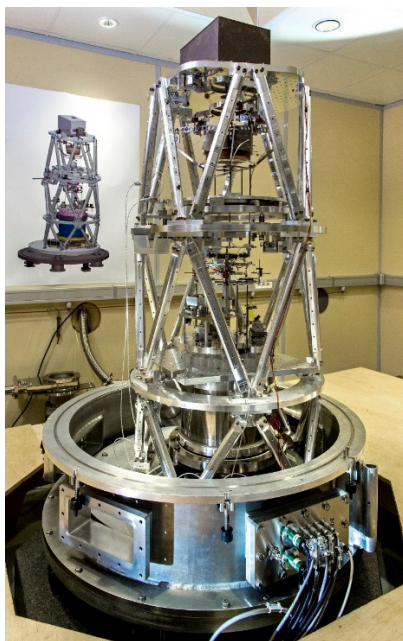
Obr. 4. Schéma Kibblových vah v dynamickém módu. [4]

Pozn.: dynamický mód: $V = B \cdot d \cdot u$ (napětí V vzniká v cívce s vodičem délky d při pohybu cívky rychlostí u v magnetickém poli B).

Z výsledků měření v obou módech dostaneme $V \cdot I = M \cdot g \cdot u$.

Určení hmotnosti M je založeno na užití téže velikosti B horizontální, radiální magnetické indukce v obou módech, tíhové zrychlení g se musí určovat lokálně s vysokou přesností pomocí absolutních gravimetrů, rychlost u se měří pomocí optické interferometrie. Proud I ve vyvažovacím módu se určuje z měření napětí pomocí série Josephsonových kontaktů ($K_J = 2e/h = 483\,597,8484... \cdot 10^9 \text{ Hz/V}$) na rezistoru, jehož hodnota je určena srovnáním s odporem kvantového Hallova jevu (von Klitzingova konstanta $R_K = h/e^2 = 25\,812,80745... \Omega$). Tyto dvě konstanty odvozené z kvantových jevů v supravodičích a nízkodimenzionálních strukturách nepatří mezi fundamentální konstanty fixované v seznamu CODATA, avšak jejich hodnoty se v nových experimentech stále zpřesňují. Zprostředkují vazbu mezi makroskopickou hmotností M a Planckovou konstantou h . K jejich realizaci jsou nezbytná čidla vytvořená pomocí špičkové nanotechnologie, zařízení využívají silné magnetické pole supravodivého solenoidu a chlazení do teplot nižších než je teplota kapalného helia.

Šíření nové definice kilogramu předpokládá vybavení národních metrologických laboratoří Kibblovými vahami. Jejich konstrukce jsou v předních metrologických laboratořích různé (NIST v USA, BIPM ve Francii, NPL ve Velké Británii, NRC v Kanadě a v dalších), pracují vždy ve vakuu, podařilo se dosáhnout vysoké homogenity magnetického pole a potlačení postranních sil působících na cívku. Nejlepší zařízení dosahují přesnosti až $\approx 10^{-7}$, cílem vývoje Kibblových vah je dosáhnout přesnosti o řád lepší. [5]



Obr. 5. Kibblovy váhy v NIST v Sèvres.

Alternativní způsob určení jednotky hmotnosti

Soudobé experimenty interakce záření laseru s oblakem atomů ve vysokovakuové komoře, které vedou k Boseho–Einsteinově kondenzaci, umožňují použít alternativní způsob přesného stanovení hmotnosti atomů. V monochromatickém svazku laseru s frekvencí f nese každý foton energii $h \cdot f$ a hybnost $\frac{h \cdot f}{c}$. Foton předá při zachytu svou hybnost atomu a způsobí zpětný ráz atomu s rychlostí $v_r = \frac{h \cdot f}{m \cdot c}$. K měření změny rychlosti atomu se využívá Dopplerova jevu při srovnání frekvence, kterou vysílá excitovaný atom přes zachytem a po zachytu fotonu.

Opakované experimenty s atomy rubidia poskytly přesnost až $1,2 \cdot 10^{-9}$, s užitím atomů cesia je přesnost odhadovaná až na $4 \cdot 10^{-10}$ [6].

Projekt Avogadro

Přechod od hmotnosti atomu k makroskopické hmotnosti umožní znalost přesné hodnoty

Avogadrovy konstanty
$$N_A = \frac{nM}{\rho a^3}, \text{ kde}$$

n je počet atomů v elementární buňce (v křemíku $n = 8$), M je molární hmotnost, ρ je hustota, a je mřížkový parametr. K jejímu zpřesňování byl V roce 2011 vyhlášen mezinárodní projekt Avogadro, jehož cílem bylo zpřesňování hodnoty Avogadrovy konstanty. Do jeho řešení se zapojila řada světových metrologických, technologických a fyzikálních laboratoří. Cílem bylo zhotovení extrémně přesných kilogramových koulí z monoizotopického křemíku ^{28}Si s minimem poruch a příměsí a určit přesně mřížkovou konstantu křemíku a .

Plyn SiF_4 z izotopicky čistého ^{28}Si byl připraven v Central Design Bureau of Machine-Building OJSC v St.Petersbourgu. Z plynu byl v ruském Institute of Chemistry of High-Purity Substances vyroben polykrystalický ingot (obohacený na 99,9985 % ^{28}Si). Vytažení bezporuchového monokrystalu křemíku se uskutečnilo v německém ústavu Leibnitz Institut für Kristallzüchtung. Vybroušení velmi přesné koule bylo svěřeno Australian Centre for Precision Optics. Mřížkový parametr byl s vysokou přesností změřen metodou XRCD pomocí optické interferometrie. Z monokrystalu křemíku ^{28}Si byly vyříznuty tři orientované tenké destičky s rovinou {220}, které byly uloženy paralelně tak, že vnější byly zafixované a vnitřní se posouvala a její posuv byl měřen optickým interferometrem. Pomocí svazku rentgenového záření kolmého na destičky se po průchodu sledoval zákryt atomů. Ze vzdálenosti atomů ve vybraném směru se výpočtem určovala mřížková konstanta. Měření XRCD bylo provedeno v ústavu INRIM v Itálii. Poloměr koule byl v mnoha směrech měřen optickou interferometrií s přesností řádu 1 nm. Molární hmotnost byla určena hmotovou spektroskopií v ústavech PTB v Berlíně a v Braunschweigu a v japonském NMI [7].

Křemíkové koule poslouží jako „závaží“ Kibblových vah a napomohou realizovat jednu z nejdůležitějších činností metrologických institucí – šíření základní fyzikální jednotky hmotnosti.

Jednotka měření teploty

Teplota je intenzivní veličina, nemůže být tedy určována pomocí etalonů. Proto byly počínaje rokem 1927 vytvářeny stupnice sestávající z pevných bodů, kterými jsou teploty tuhnutí, tání nebo trojné body zkapalněných plynů, kapalin a roztavených kovů. Teploty mezi pevnými body byly udržovány doporučenými teploměrnými čidly (odporovými teploměry nebo termočládky). Poslední mezinárodní stupnice ITS-90 vychází z teploty trojného bodu vody $T_{\text{tpw}} = 273,16 \text{ K}$ a pokrývá teploty od 0,65 K do 1234,9 K a je založena na měření tlaku par ^3He a ^4He , plynovém teploměru a od 13,8033 K (trojný bod vodíku) do 1234,9 K (bod tuhnutí stříbra) na měření platinovým odporovým teploměrem. Vyšší teploty jsou určovány pomocí Planckova vyzařovacího zákona. Norma ITS-90 udává přesné formule pro teplotní závislost tlaku par v parním a plynovém teploměru i odporu platinového rezistoru.

Použití trojného bodu vody bylo podrobena kritice jako posledního artefaktu soustavy SI, rovněž s ohledem na nejistotu v přesném izotopickém složení použité vody. Původní složení označované jako (Vienna Mean Standard Ocean Water):

$$\frac{^2\text{H}}{^1\text{H}} = 155,76 \pm 0,1 \text{ ppm}$$

$$\frac{^3\text{H}}{^1\text{H}} = 1,85 \pm 0,36 \cdot 10^{-11} \text{ ppm}$$

$$\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} = 2005,20 \pm 0,43 \text{ ppm}$$

$$\frac{^{17}\text{O}}{^{16}\text{O}} = 379,9 \pm 1,6 \text{ ppm}$$

Izotopické složení vody se nedaří přesně reprodukovat (hodnotu teploty ovlivňuje zejména obsah deuteria). Při použití běžné povrchové vody je odchylka teploty odhadována na $50 \pm 35 \text{ } \mu\text{K}$, tj. relativní nejistotu $(1,8 \pm 1,3) \cdot 10^{-7}$, v praxi se lze trojnému bodu přiblížit po dostatečném vyzrání ledu s relativní nejistotou $\approx 4 \cdot 10^{-7}$ (0,1 mK).

V rámci redefinice bylo rozhodnuto, že se v budoucnu veličina teplota sváže s kvantem mikroskopické tepelné energie – kT s použitím fixované hodnoty Boltzmannovy konstanty, jejíž přesnost bude různými fyzikálními metodami zvyšována.

Projekt Boltzmann

Základem měření teploty a tedy kvanta kT je stanovení hodnoty Boltzmannovy konstanty s vysokou přesností (fixovaná hodnota ($k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ J/K) je dána s relativní nejistotou $\approx 7 \cdot 10^{-7}$). Měla by být určena pomocí měření alespoň dvěma nezávislými metodami. V současnosti se vyvíjejí dvě metody – akustická plynová termometrie a termometrie permitivity plynu, studují se i možnosti šumové termometrie.

Akustický plynový termometr (AGT) je založen na měření rychlosti šíření zvuku v plynech (v heliu nebo v argonu) v závislosti na teplotě T a tlaku p . Pro ideální plyn s molární hmotností M je rychlost zvuku u dána Newtonovým–Laplaceovým vztahem

$$u = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Kde $R = kN_A$ je plynová konstanta a $\gamma = c_p/c_v$ je Poissonova konstanta. Boltzmannova konstanta se pak získá ze vztahu

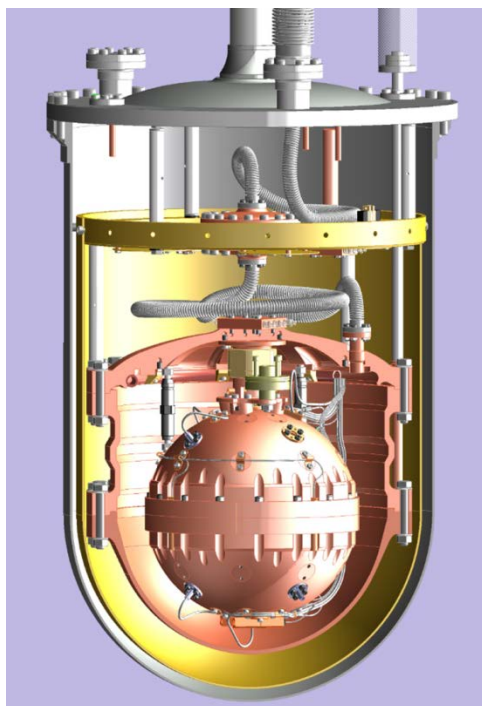
$$k = \frac{Mu^2}{\gamma N_A T}$$

V reálném experimentu se rychlost u určuje z akustické rezonance v plynu extrapolované na nulový tlak. Používají se rezonátory kulové nebo válcové, přesnost jejich vnitřních rozměrů se dosahuje opracováním laserovým paprskem a kontroluje se pomocí optické interferometrie. Relativní nejistota Boltzmannovy konstanty je v současnosti touto metodou dosahována na úrovni $4 \cdot 10^{-7}$.

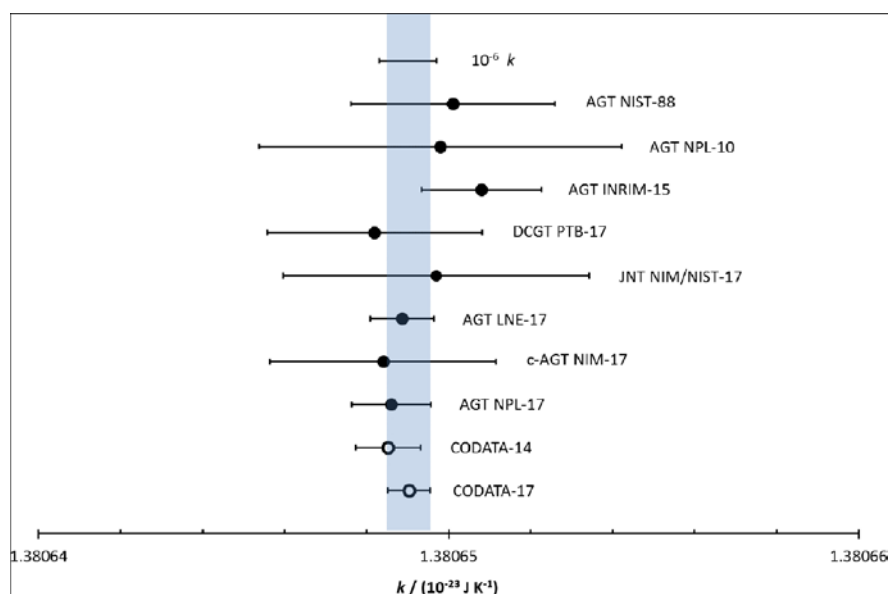
Termometrie permitivity plynu užívá stavovou rovnici ideálního plynu, z níž plyne, že permitivita plynu ε je funkcí tlaku p a teploty T

$$\varepsilon = 1 + 4\pi\alpha \frac{p}{kT}$$

(α je polarizovatelnost molekul plynu). Přesnost určení Boltzmannovy konstanty touto metodou je obdobná jako při měření rychlosti zvuku [8].



Obr. 6. Rezonátor BCU-4 používaný v LNE – CNAM ve Francii ($V = 3 \text{ l}$, $r = 89 \text{ mm}$, Cu, He).



Obr. 7. Dosahované hodnoty a nejistoty Boltzmannovy konstanty. [8]

Pokud nebude dosažena předepsaná přesnost hodnoty Boltzmannovy konstanty ($\approx 10^{-8}$), doporučuje BIPM užívat dosavadní Mezinárodní teplotní stupnici ITS-90 založenou na hodnotě trojného bodu vody a na soustavě pevných bodů.

Teplota je ve své podstatě statistická veličina, přesnost jejího určení je vždy omezená. Obávám se, že například v nízkoteplotní fyzice nahrazení teploty $T = 1,0 \text{ K}$ (v nejlepším případě měřitelné s přesností na 1 mK) energetickým údajem $E_T = kT = 13,8065... \text{ yJ}$ (y je označení pro předponu yotta, tedy 10^{-24}), byť dané s přesností na 10^{-8} , nebude mít praktický význam.

Závěr

Vyhlášením redefinice soustavy SI v roce 2019 bylo završeno mnohaleté úsilí metrologů a fyziků ve světových laboratořích o uvedení soustavy fyzikálních jednotek SI do souladu s moderní fyzikou. Představuje však zároveň řadu výzev ke zpřesnění hodnot fundamentálních konstant a k vývoji metod šíření a uplatnění definic jednotek SI v široké mezinárodní praxi.

Literatura

- [1] Klenovský P., Pražák D.: *Nové definice základních jednotek soustavy SI*. PMFA 64 (2019), p. 129-138; Quinn T. J.: Base units of the Système International d'Unités, their accuracy, dissemination and international traceability. Metrologia 31 (1995), 515 - 527
- [2] Obdržálek J.: *Kilogram I bez Sèvres*. PFMA 64 (2019), p. 139 - 144
- [3] Stock M. et al: *The revision of the SI – the results of three decades of progress in metrology*. Metrologia 56 (2019), 022001 (14 pp);
- [4] Robinson I. A. et al: *The watt or Kibble balance: a technique for implementing the SI definition of the unit of mass*. Metrologia 53 (2016), A46 – A74
- [5] <https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram/kilogram-kibble-balance>
- [6] Schlamminger S.: *Redefining kilogram and other SI units*. In: Physics World Discovery, IOP Science (2020), 1–25
- [7] Bartl G. et al: *A new ^{28}Si single crystal counting atoms for the new kilogram definition*. Metrologia 54 (2017), 693–715
- [8] Fisher J.: *The Boltzmann project*. Metrologia 55 (2018), R1–R20

Elektronické Doplnky k učebnicím – zkušenosti s jejich využitím při výuce fyziky na ZŠ

Jiří Tesař, Veronika Burdová

Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

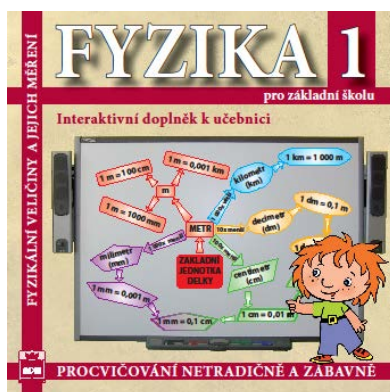
Abstrakt

Současná nákazová situace ukázala další možnosti využití elektronických Doplnků k učebnicím fyziky ve výuce. Cílem tohoto produktu je primárně prohloubení pochopení základních fyzikálních pojmů a zvýšení zájmu žáků o fyziku. Ukazuje se, že Doplněk lze využít i pro distanční formu vzdělávání. Příspěvek se dále zabývá závěry výzkumu zaměřeného na analýzu činnosti žáků při práci s tímto softwarem pomocí oční kamery. Příspěvek také podává stručné hodnocení tohoto software žáky základní školy, na které byl Doplněk testován a následně ukazuje možnosti jeho využití z pohledu učitele v klasické i distanční výuce.

Úvod

Současná nákazová situace ukázala další možnosti ICT prostředků ve školní výuce. Zkušenost s jejich využitím ukazuje, že ještě více se ke slovu dostanou „malá zařízení“, tj. notebooky, tablety, resp. chytré telefony. Základní podmínkou je a bude internetové připojení.

Nabízí se řešení, jak propojit individuální práci s IT a klasickou výukou, především ve fázi upevňování nových poznatků a získávání zpětné vazby o efektivitě výuky jak pro vyučujícího, tak i pro samotné žáky. Tuto ideu se snaží naplnit *Fyzika 1 – Interaktivní doplněk k výuce*, kterou vydalo již v roce 2018 nakladatelství SPN, a.s. [1].



Obr. 1. Titulní strana.

Záměrem autorů bylo vytvořit výukový software, který bude univerzální, tj. bude pracovat na všech běžných platformách (PC, tablet, chytrý telefon,...), bude také použitelný pro hromadnou výuku, včetně práce s interaktivní tabulí a v neposlední řadě ho budou moci také využívat i samotní žáci v domácí přípravě. Tento záměr se nepodařilo naplnit a uvedený Doplněk je distribuován pouze na DVD, tj. bude využíván především při hromadné výuce a vyplní mezeru ve smysluplném využití interaktivních tabulí.

Obsahová náplň a struktura uvedeného Doplnku a dalších připravovaných dílů vychází z didaktického zpracování ucelené řady učebnic [2]. Ukažme si některé „obrazovky“ a „rozcestníky“, ze kterých je zřejmé, jak je tento učební materiál koncipován.



Obr. 2. Úvodní obrazovka.



Obr. 3. Rozcestník – délka.

Z rozcestníku na obrázku č. 3 je zřejmé, že uvedený výukový materiál obsahuje kromě klasických položek, jako jsou převody, testy, osobnosti i netradiční, převážně motivační položky, jedná se především o pojmové mapy, videa, hlavolamy, křížovky, skládačky, apod. Pro doplňování požadovaných údajů lze podle použitého zařízení, resp. podle potřeby využít virtuální klávesnici nebo přepnout na standardní klávesnici.

Ověřování interaktivního Doplnku ve výuce

Před distribucí tohoto software proběhlo samozřejmě alespoň v omezené míře jeho ověření žáky ze ZŠ v Dukelské ulici ve Strakonici. Svůj pohled na tento produkt pak vyjádřilo 38 žáků dvou 6. tříd v jednoduchém dotazníku, který sestavili autoři elektronických Doplnků. Cílem tohoto dotazníku nebylo ověřit efektivitu výuky s tímto softwarem, ale zjistit, jak žáci hodnotí tento software jako výukový prostředek a jak je zaujal z hlediska jejich motivace. Podrobné výsledky této případové studie byly prezentovány na Veletrhu nápadů učitelů fyziky v roce 2018 [4]. Z vyhodnocení dotazníku lze vyvodit následující závěry:

- Zvolená forma ovládání je žáky velmi pozitivně přijímána (neodvádí jejich pozornost od samotného fyzikálního obsahu materiálu).
- Fungování software na moderních technologiích (tablety, chytré telefony), není úplně optimální – problémem je kvalita připojení a kapacita sítě.

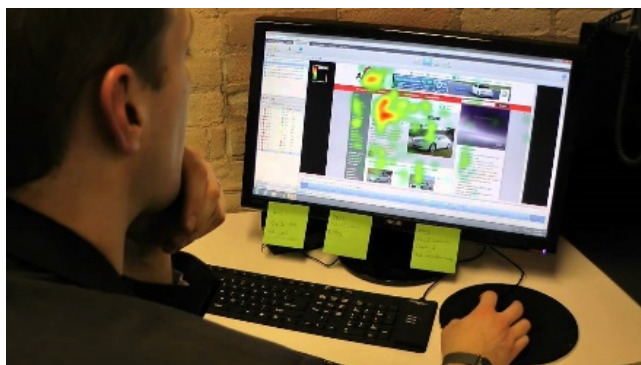
Další otázky zaměřené na jednotlivé položky rozcestníku ukazují, že jejich hodnocení je v rozmezí cca 1,5 až 2,1. Zvážíme-li, že žáci hodnotili jako ve škole 1 = výborně, 5 = nedostatečně, pak celkové hodnocení vyznívá pozitivně. Při bližším pohledu lze říci, že lepší hodnocení získaly atraktivní položky jako je *Pexeso* (1,42), *Skládačky* (1,45) a *Křížovky* (1,47). Zajímavé je, že poměrně vysoké hodnocení získalo i upořádání převodů (1,53), neboť ty jsou mezi žáky všeobecně neoblíbené.

S určitým zklamáním autoři přijali horší hodnocení *Pojmových map* a položky *Co je na obrázku?* (2,18). Obě tyto položky představují moderní didaktický trend vedoucí k porozumění a následné aplikaci teoretického poznatku do praxe. Horší hodnocení *Pojmových map* může být způsobeno tím, že žáci nebyli na tuto metodu zvyklí. Hodnocení položky *Co je na obrázku?* může souviset s tou skutečností, že software hodnotili žáci, kteří

absolvují výuku ve třídě s rozšířenou výukou matematiky a přírodních věd. Tato položka zřejmě nenaplnuje jejich očekávání, tj. je pro ně velmi jednoduchá a proto volili horší hodnocení.

Analýza Doplnku pomocí oční kamery

K hodnocení Doplnků jsme rovněž využili „eye tracking“ [3]. Oční kamera snímá pohyby očí na obrazovce. S její pomocí vidíme u žáků délku očních fixací při práci s jednotlivými úlohami. Tento záznam můžeme následně se žáky projít. Získáme tak mnohem hlubší a objektivnější analýzu práce žáků s daným výukovým materiálem. U výše uvedených Doplnků jsme hledali odpovědi na následující otázky. Jak se v nich žáci orientují? Používají nápovědu? Kam se při naběhnutí softwaru dívají? Co je nejvíce zaujme? Sledují u testu také časomíru?



Obr. 4. Princip sledování oční kamerou.

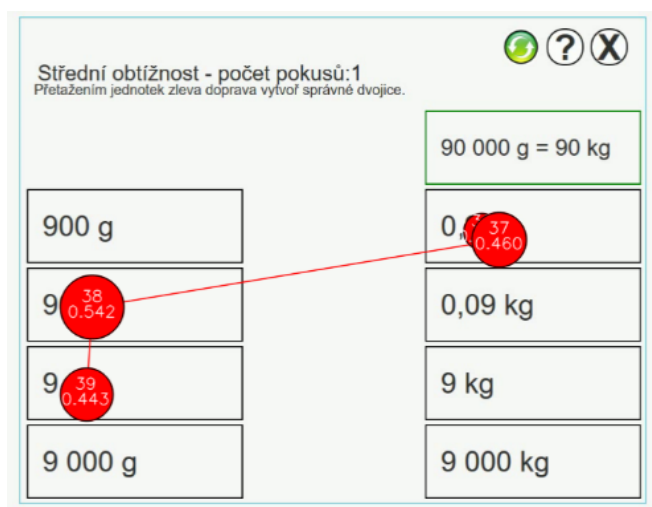
Z výsledků výzkumu a z rozhovorů se 60 žáky jsme zjistili, že velmi atraktivní jsou pro žáky úvodní obrazovky. Jejich námět je volen tak, aby při jejich prohlížení přemýšleli nad propojením daných obrázků s fyzikou. Velmi zajímavá je i různá strategie při prohlížení pojmových map. Většina žáků při jejich prohlížení používá typické prohlížení při čtení stránky, tj. od levého horního rohu k pravému dolnímu rohu. Při rozhovoru po prvním prohlížení pojmové mapy jich přes 70 % uvedlo, že tento výukový prostředek hodnotí jako velmi nepřínosný a zbytečný. Během tohoto rozhovoru jsme jim ukázali a vysvětlili, jak správně pracovat s pojmovou mapou. Poté si prohlíželi novou pojmovou mapu a zkusili pak vyplnit i její slepou variantu. 80 % z nich změnilo na danou výukovou metodu názor a ze záznamu pohybu očí je vidět první významná fixace na centrálním pojmu, tj. došlo ke změně strategie prohlížení pojmové mapy. Dalším zajímavým poznatkem je, že z analýzy záznamu vyplývá, že žákům pro zapamatování pojmů stačí délka fixace kolem 20 ms, což je několikanásobně méně než dospělému člověku. *Žáci by myšlenkové mapy rádi doplnili obrázky, které by vystihovaly daný pojem, a jednotlivé větve by barevně více zvýraznili a odlišili.*

Problém měli žáci s úlohami typu *Co je na obrázku*. Toto zjištění je paradoxní, protože z rozhovorů vyplývá, že fyziku chtějí mít propojenou s reálným každodenním životem a zařazené obrázky právě toto naplňují (např. různé provedení vah). Na rozdíl od dotazníkového šetření v roce 2018 se jim ale tyto úlohy líbily, i když některé obrázky nedokázali správně popsat. Použití oční kamery u úloh s měřicími přístroji je přínosné pro učitele, protože ukazuje chyby při čtení stupnice a při určení nejmenšího dílku, tj. určení přesnosti měření.



Obr. 5. Co je na obrázku? – fixace.

Nečekaným zjištěním bylo hodnocení *Převodů*. Získaly kladné hodnocení v dotazníku i rozhovorech zaměřených na Doplnky. Velmi zajímavé je sledování strategie řešení těchto úloh. 90 % žáků měla dlouhé fixace na začátku a poté začala u převodů, které pro ně byly jednoduché, a dále postupovala vylučovací metodou. *Jen necelých 10 % žáků využilo metodu pokus a omyl*, kdy bezmyšlenkovitě přetahovali dané převody (svědčí o tom chybějící delší fixace na začátku a velmi krátké fixace během plnění úkolu).



Obr. 6. Strategie při řešení převodů.

Největší potíže, které odhalila oční kamera, měli žáci s křížovkami, kdy u mnoha pojmů neznali odpovědi a z fixací je vidět ztráta zájmu o danou křížovku a ukončení úlohy. Pokud znali odpovědi na první pojmy, tak se pokoušeli zjistit tajemku a následně doplňovali odpovědi na neznámé pojmy.

Výzkum pomocí oční kamery přináší analýzu strategie řešení zadaných úloh, vyučujícímu odhaluje i chyby, které si žák ani on často vůbec uvědomuje. Je zřejmé, že při tvorbě dalších dílů Doplnků budou autoři akceptovat poznatky získané při jejich ověřování pomocí oční kamery.

Dlouhodobé zařazení Doplnku do výuky – Longitudinální pedagogická sonda

Tato sonda proběhla na základní škole ve Strýčicích, kde 24 žáků šestého ročníků používalo pravidelně při výuce fyziky tento Doplněk. Doplněk byl používán na interaktivní tabuli a na počítačích. Na dané škole se žáci učí podle učebnic SPN a Doplněk výborně kopíroval jejich téměř celou celoroční výuku. Byl používán na začátku tematického celku jako motivační prvek výuky, v jejím průběhu k procvičování a při laboratorních pracích, jejichž náměty jsou obsaženy v položce *Slovní a obrázkové úlohy*.

Pracovní postup laboratorních prací měli žáci k dispozici v elektronické i papírové podobě. Jejich zpracování žáky velmi zaujalo a nad rámec výuky řešili analogické úlohy. Na přírodovědném semináři si žáci často volili práci s Doplnkem, i když měli možnost jiných aktivit. Při této volbě si vyzkoušeli a procvičili mnoho úloh, které následně využili při běžné výuce. Také v domácí přípravě žáci pracovali s volně dostupnou částí Doplnků, zaměřenou na měření délky [5]. Právě zvládnutí učiva měření délky bylo následně ověřeno testy z Doplnků a výsledky byly nad očekávání lepší než při předchozí klasické výuce.

Ze zkušeností vyučující i žáků vyplývá, že *nejvíce zaujala laboratorní úloha, při které si vytvářeli vlastní závažíčka*. Ta vyrobili z víček od PET lahví, do kterých vložili broky a zakapávali voskem, po ztuhnutí pak lihovým fixem psali hodnotu daného závažíčka. Úloha zaměřená na určení obsahu dlaždic a „vyprojektování koupelny“ skládala pozitivní ohlas i mezi rodiči. Žáci velmi často využívali instruktážní video, které je součástí Doplnků. Tato laboratorní práce se stala zadáním pro domácí projekt, ve kterém si zkusili vydláždit koupelnu podle svého vlastního návrhu a určit cenu při nákupu dlaždic.

S kladným ohlasem se rovněž setkala laboratorní úloha z Doplnků, která byla zaměřena na určení objemu několika hrnečků.

Při dlouhodobém užívání Doplnků na rozdíl od šetření z roku 2018 získaly velmi pozitivní ohlas od žáků motivační úlohy – *Pexeso*, *Skládačky*, *Křížovky* a úlohy *Co je na obrázku*. Zajímavé zjištění přináší, podobně jako v roce 2018, kladné hodnocení převodů, které jsou většinou hodnoceny ze strany žáků záporně. Zadání pomocí přetahování odpovídajících položek žáky bavilo a přispělo k tvůrčímu přístupu od jednoduchého převodu až ke složitým úlohám. V procvičovacích příkladech na převody měli žáci následně i menší množství chyb než při klasickém vyplňování pracovních listů.

Pro žáky jsou velmi přínosné úlohy rozvíjející jejich fyzikální myšlení (Co je na obrázku, videa, praktické úlohy apod.). Tyto úlohy navíc ukazují žákům propojení fyziky s jejich běžným každodenním životem. K těmto úlohám se v průběhu hodin obvykle rozvinula široká diskuze, která přispěla ještě více k pochopení dané problematiky.

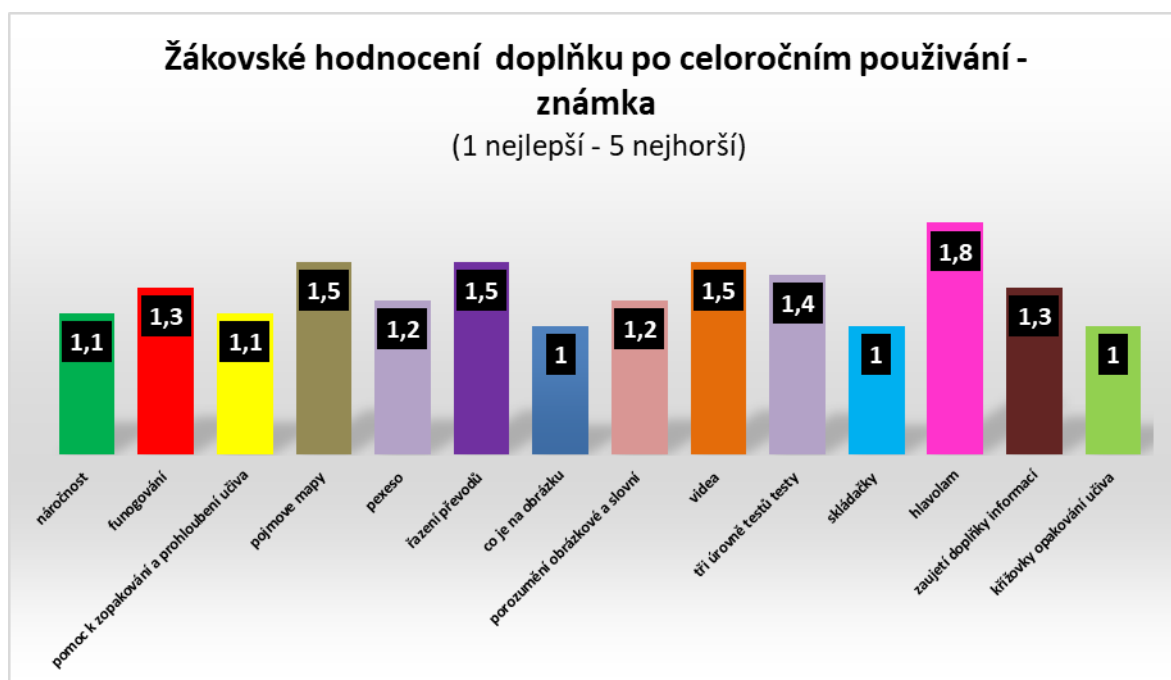
Naopak žáky moc nebavila položka *Osobnosti*, této bublině nevěnovali skoro žádnou pozornost. Bublina hlavolamy upoutala nejvíce nadané žáky, kteří dokázali u některých úloh trávit i hodně času, než daný hlavolam vyřešili. Kladně hodnotili podkladový obrázek, který jim pomáhal při posouvání jednotlivých políček.

S velkým očekáváním jsme se zaměřili na položku pojmové mapy, která v dotazníku na ZŠ Strakonice nebyla hodnocena příliš kladně. Žáci se s myšlenkovými mapami před používáním Doplnků setkali minimálně a jejich první hodnocení bylo záporné. Následně

byla žákům práce s myšlenkovými mapami vysvětlena při hodinách informatiky, ve kterých si zkusili vytvořit svou vlastní myšlenkovou mapu. Po těchto hodinách se pohled žáků na tento výukový prostředek rapidně zlepšil a *myšlenkové mapy chtěli místo poznámek do sešitu*. Argumentovali, že se jim podle nich dobře učí na testy.

Vyhodnocení žákovských dotazníků po dlouhodobém používání Doplnků ve školním roce 2019/20

Žákovské dotazníky byly zadány 16 žákům 6. ročníku ze ZŠ Strýčice na konci školního roku 2019/20. Dotazník byl vzhledem k objektivitě srovnání s výsledky na ZŠ Strakonice koncipován obdobně, viz [4]. Všichni žáci vyplnili všechny položky. Pro jednoduchost byla opět zvolena metoda školního známkování 1 – kladná odpověď, 5 – záporná odpověď. Výsledky hodnocení jednotlivých bublin jsou uvedeny v grafu č. 1.



Graf 1. Žákovské hodnocení jednotlivých položek Doplnků¹.

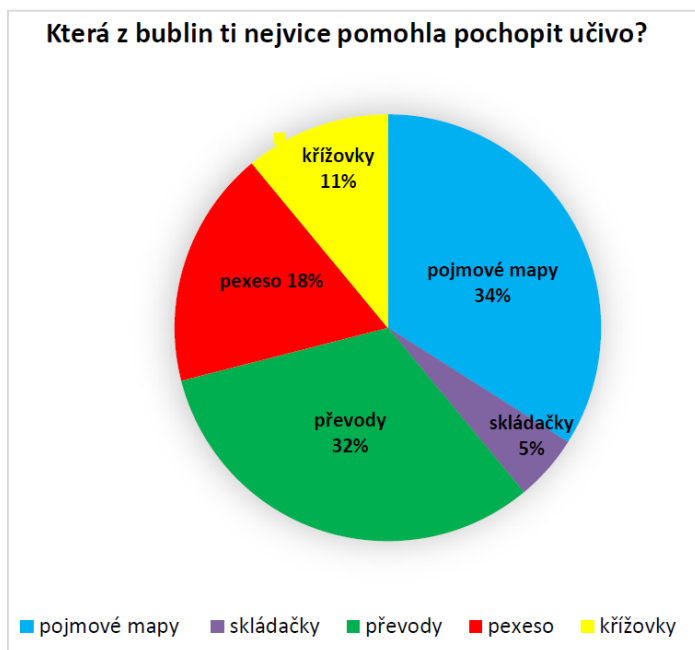
Z tohoto grafu je patrné, že výukový software jako celek obstál velmi dobře. Nejhorší hodnocení 1,8 je u hlavolamu, což asi nepřekvapuje vzhledem k jejich obsahové i formální náročnosti. I tak je toto hodnocení o 0,2 lepší než hodnocení v roce 2018. Celkově lze říci, že letošní hodnocení je cca o 0,5 lepší než v roce 2018. Výrazný rozdíl (0,8) je v hodnocení položky „Co je na obrázku?“. Letošní hodnocení 1,0 ukazuje, že při celoročním používání ve výuce a v „normální třídě“ je tato položka přijímána velmi pozitivně, čímž naplňuje záměr autorů, ukázat žákům sepětí fyziky s běžným životem.

Také bublina *Pojmové mapy* získala o téměř 0,7 lepší hodnocení. K této skutečnosti zřejmě přispěla dlouhodobá práce s tímto výukovým prostředkem, která způsobila, že žáci objevili jeho skrytý přínos pro pochopení souvislostí mezi pojmy a zároveň ocenili jeho přehlednost a názornost. Zajímavé je, že žáci uvedené pojmové mapy používali jako zápis

¹ Můžeme srovnat s [4].

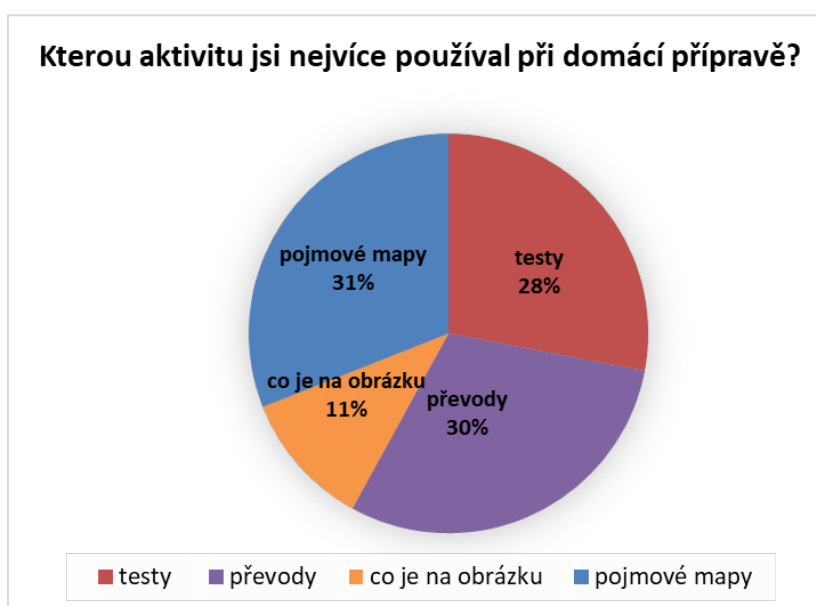
do sešitu. Dokonce je doplňovali svými obrázky, což dokazuje jejich pozitivní motivaci vytvořenou touto částí Doplnků.

Také vyhodnocení otázky zaměřené na pochopení učiva (Graf 2.) přináší zajímavé poznatky, a sice jak už bylo uvedeno výše, žáci pozitivně hodnotí pojmové mapy (34 %) a také převody (32 %). Metoda přiřazování správných hodnot a možnost následné opravy chybné odpovědi zřejmě přispěla ke změně názoru na jedno z nejneoblíbenějších témat učiva fyziky na ZŠ.



Graf 2. Žákovské hodnocení Doplnků – pochopení učiva.

Vzhledem k tomu, že žáci si mohli Doplnky vypůjčit a používat je k domácí přípravě, je důležité se zmínit o tom, jak žáci hodnotí uvedené Doplnky jako prostředek pro domácí přípravu – viz graf 3.



Graf 3. Žákovské hodnocení Doplnků – domácí příprava.

Tento graf ukazuje, že žáci pragmaticky využívali Doplnky k pochopení a naučení učiva, které je následně ve škole klasifikováno. Testové otázky a převody jsou téměř vždy zařazeny do zkoušení nebo testů, pojmové mapy, jak už bylo uvedeno výše, sloužily jako prostředek vytvoření logických souvislostí a přispěly k pochopení probíraného tématu. Zajímavé je, že při domácí přípravě žáci minimálně používali křížovky a další „relaxační“ položky².

Doplněk při on-line výuce sociálně znevýhodněných žáků

V rámci pomoci sociálně znevýhodněným rodinám a žákům byla nabídnuta pomoc s distanční výukou několika romským žákům. Této výuky se zúčastnilo 15 žáků. Tři žákyně byly ze šestého ročníku a Doplněk pro ně byl velkým přínosem v této obtížné situaci. Žáci byli odkázáni v dost velké míře na práci s učebnicí, ve které pro ně mnohé pasáže byly bez výkladu vyučujícího velmi náročné až nepochopitelné. Doplněk se pro ně v této situaci stal motivačním prvkem výuky, který je vedl k pochopení probíraného učiva a pomáhal jim si osvojit danou látku. Žáci pracovali s Doplněkem odlišně než při klasické výuce. Od vyučující dostali poznámky a zadání úkolů.

Romští žáci prošli poznámky od jejich paní učitelky a dané učivo si upevňovali pomocí Doplnku. Nejdříve pracovali s pojmovou mapou a obrázkovými a slovními úlohami. Porozumění učivu si pak procvičili v testech, převodech a slepých pojmových mapách. Žáci si mohli z Doplnku následně vyzkoušet různé bubliny. Nejvíce si zkoušeli křížovky, pexeso, skládačky a videa. Po zhlédnutí videa s teplotou ledové tříště se solí si zkusili vyrobit svou vlastní mrazicí směs. V této složité situaci, kdy provádění náročnějších experimentů nebylo možné, se stal Doplněk jejich hlavním motivačním prvkem.



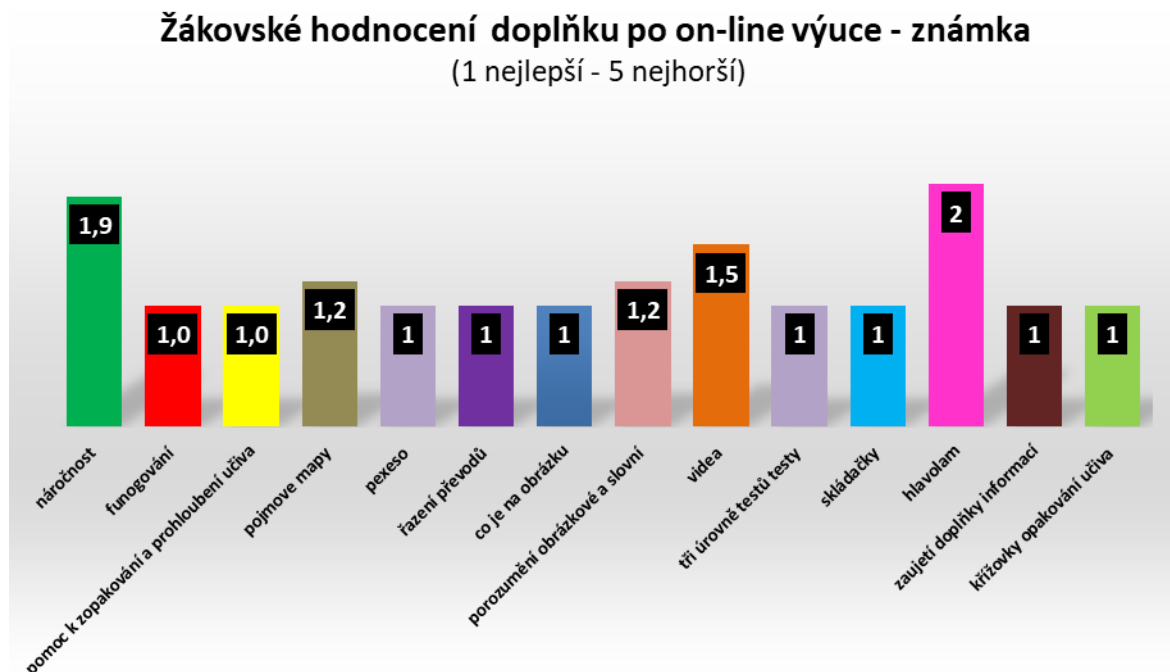
Obr. 7. On-line výuka romských žáků.

Pro srovnání uvádíme hodnocení Doplnků od 15 romských žáků, kteří během epidemie tento výukový software používali. U romských žáků více převládalo použití relaxačních prvků. Doplněk pro ně navíc byl hodně motivujícím prvkem domácí přípravy.

I když Doplněk nedokáže nahradit sociální interakci mezi žákem a učitelem, tak svou pestrostí dokázal motivovat zájem romských žáků o probírané téma. Tento zájem byl mnohem vyšší než u jiných předmětů, u kterých měli pouze internetové poznámky a

² Doplněk našel své uplatnění i během koronavirové pandemie, kdy byly uzavřeny ZŠ na několik měsíců a výuka byla nahrazena distančním vzděláváním. Pro žáky bylo na začátku obtížné nevstoupit do situace jako „prázdniny“, rozhodujícím momentem bylo motivovat je k učení v domácím prostředí. Pro překonání této bariéry jsme využili možnost zapůjčit žákům Doplněk domů a individuálně s ním pracovat.

následné úkoly. K pochopení látky jim nejvíce pomohlo procvičování převodů a slovní a obrázkové úlohy. Z hodnocení žáků dále vyplývá, že měli problém s poznáním měřících přístrojů na obrázku. To může být způsobeno jejich nepodnětným prostředím, v kterém se s danými předměty nesetkávají, a chybějící přerušenou výukou. Zajímavé je, že u těchto žáků došlo k zlepšení jejich známky z fyziky.



Graf 4. Hodnocení jednotlivých položek Doplňků romskými žáky.

Doplňek při práci s dětmi v inkluzi

Doplňek umožňuje i velkou diferenciaci práce ve třídě, která se v dnešní době stává stále více aktuální. V době, kdy se ve třídách objevuje stále více žáků s individuálním vzdělávacím programem od žáků nadaných až po žáky se speciálními vzdělávacími potřebami.

Během letošního školního roku s tímto Doplňkem pracovali 4 žáci s IVP, kteří mají asistenta pedagoga. Při počítání příkladů a dalších složitějších úloh tyto žáci pracovali na počítači s Doplňkem. Většinou dělali relaxační a slovní a obrázkové úlohy. Tyto úlohy jim ukazovaly názorně propojení fyziky s jejich běžným životem. Žákům se úlohy velmi líbily a na jejich základě si pak doma sami například zkoušeli zvážit nebo změřit různé předměty apod. U těchto žáků byly velmi přínosné i relaxační úlohy, při kterých si odpočinuli a byli schopni vnímat i v další části hodiny.

Velmi kladně tento Doplňek hodnotí i 2 asistenti pedagoga, kteří mají často s úlohami z fyziky problémy. S těmito úlohami dokázali žákům pomoci. Jediné s čím měli žáci problém, bylo naučit se ovládat tento software. Při kliknutí na bublinu úloha skáče do nového okna, což pro ně na začátku byl „oříšek.“

Doplňek používala i nadaná žákyně, která má v IVP možnost volby složitějších a náročnějších úloh. Ta si při skončené společné práci četla doplňující informace a dělala hlavolamy. Pro ni byl Doplňek zdrojem informací, díky kterému se při hodině nenudila.



Graf 5. Hodnocení Doplnků žáky s IVP.

Závěr

Cílem tohoto příspěvku bylo ukázat zkušenosti s výukovým software z pohledu konečných uživatelů, tj. žáků a učitelů základní školy. Zkušenosti z dlouhodobého používání a jeho pozitivní ohlas v době nákazy Covid 19 jasně ukazují, že tato forma výuky má perspektivu a bylo by žádoucí vytvořit ucelený soubor odpovídající celé sadě učebnic, z níž vychází. Je zřejmé, že i když nenastane další epidemie, bude o podobný výukový software zájem, neboť se ukázalo, že jeho zařazení přináší zatraktivnění výuky a pozitivní výsledky v poznatkové struktuře a v dovednostech žáků. Nedořešena je zatím jeho distribuce, když uvážíme, že současné notebooky resp. tablety již neobsahují DVD mechaniku. Toto je však otázka k zamyšlení pro nakladatelství SPN.

Literatura

- [1] <http://naseucebnice.cz/domu/853-fyzika-1-pro-zs-fyzikalni-veliciny-a-jejich-mereni-dvd.html>
- [2] Tesař, J., Jáchim, F.: *Fyzika 1 pro základní školu*, SPN Praha 2015, ISBN 978-80-7235-556-3, 72 stran (2. vydání).
- [3] Burdová, V., Kekule, M., Tesař, J. *Využití metody oční kamery ve vzdělávání ve fyzice*. In: KŘÍŽOVÁ, Michaela. *Veletrh nápadů učitelů fyziky*. Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové, 2019, s. 33-37. ISBN 978-80-7435-770-1. Dostupné také z: <http://black-hole.cz/vnuf/sbornik.pdf>
- [4] Tesař, J., Jáchim, F.: *Moderní technologie při výuce fyziky z pohledu žáků*, in: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 23*; Ed.: M. Šerý, České Budějovice 2018, ISBN: 978-80-7394-719-4
- [5] <http://fyzika.spn.cz/stranky/fyzika/>

Detekce neutronů s MX-10

Vladimír Vícha

Gymnázium, Pardubice, Dašická 1083; ÚTEF ČVUT Praha

Abstrakt

Částicová kamera MX-10 slouží již na řadě škol a institucí včetně Elixíru do škol. V provedení, jak ji znáte, se používá k detekci především nabitých částic a také fotonů. Po doplnění konvertorem může sloužit také k detekci neutronů. Článek se zabývá právě experimenty s neutrony, které mají přímý vztah např. k řízení jaderných reaktorů.

Detekce nabitých a nenabitých částic

Pixelový detektor MX-10 se používá ve školách, v centrech Elixíru do škol a dalších institucích především k demonstraci radioaktivity slabých zdrojů obsažených v sadě MX-10 Edukit – uranové sklo, wolfram-thoriová elektroda a americium. Ukazujeme velké kulaté stopy způsobené dopadem částic alfa, zakřivené stopy po dopadu částic beta a také gama a malé stopy způsobené fotony (gama i RTG). Z kosmického záření lze zachytit přímé stopy způsobené miony. Částice alfa, beta a miony jsou nabitě a přímo ionizují atomy křemíku obsažené v 300 μm tlustém senzoru. Fotony nemají náboj a po interakci s elektronem (Comptonův jev a fotoefekt) obsaženým v senzoru mu předají energii a elektron pak ionizuje křemík. To je nepřímá ionizace. Položme si otázku, zda by bylo možné detekovat pomocí MX-10 také neutrony, které nemají přímé ionizační účinky a neinteragují ani s elektrony.

Jak interagují neutrony

V roce 1931 bylo známo, že v jádře jsou kladně nabitě protony, ale o neutronech se ještě nevědělo. Bothe a Becker v tom roce ostřelovali částicemi alfa beryllium a zaznamenali záření, o kterém se domnívali, že jde o fotony. Nazvali ho berylliové záření. Hned v několika laboratořích se začalo toto záření studovat. Podstatu záření vysvětlil v roce 1932 Chadwick, který ve svém experimentu dal do cesty berylliovému záření parafín a v detektoru za parafínem zaznamenal nabitě protony. Usoudil, že berylliové záření je tvořeno neutrálními částicemi (neutrony), které mají přibližně stejnou hmotnost jako protony (jádra vodíku obsažená v parafínu). Rychlé neutrony narážely na protony a vyrážely je ven z parafínu. Chadwick dostal v roce 1935 za objev neutronu Nobelovu cenu.

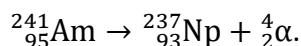
Ve školách můžeme tento proces demonstrovat jako srážku pružných koulí pomocí rázostroje (Newtonovy houpačky), viz obr. 1. Pokud jsou koule stejně těžké, přilétající koule se zastaví a nehybná koule se při dokonale pružné srážce dá do pohybu stejnou rychlostí, jako měla přilétající koule. Odražená koule tak představuje urychlený proton schopný ionizace. Pokud by lehká koule narazila na podstatně těžší kouli (těžké atomové jádro), získala by těžká koule jen malou rychlost. Takto pomalé jádro není schopné ionizace.



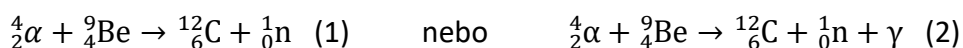
Obr. 1. Model srážky neutronu s protonem demonstrováný na rázostroji. Přilétající koule se zastaví a nehybná odletí téměř stejnou rychlostí.

Jak získat volné neutrony

Dnes se jako silné zdroje neutronů používají především jaderné reaktory. Neutrony si ale můžeme připravit i méně náročným způsobem, který používali již ve třicátých letech minulého století. Interakcí částic alfa s beryliem. Dále budu popisovat zdroj nazývaný AmBe. V kovovém válečku o rozměrech několika centimetrů je slisován oxid americia $^{241}_{95}\text{Am}$ s kovovým beryliem. Americium se rozpadá rozpadem alfa



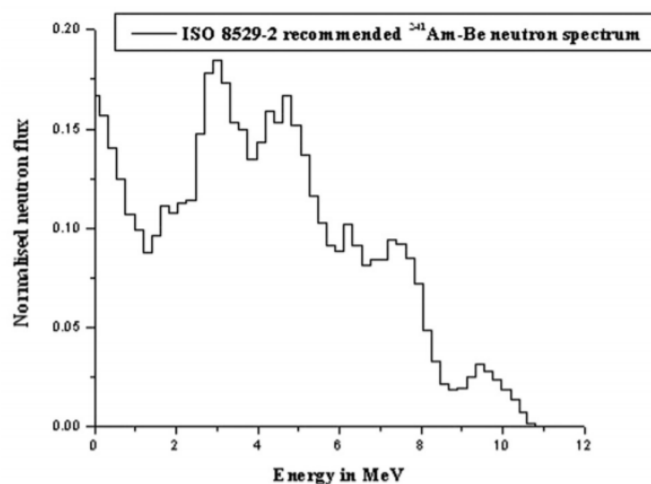
Emitované částice alfa mají energii 5,5 MeV a jsou doprovázeny fotony o energii 60 keV (z jádra) a fotony charakteristického RTG záření s energií okolo 15 keV (z elektronového obalu) [1]. Pokud částice alfa vnikne do jádra beryllia, může dojít k jaderným reakcím, při nichž se uvolní rychlý neutron



Podle rovnice (1) vzniká jádro uhlíku v základním stavu a uvolněný neutron může mít energii až 11,1 MeV. Podle rovnice (2) vzniká jádro uhlíku v excitovaném stavu a po vyzáření fotonu o energii 4,4 MeV přechází do základního stavu. Emitovaný neutron může mít maximální energii 6,4 MeV. V obou případech vznikají neutrony, které patří do kategorie rychlé neutrony.

Protože jádra atomů jsou velmi malá vzhledem k jejich vzájemným vzdálenostem, dochází k zásahu jádra částicí alfa s malou pravděpodobností. K zásahu jádra ve zdroji AmBe a vygenerování jednoho neutronu je třeba řádově 10 000 rozpadů alfa. Pro získání aktivity 10^6 neutronů za sekundu musí tak mít americiový zdroj aktivitu 10^{10} Bq. Vedle silného neutronového záření vyzařuje takový zdroj i silnou radioaktivitu gama, která je také nebezpečná.

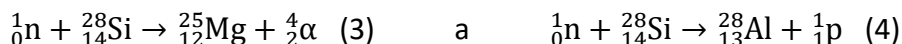
Měření popisovaná v tomto článku byla prováděna se zdrojem AmBe s aktivitou 1 Ci (curie), což je $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq. Spektrum energie neutronů vidíme na obr. 2.



Obr. 2. Spektrum energie neutronů generovaných ve zdroji AmBe [2].

Pokus 1: Detekce rychlých neutronů křemíkovým senzorem MX-10

Neutrony generované zdrojem AmBe necháme dopadat na křemíkové okénko MX-10. Mohou být detekovány? Jak jsme zmínili výše, neutrony samotné detekovat nelze. Ale když vniknou do jádra křemíku, mohou vyvolat jaderné reakce, které vyprodukují nabitě, tedy přímo ionizující částice. Takové reakce jsou známy



Pro detektor mohou mít ionizující účinky jádra Mg a Al, částice alfa i protony. O kinetické energii produktů vypovídá veličina Q – energie reakce. Ta je definována jako součet klidových energií (E_{0i}) srážejících se částic (jader) před reakcí mínus součet klidových energií (E_{0f}) částic (jader) po reakci. Protože se při každé reakci zachovává celková energie, tj. součet kinetické E_k a klidové energie E_0 , platí

$$E_{ki} + E_{0i} = E_{kf} + E_{0f}$$

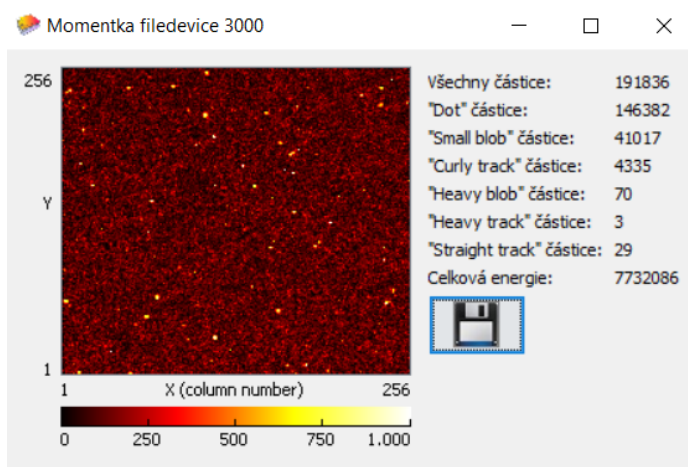
a můžeme energii reakce vyjádřit

$$Q = E_{0i} - E_{0f} = E_{kf} - E_{ki}.$$

Vidíme, že Q současně vyjadřuje i změnu kinetické energie. Pro reakci (3) je $Q = -2,65$ MeV a pro reakci (4) je $Q = -3,86$ MeV. Obě hodnoty jsou záporné, což znamená, že k reakcím může docházet jen tehdy, když částice (jádra) vstupující do reakce budou mít větší energii než je tzv. prahová energie. Jádra křemíku můžeme považovat za nehybná, proto prahovou energii musí mít neutrony. Pro reakci (3) vychází prahová energie $E_{thr} = 2,75$ MeV a pro reakci (4) $E_{thr} = 4,00$ MeV. Jsou tedy potřebné rychlé neutrony, které ale AmBe poskytuje, protože maximální energie neutronů je 11,1 MeV (obr. 2). Při takové energii neutronů by vznikaly částice alfa s maximální energií až 8,21 MeV a protony s maximální energií 7,22 MeV. Tyto energie, ale i menší, by měl náš detektor zaznamenat.

Provedli jsme experiment, při němž byl AmBe přiblížen do vzdálenosti 12 cm od senzoru MX-10 a bylo naměřeno 2400 snímků s expoziční dobou 0,1 s. Integrální snímek vidíme na obr. 3. Během 4 minut bylo zaznamenáno celkem 191 836 stop, z nichž ale většina odpovídá dopadům fotonů emitovaných z americia a beryllia. Částice alfa z americia

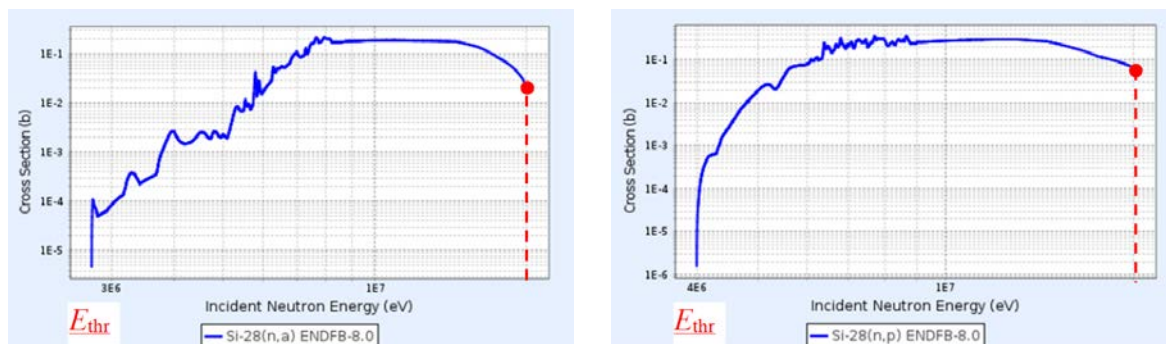
nemohly projít kovovým obalem AmBe a doletět do senzoru, takže 70 stop, které software pixelman vyhodnotil jako „heavy blob“, pochází z jaderných reakcí (3) a (4) probíhajících přímo v křemíkovém senzoru.



Obr. 3. Vizualizace stop způsobených jadernou reakcí rychlých neutronů s křemíkem. Během 4 minut bylo detekováno 70 stop „heavy blob“.

MX-10 tedy dokáže detekovat rychlé neutrony, ale s velmi malou účinností. Za 4 minuty měření vygeneroval AmBe do celého prostoru přibližně $5,38 \cdot 10^8$ neutronů, z nichž asi 600 000 prošlo senzorem MX-10 a z nich jen 70 vyvolalo jaderné reakce (3) a (4). Detektor tedy zaregistroval přibližně jeden ze 8500 prolétávajících rychlých neutronů. Statistika připomíná Rutherfordův experiment, při němž objevil atomové jádro a zjistil, že jeho rozměr je velmi malý vzhledem ke vzájemným vzdálenostem jader.

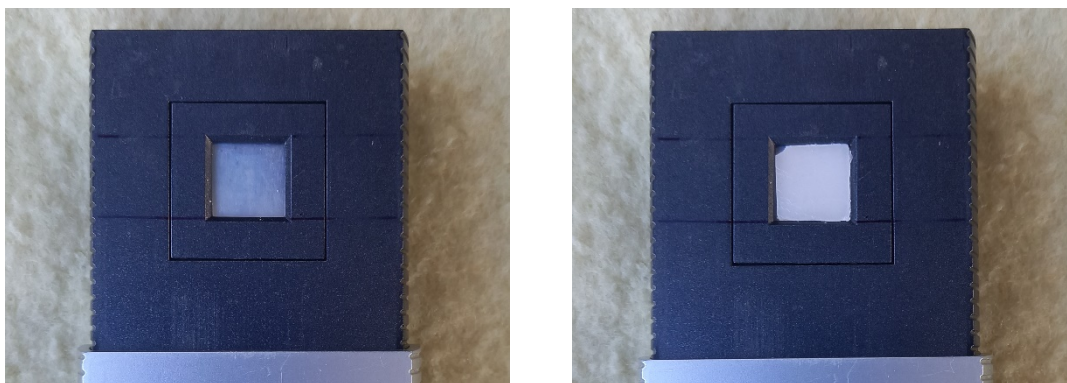
Pravděpodobnost jaderné reakce neutronu s křemíkem popisuje veličina zvaná mikroskopický účinný průřez σ , který se měří v jednotkách barny – b ($1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$). Velikost účinného průřezu závisí na terčovém jádře a energii neutronu. Pro terčové jádro ^{28}Si a energii neutronu 11 MeV je $\sigma \approx 0,02 \text{ b}$ pro reakci (3) a $\sigma \approx 0,06 \text{ b}$ pro reakci (4), jak je vidět na obr. 4. Pro energie menší než 11 MeV dosahuje účinný průřez hodnoty maximálně 0,3 b.



Obr. 4. Mikroskopický účinný průřez reakce neutronů s ^{28}Si . Vlevo je podle rovnice (3) z jádra emitována částice alfa a vpravo je podle rovnice (4) emitován proton. Z grafů je patrné, že neutrony musí mít alespoň prahovou energii E_{thr} . Poznámka: Na osách jsou logaritmická měřítka. Zdroj [3].

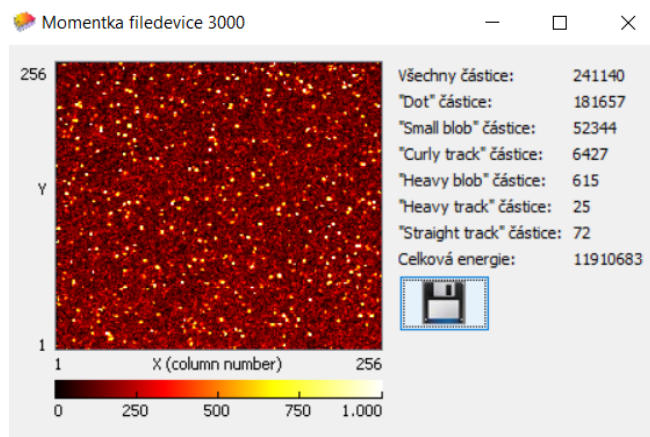
Pokus 2: Parafín jako konvertor rychlých neutronů

V pokusu 1 jsme ukázali, že samotný křemíkový senzor má malou účinnost při detekci rychlých neutronů. Zkusme nyní napodobit Chadwickův experiment založený na vyrážení jader vodíku (protonů) rychlými neutrony z parafínu. Parafín je směs pevných uhlovodíků řady C_nH_{2n+2} . Při našem pokusu jsme použili běžnou svíčku. Horký vosk byl nejprve nakapán do čtvercové masky o velikosti křemíkového senzoru (14 mm × 14 mm) a pak umístěn na senzor a zajištěn izolepou. Tloušťka parafínu byla přibližně 1 mm – obr. 5.



Obr. 5. Vlevo je křemíkový senzor MX-10 bez konvertoru, vpravo je na senzoru parafínový konvertor.

MX-10 jsme umístili do stejné vzdálenosti od AmBe jako v pokusu 1 a parametry měření ponechali také stejné (2400 snímků po 0,1 s). Vizualizaci integrálního snímku vidíme na obr. 6.

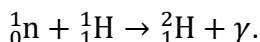


Obr. 6. Vizualizace stop zaznamenaných detektorem s parafínovým konvertorem. Oproti obr. 3 se zvýšil počet stop heavy blob a curly track. Přírůstek heavy blob je způsoben dopadem protonů vyražených z parafínu rychlými neutrony.

Počet stop kategorie heavy blob se oproti pokusu 1 zvýšil z počtu 70 na 615. Parafín se tak ukázal jako materiál vhodný ke konverzi těžko zachytitelných neutronů na lépe detekovatelné protony. Příčinou zvýšení je to, že elastický rozptyl neutronů (při němž dochází k vyrážení protonů) generovaných ze zdroje AmBe na vodíku 1H má účinný průřez dosahující pro některé zastoupené energie hodnoty až $\sigma \approx 20$ b. To je o dva řády větší hodnota, než je účinný průřez jaderné reakce těchto neutronů s křemíkem.

Podobných výsledků jako s parafínem se dosáhne i s vrstvičkou polyethylenu (PET), který je také bohatý na vodík, a je to tudíž vhodný konvertor.

Za povšimnutí stojí i zvýšení počtu curly track z hodnoty 4335 bez parafínového konvertoru na 6427 s parafínovým konvertorem. Stopy curly track jsou způsobeny vysokoenergetickými fotony gama, jejichž počet se přítomností parafínu zvýšil. Kromě fotonů o energii 4,4 MeV vznikajících v AmBe při reakci (2), začaly vznikat fotony v parafínu radiačním záchytem



Energie fotonů je 2,22 MeV.

Jaderná reakce neutronů s lithiem

V pokusu 2 jsme ukázali, že neutrony vyráží z parafínu protony a podle modelu s rázostrojem víme, že se neutron může téměř zastavit (centrální srážka). Parafín a polyethylen jsou příklady látek, které zpomalují rychlé neutrony, tj. plní funkci moderátoru. Neutrony v moderátoru se po řadě srážek dostávají do tepelné rovnováhy s moderátorem a mají Maxwellovo-Boltzmannovo rozdělení energií. Např. při teplotě 20 °C jsou ve spektru nejvíce zastoupeny neutrony s energií jen 0,025 eV. Tyto termální neutrony lze detekovat pomocí některých lehkých prvků, protože v nich mají reakce vysoký účinný průřez (tabulka 1).

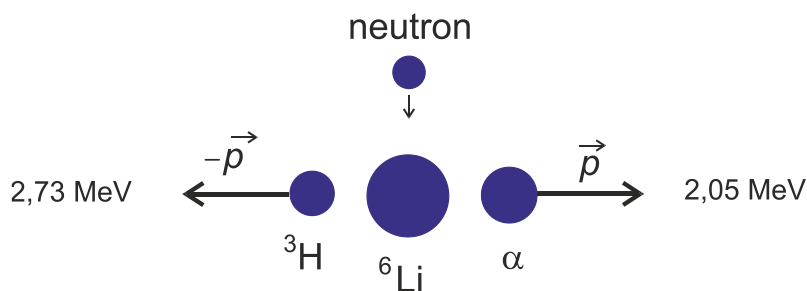
Tabulka 1. Účinné průřezy pro jadernou reakci neutronů s lithiem a bórem pro termální neutrony (prostřední sloupec) a rychlé neutrony (pravý sloupec) [4].

	0,025 eV	1 MeV
Terčové jádro	σ [b]	σ [b]
${}^6\text{Li}$	938	1,28
${}^{10}\text{B}$	3845	2,68

${}^6\text{Li}$ je pro svůj účinný průřez vhodné pro detekci neutronů. Neutron reaguje s lithiem podle rovnice (5).



Graficky můžeme tuto jadernou reakci znázornit obrázkem 7.



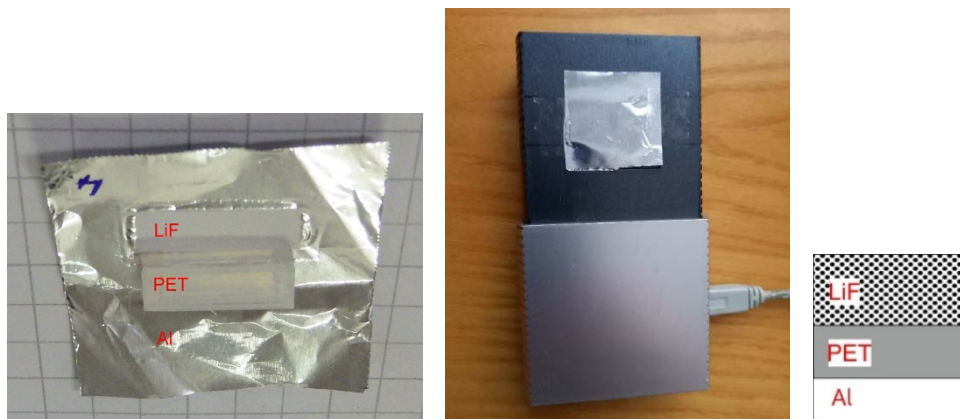
Obr. 7. Jaderná reakce neutronu s lithiem a vznik nabitých částic – tritonu a částice alfa. Triton a částice alfa mají stejné hybnosti opačných směrů.

Energie reakce je kladná $Q = 4,78$ MeV, takže reakce nevyžaduje žádnou prahovou energii neutronu. Vznikající tritony mají energii 2,73 MeV a částice alfa 2,05 MeV. Protože jak nízkoenergetický (termální) neutron, tak jádro lithia jsou prakticky v klidu, mají podle zákona zachování hybnosti obě vzniklé částice stejnou hybnost a vylétají prakticky v opačných směrech. Detektor MX-10 může zaregistrovat tu z nich, která vletí do jeho senzoru.

Konvertor LiF

Vhodným materiálem pro výrobu konvertoru termálních neutronů na nabitě částice je fluorid lithný LiF obohacený izotopem ^6Li . LiF se rozmíchá s tekutým pojidlem a nanese na tenkou fólii, v našem případě alobal, kde ztuhne a vytvoří tenkou vrstvu. Vrstva LiF nesmí být moc tlustá, protože vznikající tritony a částice alfa po svém vzniku rychle v LiF ztrácejí energii a nemusely by do senzoru doletět. Střední lineární dosah v LiF pro částici alfa o energii 2,05 MeV je $R = 5,3$ μm a tritonu o energii 2,73 MeV je $R = 30,7$ μm [5]. Pokud bychom chtěli, aby všechny produkty reakce, které letí kolmo na křemíkový senzor MX-10, skutečně do něj doletěly, musela by být vrstva LiF tenčí než 5,3 μm . Křemíkový senzor má tloušťku 300 μm , což je podstatně více, než je střední lineární dosah tritonů a částic alfa v křemíku. Pokud tedy tyto nabitě částice do křemíku doletí, určitě se v něm zastaví a detektor je zobrazí nejspíše jako heavy blob a změří jejich energii.

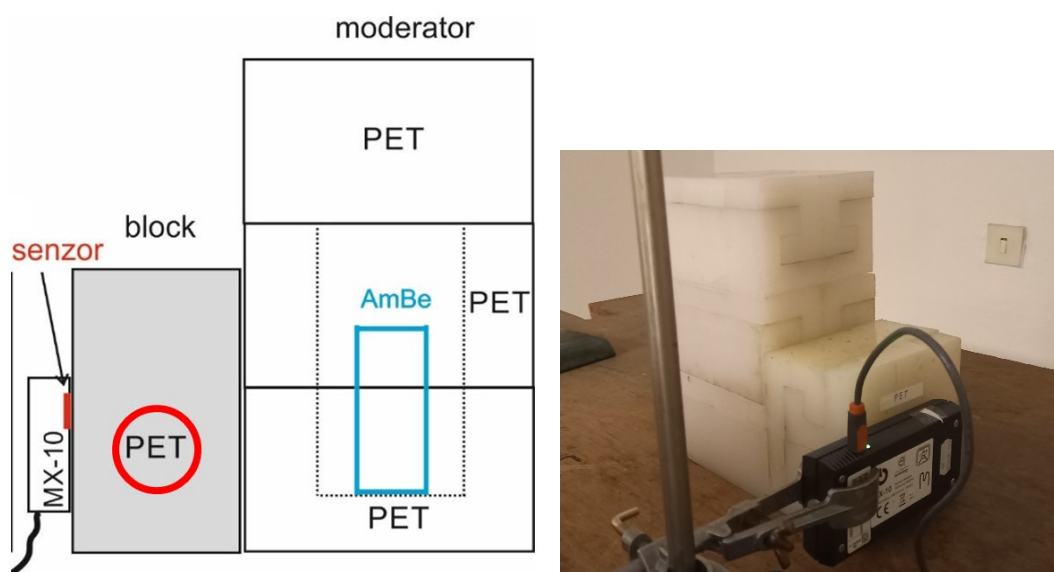
V našem měření byl použit LiF o plošné hustotě 3,6 mg/cm^2 , čemuž odpovídá tloušťka 18 μm . LiF byl nanesen jako pruh na alobal tak, aby zakryl přibližně horní třetinu senzoru MX-10. Jako druhý pruh byl na alobal nalepen PET o tloušťce přibližně 1 mm (prostřední třetina senzoru) a dolní třetina senzoru byla překryta pouze alobalem (obr. 8). Alobal s konvertory byl pak nalepen přes okénko MX-10 tak, aby konvertory byly k povrchu senzoru co nejbližší (méně než 1 mm).



Obr. 8. Konvertor LiF a PET na alobalu a umístění konvertorů na senzoru MX-10.

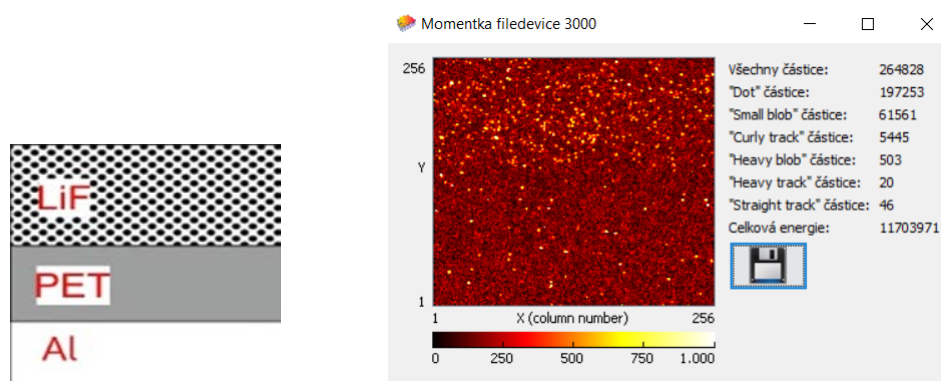
Pokus 3: Detekce termálních neutronů konvertorem LiF

Abychom získali dostatek termálních neutronů, vytvořili jsme z několika tvarovek polyethylenu moderátorový blok o rozměrech 12 cm \times 12 cm \times 24 cm s dutinou uvnitř pro umístění zářiče AmBe – obr. 9. Rychlé neutrony se v takovém bloku zpomalují a jako termální vystupují z jeho povrchu do všech stran. K jedné stěně jsme přiložili ještě kostku PET o tloušťce 8 cm a k ní senzor MX-10, jak ukazuje obr. 9.



Obr. 9. Polyethylenový moderátor se zdrojem neutronů AmBe, stínící kostkou PET a detektorem MX-10.

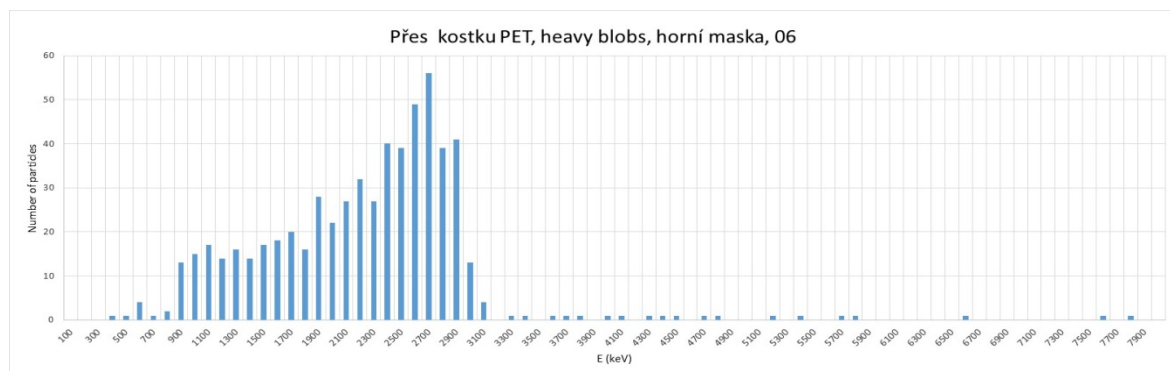
Provedli jsme měření 2400 snímků s expozicí 0,1 s. Vizualizaci měření vidíme na obr. 10.



Obr. 10. Vizualizace měření s konvertory LiF a PET přes kostku PET. LiF se nacházel v horní třetině senzoru, kde vidíme vysokou koncentraci stop heavy blob.

Detektor zaznamenal 503 stop heavy blob, z nichž naprostá většina (416) je v horní třetině detektoru, kde se nacházel konvertor LiF. Tyto stopy lze vysvětlit především dopadem částic alfa a tritonů produkovaných z LiF podle rovnice (5) termálními neutrony. V prostřední třetině, kde byl konvertor PET, a dolní třetině překryté pouze alobalem, jsou stopy, za jejichž vznikem musí stát rychlé neutrony. Podobně je to na obr. 3 a obr. 6. Prokázali jsme, že přes kostku PET lze detekovat termální i rychlé neutrony.

Program pixelman ovládající pixelový detektor umožňuje sestavit histogram energie pro stopy ve vybrané oblasti, např. v horní třetině pod LiF. Histogram vidíme na obr. 11.



Obr. 11. Histogram energie stop heavy blob v horní třetině senzoru.

Většinou jsou zastoupeny energie do 3000 keV a menšinou až do 7900 keV. Ty menší energie odpovídají dopadům tritonů, které v okamžiku vzniku měly energii 2,73 MeV, a částic alfa, které v okamžiku vzniku měly energii 2,05 MeV. Proč vidíme jen pík odpovídající energii 2,7 MeV a ještě „rozmazaný“? Vysvětlení je v ionizačních ztrátách energie letících tritonů a částic alfa. Lineární brzdná schopnost LiF pro vznikající tritony je 26 keV/ μm a pro částice alfa 320 keV/ μm . Ztráty pro částice alfa jsou tak velké, že většina z nich se v LiF zastaví a do senzoru vůbec nedoletí. Mohou doletět jen ty, které vzniknou nejdále 5,3 μm od povrchu LiF bližšímu k senzoru a letí k senzoru nejkratší cestou.

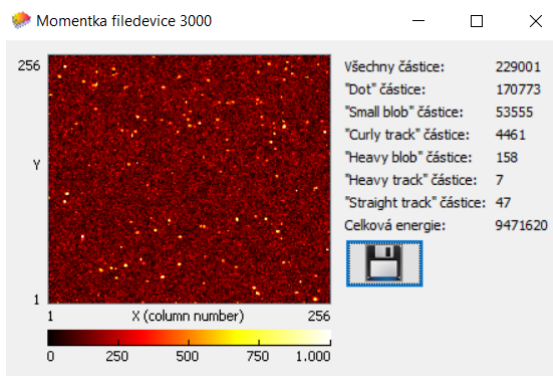
Stopy s energií přes 3000 keV jsou určitě způsobeny rychlými neutrony, které vyvolaly jaderné reakce v křemíku (3) a (4). Těchto stop je ale dle očekávání málo.

Pokusem 3 jsme ověřili schopnost detektoru MX-10 opatřeného konvertorem LiF detekovat termální neutrony.

Pokus 4: Stínění termálních neutronů lithiem

Jaderná reakce (5), tedy ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$, v kombinaci s moderační schopností PET, se využívá ke stínění neutronů. Vyrábějí se polyetylenové tvarovky s příměsí 10 % ${}^6\text{Li}$, jejichž funkcí je moderovat rychlé neutrony na termální a následně je i absorbovat (v ${}^6\text{Li}$).

V našem pokusu jsme vytvořili z tvarovek LiPET kostku stejných rozměrů, jako z čistého PET na obr. 9 (tloušťka 8 cm) a provedli měření 2400 snímků s expozicí 0,1 s se stejnou geometrií, jako je na obr. 9.



Obr. 12. Vizualizace měření s konvertory LiF a PET přes kostku LiPET. V horní třetině již nepozorujeme vysokou koncentraci stop heavy blob.

Z obr. 12 je zřejmé, že vysoká koncentrace stop v horní třetině senzoru oproti obr. 10 vymizela. Přes kostku z čistého PET jsme v pokusu 3 v horní třetině zaznamenali 416 stop z celkového počtu 503 stop a nyní v pokusu 4 přes kostku LiPET vidíme v horní třetině 89 stop z celkového počtu 158 stop. Z toho je vidět, že ${}^6\text{Li}$ účinně absorbuje termální neutrony. Do senzoru stále ještě pronikají rychlé neutrony, které ${}^6\text{Li}$ absorbuje málo. Šlo by je zpomalit tlustější stěnou PET a pak je lithium vychytá.

Jaderná reakce neutronů s bórem

Další jaderné reakce, které se dají využít k detekci a stínění tepelných neutronů, jsou reakce s bórem, který má pro reakci s termálními neutrony ještě větší účinný průřez než lithium (viz tabulka 1).

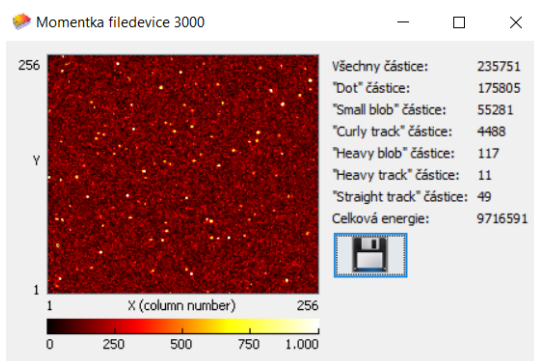


Detektor může zaznamenávat částice alfa a jádra lithia (náš pixelový detektor je na to vhodný) nebo vznikající fotony gama o energii 480 keV (náš pixelový detektor je na ně málo citlivý, a tedy nevhodný). Reakce (6) nastává v 6 % případů a reakce (7) v 94 % případů.

Pokus 5: Stínění termálních neutronů bórem

Pro stínění termálních neutronů se vyrábějí tvarovky z polyethylenu s příměsí 3,5 % a 5 % ${}^{10}\text{B}$, jejichž funkcí je moderovat rychlé neutrony (v PET) a absorbovat vzniklé termální neutrony (v ${}^{10}\text{B}$). Budeme je označovat BPET.

V našem pokusu jsme vytvořili z tvarovek BPET s 5 % bóru kostku stejných rozměrů jako z čistého PET v pokusu 3 na obr. 9 (tloušťka 8 cm) a provedli jsme měření 2400 snímků s expozicí 0,1 s se stejnou geometrií, jako je na obr. 9. Vizualizaci měření vidíme na obr. 12. Počet heavy blob je 117, tedy ještě menší než u kostky LiPET (bylo 158). A to byla koncentrace bóru v polyethyleny poloviční než koncentrace lithia. Bór je tedy ve stínění účinnější, ale je tu problém s energetickými fotony gama o energii 480 keV. Tenký pixelový detektor je detekuje s malou pravděpodobností, takže je moc nevidíme. Ale ony existují a k jejich účinnému odstínění se musí použít např. silná vrstva olova. V tom je bór oproti lithiu, jež při absorpci neutronu žádný foton nevyzařuje, nevýhodný.



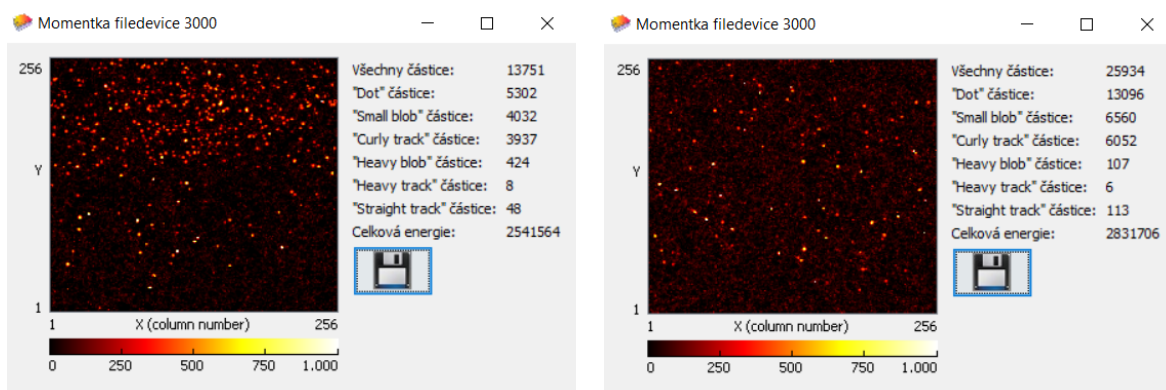
Obr. 13. Vizualizace měření s konvertory LiF a PET přes kostku BPET. V horní třetině nepozorujeme žádnou vysokou koncentraci stop heavy blob.

Z obr. 13 je zřejmé, že vysoká koncentrace stop v horní třetině senzoru oproti obr. 10 vymizela. Přes kostku z čistého PET jsme v pokusu 3 v horní třetině zaznamenali 416 stop z celkového počtu 503 stop a nyní v pokusu 5 přes kostku BPET vidíme v horní třetině 50 stop z celkového počtu 117 stop. Stop je méně než při použití kostky LiPET.

Pokus 6: Stínění olovem a kadmíem

Z výuky radioaktivity je studentům známo, že k jejímu stínění je nejlepší olovo, protože má velké protonové číslo 82. Vyzkoušejme olověný plech o tloušťce 1 mm ke stínění neutronů procházejících kostkou z čistého PET podle obr. 9. Olověný plech byl nalepen jako další vrstva přes konvertory LiF a PET (jde o stejnou geometrii konvertorů jako v pokusu 3). Záření tedy dopadá nejprve na olověný plech, pod ním jsou konvertory a pod nimi křemíkový senzor. Expozice zůstala stejná.

Plech z olova jsme pak nahradili plechem z kadmia o tloušťce 0,7 mm a měření zopakovali se stejnou expozicí.



Obr. 14. Vizualizace měření s konvertory LiF a PET a olověným plechem přes kostku PET (vlevo) a s kadmiovým plechem přes kostku PET (vpravo). Z vysoké koncentrace stop v horní třetině na levém obrázku je zřejmé, že olověný plech termální neutrony propouští. Na pravém obrázku pruh v horní třetině chybí, což potvrzuje schopnost kadmiového plechu stínit termální neutrony.

Mezi měřeními na obr. 14 jsou zásadní rozdíly. Přes olovo, které má protonové číslo 82, bez problémů procházejí termální i rychlé neutrony. Bylo jich detekováno celkem 424. Bez olova to bylo 503 neutronů (obr. 10). Na obrázku 14 vpravo vidíme, že přes kadmium, které má protonové číslo 48, bylo detekováno jen 107 neutronů, přičemž termální neutrony (na obrázku vlevo je to pruh stop v horní třetině) vymizely. Olovo se pro stínění termálních neutronů nehodí, kadmium stíní termální neutrony dobře.

Stínící plechy ale mají také významný vliv na absorpci fotonů. Fotony vyvolávají stopy, které software MX-10 řadí do kategorií „dot“ (menší energie) a „curly track“ (větší energie). Přehledné porovnání počtu detekovaných fotonů bez stínění plechy a se stíněním je v tabulce 2.

Tabulka 2. Počty detekovaných fotonů v geometrii pokusu 3. Bez plechů, s Pb plechem a s Cd plechem.

Druh stop	Bez plechů	Olovo 1 mm	Kadmium 0,7 mm
Dot	197 253	5302	13 096
Curly track	5445	3937	6052
Součet	202 698	9239	19 148

Pokus ukazuje, že použitý olověný plech je málo účinný pro stínění termálních neutronů, ale dobře účinný pro stínění fotonů především menších energií (stopy dot). Kadmium již o velmi malé tloušťce 0,7 mm výborně stíní termální neutrony, ale i fotony menších energií (stopy dot), i když ne tak dobře jako olovo. Celkový účinný průřez izotopu ^{113}Cd pro termální neutrony nabývá hodnot $\sigma \approx 2 \cdot 10^4$ b [3]. Pro tuto obrovskou hodnotu se Cd využívá např. v regulačních tyčích v jaderných reaktorech. Podobně jako u bóru se jedná o radiační záchyt neutronů, při němž jsou z jadra kadmia vyzařovány fotony širokého spektra energií zvyšující radiaci. Tomu odpovídá zvýšení počtu stop curly track (tabulka 2) oproti pokusu bez přítomnosti kadmiového plechu. Bez plechů bylo zaregistrováno 5445 curly track a s kadmiovým plechem 6052 stop curly track. Absorpce neutronů v kadmiovém plechu je za cenu zvýšení fotonové radiace.

Existují jen dvě jádra, která absorbují neutron bez vyzáření fotonu gama (nejde o radiační záchyt, ale jen absorpci), a tedy nezvyšují fotonovou radiaci. Jsou to jádra ^6Li a ^3He .

Závěr

Pokusy popsané v článku ukazují další použití detektoru MX-10 k detekci rychlých i termálních neutronů a jsou úvodem do studia jaderných reakcí způsobených neutrony. Z experimentů vyplývá, že ke stínění rychlých neutronů je nutné moderátorem s lehkými jádry neutrony zpomalit na neutrony termální, ty pak vhodnými jádry absorbovat, resp. radiačně zachytit, a těžkými prvky odstínit doprovodné vysokoenergetické záření gama.

V ČR se vyrábí pro stínění neutronů tvarovky NEUTROSTOP v Kolíně. Jejich označení je

H0, C0, E0 – čistý polyethylen	v našem textu PET
H3, C3, E3 – s příměsí bóru 3,5 %	
H5, C5, E5 – s příměsí bóru 5 %	v našem textu BPET
H10, C10, E10 – s příměsí lithia 10 %	v našem textu LiPET

Literatura

- [1] Vícha V.: *Experimenty s pixelovým detektorem pro výuku jaderné a částicové fyziky*. České vysoké učení technické, Praha 2016. ISBN 978-80-01-05888-6, str. 41-43, 77-80.
- [2] Pujala, Usha, Selvakumaran, T.S., Mohapatra, D.K., Raja, E. Alagu, Subbaiah, K.V., Baskaran, R. *Analysis of Neutron Streaming Through the Trenches at LINAC Based Neutron Generator Facility, IGCAR*. Indian Association for Radiation Protection, 34(2011):262-266.
- [3] Nuclear Data Center at KAERI Dostupné online: <http://atom.kaeri.re.kr/>

- [4] Rinard P.: *Neutron Interaction with Matter*. [cit 9. 9. 2020]. Dostupné online: https://www.lanl.gov/org/ddste/aldgs/sst-training/_assets/docs/PANDA/Neutron%20Interactions%20with%20Matter%20Ch.%2012%20p.%20357-378.pdf
- [5] Hůlka J., Kánský Z., Janout Z., Pospíšil S.: *Detektor tepelných neutronů využívající křemíkový polovodičový detektor s povrchovou bariérou*. ACTA POLYTECHNICA – Práce, Praha 1980.

Termografické vyhodnocení tání ledu ve vodě

Vladimír Vochozka, Pavla Wegenkittlová

Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Abstrakt

Dominantním jevem rozdílného tání kostek ledu ve sladké a slané vodě je konvekce. Konvekci lze v pokusu demonstrovat kvalitativně pozorováním ledových kostek z obarvené vody, kvantitativně teplotními bodovými čidly anebo termovizní kamerou, která umožňuje jak kvalitativní, tak kvantitativní vyhodnocení průběhu.

V příspěvku jsou diskutovány přínosy a omezení jednotlivých technik vyhodnocení pokusu.

Tepelná výměna prouděním

Sdílení tepla lze dělit na tepelnou výměnu vedením (kondukce), prouděním (konvekce) a sáláním (záření, radiace) [1]. Školní pokusy demonstrující proudění kapalin s kostkami ledu je možné dohledat v mnoha učebnicích v různých obměnách. Výsledkem demonstrací je prokázání proudění v kapalině v závislosti na rozdílné hustotě způsobené odlišnou teplotou.

Pokusy s potravinářským barvivem

Pro vizualizaci přítomnosti proudění je použito potravinářské barvivo. Voda je smíchána s modrým potravinářským barvivem a následně přelita do formy na led. Sladká voda (sladká voda je název pro vodu přirozeně se vyskytující na povrchu Země [2]) má hustotu 998 kg/m^3 při $19,6 \text{ }^\circ\text{C}$ a slaná voda (slaná voda je voda, která obsahuje chemické látky způsobující její slanost – salinitu [3]) má hustotu $1\,170 \text{ kg/m}^3$ při $19,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Aby bylo možné získat vodu s takto vysokou hustotou, je při přípravě voda ohřívána na vařiči za vsypávání kuchyňské soli až do získání nasyceného roztoku.

Při demonstraci jsou pozorovány tři odlišné situace: tradiční kombinace sladké vody a kostky ledu (ve všech obrázcích vlevo), slaná voda s kostkou ledu (umístěna vždy uprostřed) a sladká voda s kostkou ledu s vloženou maticí uvnitř (v obrázcích vpravo). V každém případě je kapalina v tepelné rovnováze s okolím. Do každé nádoby je vhozena kostka ledu z co nejmenší výšky (Obr. 1.).



Obr. 1. Nádoba s vodou po vhození kostky ledu, vlevo sladká voda, uprostřed slaná voda, vpravo sladká voda s kostkou ledu s vloženou maticí.

K tání kostky dochází okamžitě. Vizuálně nejzajímavější je tání kostky ledu ve sladké vodě. Odtátá voda klesá ke dnu nádoby. Ve slané vodě se odtátá voda drží u volné hladiny. Voda v nádobě se zatíženou kostkou ledu je jemně zbarvena od volné hladiny až ke dnu nádoby. Mezi kostkou ledu a vodou se přenáší teplo vedením, a proto během klesání ke dnu dochází k obarvení z celého povrchu kostky ledu.

Ve chvíli, kdy roztála přibližně polovina kostky ledu (fotografie nejsou pořízeny ve stejný čas, protože doba tání je odlišná) můžeme pozorovat v prvním případě probíhající proudění (Obr. 2. vlevo).



Obr. 2. Nádobu s vodou v polovině celkového času tání kostky ledu.

Zbarvení vody v celém objemu vody evokuje představu proudění. U slané vody je vidět jasně ostré rozhraní mezi vodou, která odtála z kostky ledu, a zbytkem vody. U zatížené kostky je vidět zbarvenější oblast přibližně ve dvou třetinách celkového objemu. Zkreslení je způsobeno zbarvením volné hladiny a horních oblastí klesáním kostky ke dnu, jak již bylo popsáno dříve.

Poslední série fotografií zachytává okamžik, kdy došlo k roztátí kostky ledu (Obr. 3.).



Obr. 3. Nádobu s vodou na konci celkového času tání kostky ledu.

U kombinace kostky ledu a sladké vody je vidět zbarvení vody v celém objemu, s tím, že u dna je barva sytější. Roztátá obarvená voda ve slaném roztoku tvoří jasně viditelně oddělené rozhraní. Okolí kostky s maticí je sytěji zbarveno oproti zbylému objemu vody, která má již od začátku částečné zbarvení.

Nechtěný efekt částečně obarvené vody u kostky ledu s maticí lze vyřešit použitím nádoby s větším objemem (Obr. 4.), kde se obarvená voda zředí s větším množstvím vody a nebude působit rušivě.



Obr. 4. Nádobu s vodou po vhození kostky ledu, vlevo sladká voda, uprostřed slaná voda, vpravo sladká voda s kostkou ledu s vloženou maticí.

Průběh tání kostek je analogický s předchozím (Obr. 5.).



Obr. 5. Nádobu s vodou v polovině celkového času tání kostky ledu.

Dle předpokladu je na konci tání výsledek pokusu přijatelnější pro kombinaci sladká voda a kostka ledu s maticí. Drobné zabarvení objemu je méně intenzivní (Obr. 6. vpravo).



Obr. 6. Nádobu s vodou na konci celkového času tání kostky ledu.

U sladké vody a kostky ledu (Obr. 6. vlevo) je vidět tmavší část v dolní polovině objemu nádoby. Výsledek je podobný jako u předchozího pokusu s menší nádobou s kostkou ledu s maticí ve sladké vodě, což může být nevhodně interpretováno jako důkaz absence proudění v celém objemu.

Změny v době tání se projeví více v případě vhození většího množství kostek. Rozdíl v čase tání kostek v našem případě je shrnut v tabulce.

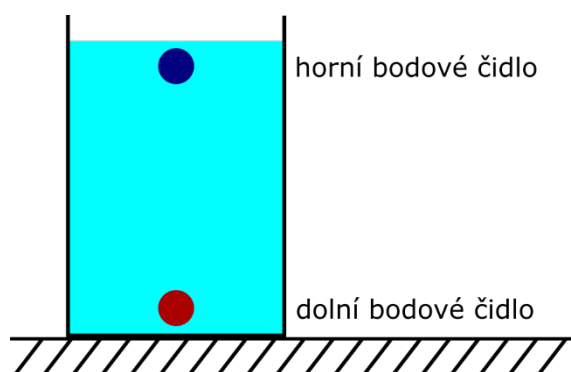
Tabulka 1. Doba tání kostek ledu.

kombinace	sladká voda	slaná voda	sladká voda
	kostka ledu	kostka ledu	zatížená kostka
1 kostka	8 min	13 min	13 min
2 kostky	10 min	28 min	26 min
3 kostky	14 min	54 min	52 min

Pokusy s dataloggerem

Teplota vody byla měřena bezdrátovými bodovými teplotními čidly Vernier Go Direct Surface Temperature Sensor, která měří v rozsahu od -25 do $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [4]. Záznam naměřených dat byl proveden softwarem Vernier Graphical Analysis 4.10.

Měření začínalo vždy s předstihem před vhozením kostek ledu. Stejně jako v předchozích i následujících pokusech byla voda v tepelné rovnováze s okolím. Čidla byla pevně upevněna v oblasti volné hladiny vody a u dna nádoby, aby nedocházelo k jejich pohybu a měření v jiných hloubkách (Obr. 7.).

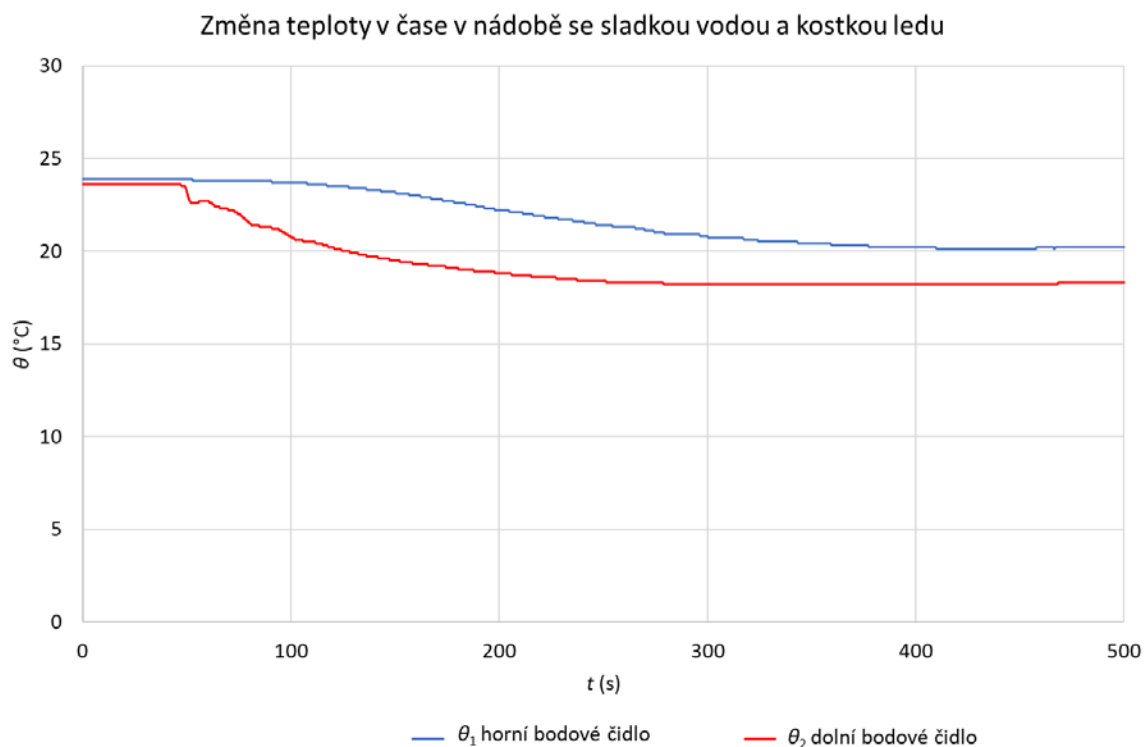


Obr. 7. Náčrtek umístění bodových čidel při pokusu.

Sladká voda a kostky ledu

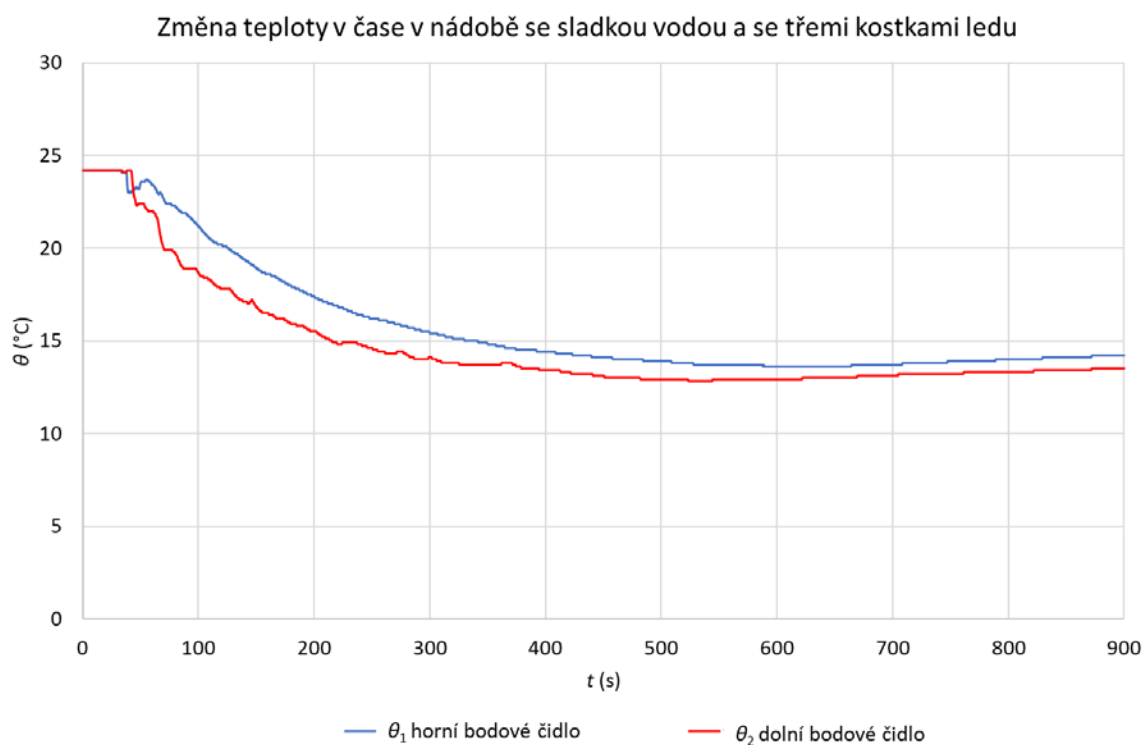
Z naměřených hodnot byly vytvořeny grafy změny teploty v čase. Modrá křivka vždy označuje změnu teploty bodového čidla u volné vodní hladiny, červená křivka pak bodové čidlo u dna nádoby.

První graf (Obr. 8.) ukazuje průběh změny teploty po vhození jedné kostky ledu do sladké vody, přičemž pozorujeme současnou změnu teploty v okolí obou čidel. Můžeme tak vyslovit tvrzení, že vlivem proudění dochází k měřitelné změně teploty vody v celém objemu nádoby.



Obr. 8. Graf změny teplot v nádobě se sladkou vodou a tající kostkou ledu.

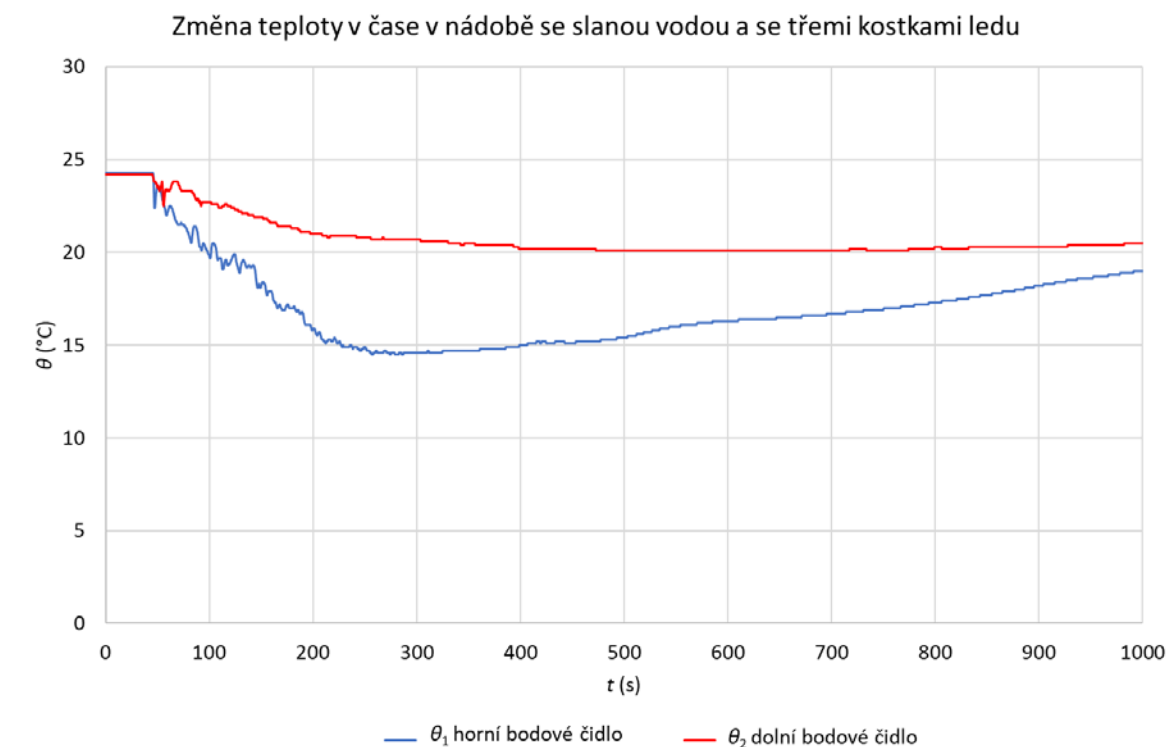
Prokazatelnější výsledky získáme v případě použití tří kostek ledu. Průběh změny teplot je jasně viditelný (Obr. 9.).



Obr. 9. Graf změny teplot s třemi tajícími kostkami.

Slaná voda a kostky ledu

Při vhození jedné kostky ledu do slané vody se opakovaně nedařilo najít vhodné umístění bodového čidla a všechna měření a tvorba grafů skončila neúspěšně. Množství odtáté vody tvořilo tak úzký profil, že bylo nutné použít více kostek ledu, přesněji tři kusy (Obr. 10.).

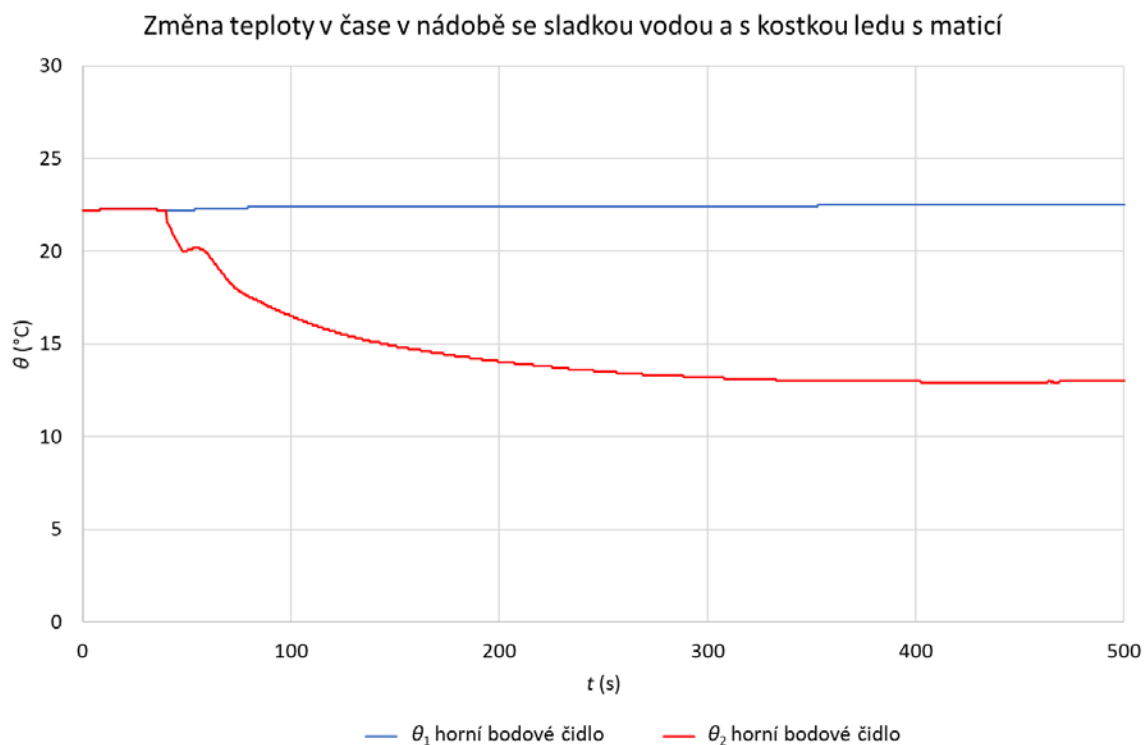


Obr. 10. Graf změny teplot v nádobě se slanou vodou a tajícími kostkami ledu.

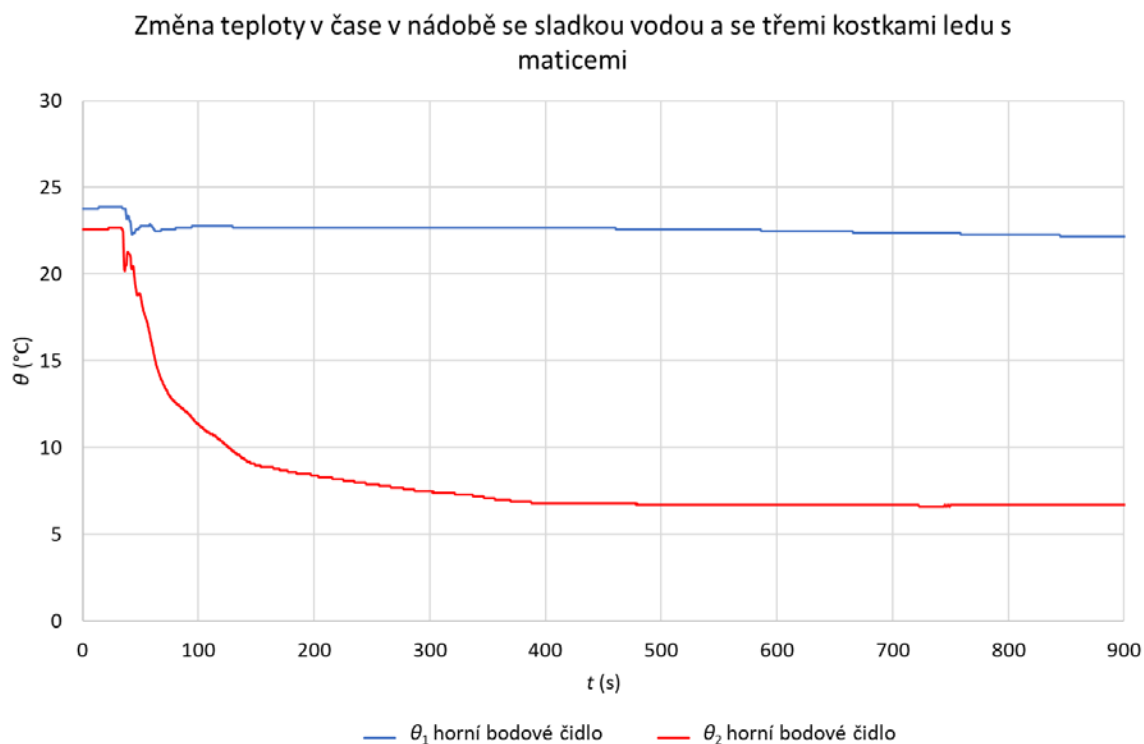
V grafu vidíme změnu teploty u volné vodní hladiny až o 10 °C. Změnu teploty indikuje i teplotní čidlo u dna nádoby.

Sladká voda a kostky ledu s maticemi

Při použití kostek ledu s maticemi a sladké vody je průběh přehledný jako v prvním případě (Obr. 11, 12.).



Obr. 11. Graf změny teplot v nádobě se sladkou vodou a tající kostkou ledu s maticí.



Obr. 12. Graf změny teplot s třemi tajícími kostkami s maticemi.

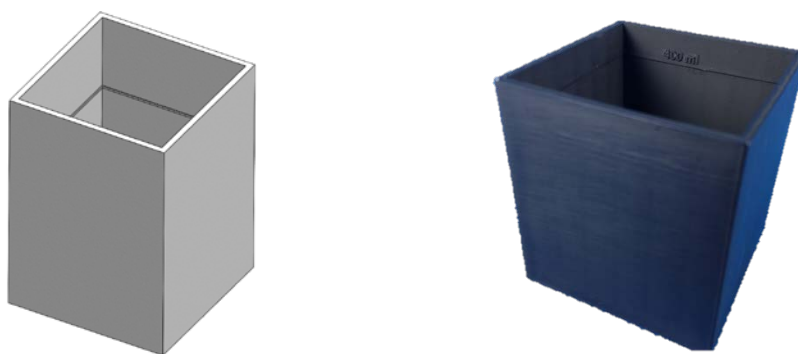
V grafech můžeme pozorovat změnu teploty pouze u dna nádoby, která dokazuje přenos tepla pouze vedením, k proudění nedochází.

Pokusy s termokamerou

Rozložení povrchové teploty bylo prováděno termokamerou LabIR-CAM, která je postavena na čipu FLIR Lepton 3. Základními parametry jsou rozlišení 160×120 px, frekvence 9 Hz a citlivost $0,05^\circ\text{C}$. [5]

Termogramy byly analyzovány v programu LabIR 1.5.15. Barevnou paletou bylo zvoleno „železo“ s pevně stanoveným rozsahem od $10,0$ do $20,0^\circ\text{C}$. Hodnota emisivity byla nastavena na 0,95; zdánlivě odražená teplota 20°C ; vzdálenost 0,5 m; atmosférická teplota 20°C a relativní vlhkost 53 %.

Pro potřeby měření byla v programu SolidWorks 2020 vymodelována nádoba tvaru kvádru, aby bylo možné pozorovat termokamerou jednu ze stěn, pro termografii ideální rovinnou plochu (Obr. 13.).



Obr. 13. Vlevo vymodelovaná nádoba o objemu 400 ml. Vpravo vytisknutá nádoba s povrchovou úpravou.

Pro tisk na 3D tiskárně byla zvolena černá tisková struna z materiálu PLA pro jeho vhodné vlastnosti z hlediska tepelné vodivosti (tabulka 2).

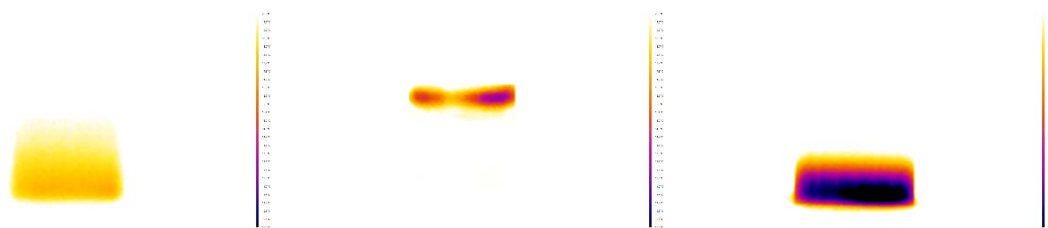
Tabulka 2. Tepelná vodivost materiálů. [6]

materiál	tepelná vodivost λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
PLA	0,13
ABS	0,17
PET-G	0,29

Povrch nádoby byl nabarven lakem LabIR HERP-LT-MWIR-BK-11, který má definovanou emisivitu ($\epsilon = 0,95$ [7]).

Stejně jako u předchozích pokusů byla nádoba v dostatečném předstihu umístěna do zatemněné místnosti, bez tepelných zdrojů. Časový předstih je nutný k získání termodynamické rovnováhy mezi vodou, nádobami a okolním vzduchem.

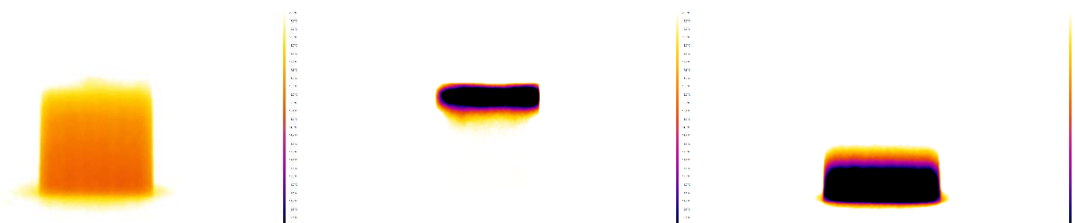
Po vhození kostek do nádob není v prvních sekundách nic pozorovatelné, nejdříve musí dojít k přenosu tepla mezi vodou a kostkou ledu, poté mezi stěnou nádoby a vodou. Zajímavé jsou termogramy již po 180 sekundách, kdy je možné pozorovat změnu povrchové teploty stěny nádoby (Obr. 14.).



Obr. 14. Termogramy nádob s vodou přibližně v polovině roztátého objemu kostky ledu, vlevo sladká voda, uprostřed slaná voda, vpravo sladká voda s kostkou ledu s vloženou maticí.

V nádobě se sladkou vodou a kostkou ledu je vidět postupná změna teploty v celém objemu, která začíná u dna nádoby. Povrch nádoby se slanou vodou a kostkou ledu mění teplotu v horní části, sladká voda ve třetí nádobě s kostkou ledu s maticí se chová opačně, jak šlo předpokládat z předchozích pokusů a učiva fyziky základní školy.

Přehledný výsledek nabízí i termogramy na konci tání kostek ledu. Všechny tři nádoby mají pozorovatelné změny teploty dle očekávání (Obr. 15.).



Obr. 15. Termogramy nádob s vodou na konci celkového času tání kostky ledu.

Sladká voda s ledem vykazuje změnu teploty v celém objemu. Slaná voda má pozorovatelný pás vody o jiné teplotě u volné hladiny. Sladká voda s kostkou ledu s maticí má pozorovatelný pás u dna nádoby. Obě nádoby se sladkou vodou mají i pozorovatelný přenos tepla vedením, oblast s nižší teplotou, mezi podstavou nádoby a deskou stolu.

Závěr

Vyhodnocení termovizní technikou přináší netradiční pohled na rozložení teploty povrchu nádoby, která odpovídá přibližně změnám teploty vody.

Kvalitativní analýzu neradiometrických termogramů, tedy sledování rozdílných teplot povrchů na základě odlišné pseudobarvy, lze považovat za alternativu k vizualizaci proudění s použitím potravinářského barviva.

Kvantitativní analýza radiometrických termogramů umožňuje diskutovat teploty povrchů vybraných oblastí a může být alternativou k měření bodovými čidly.

Literatura

- [1] Volf, I., Jarešová, M., & Ouhrabka, M. *Přenos tepla: Studijní text pro řešitele FO a ostatní zájemce o fyziku*, 14. <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/texttz.pdf>
- [2] Němec, J., Hladný, J. *Voda v České republice*. Praha: Consult, 2006. 253 s. ISBN 80-903482-1-1

- [3] *Fyzikální vlastnosti mořské vody*. (2014). Klimatologie A Hydrogeografie Pro Učitele | Pedagogická Fakulta Masarykovy Univerzity. Retrieved October 14, 2020, from https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/12-2-fyzikalni-vlastnosti.html
- [4] *Go Direct® Surface Temperature: (Order Code GDX-ST)*. (2018). Go Direct® Surface Temperature Sensor User Manual. Retrieved September 14, 2020, from <https://www.vernier.com/files/manuals/gdx-st/gdx-st.pdf>
- [5] *LabIR-CAM: Termovize do škol*. (2020). Retrieved September 14, 2020, from <https://termovize.zcu.cz/ke-stazeni>
- [6] Běřák, K. *Tepelná vodivost u nestandardních materiálů pro TZB* [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-09-14]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/137650>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Pavel Uher.
- [7] *Termovizní barva pro běžné aplikace: HERP-LT-MWIR-BK-11*. (2020). Termovizní Měření | Labir®. Retrieved September 14, 2020, from <https://paints.labir.cz/homepage/barva-pro-bezne-aplikace>

Tensegrita

Pavla Wegenkittlová, Vladimír Vochozka

Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Abstrakt

Tensegrita (anglicky tensegrity) je výraz používaný od roku 1960, který vznikl spojením slov tensional (napětí) a integrity (celistvost). Tensegrita označuje struktury vytvořené na základě izolovaných těles pod tlakem v síti tvořené mechanickým napětím. Soustavy těles, které na první pohled pro některé žáky popírají gravitaci, jsou krásným příkladem aplikace základních fyzikálních zákonů a zajímavou ukázkou jejich využití v praxi.

Původ tensegrit

Autorství tensegrit je dodnes zahaleno spoustou otazníků. V šedesátých letech minulého století byly odsouhlaseny tři patenty, které pojednávaly o vynálezech využívajících podobný princip. Podle roku patentu můžeme dohledat, že prvním autorem byl Richard Buckminster Fuller, poté David Georges Emmerich a Kenneth D. Snelson. Avšak úplně prvním autorem, jenž vypracoval „prapůvodní tensegritní“ systém, je dle [1] Karl loganson. Na práci logansona upozornil sám Emmerich, který si všiml podobnosti mezi svou prací „Elementary Equilibrium“ a prací logansona „Gleichgewichtskonstruktion“. [2]

Pojem tensegrity je často připisován Fullerovi. Avšak velký nárok na něj má i Snelson. Oba autoři se setkali na univerzitě Black Mountain Collage – Fuller jako profesor, Snelson jako žák navštěvující jeho hodiny geometrických modelů. Snelson byl zaujat geometrií používanou v umění tak, že se jí začal sám věnovat. Zkonstruoval první model tensegrity, který ukázal Fullerovi. Fuller si uvědomil, že tato struktura je to, co už několik let hledá. Později ji začal nazývat „mojí tensegritou“, aby zdůraznil, že je jeho vynálezem. [2][3]

Ve stejné době se těmto strukturám také věnoval Emmerich, který byl inspirován logansonem. Výsledkem jeho práce je patent obsahující v podstatě stejné struktury, kterými se zabývali Fuller se Snelsonem. [2][3]

Ať už je za původem tensegritních struktur jakýkoliv autor, důležitější je, co si pod nimi můžeme představit. Pojem tensegrity (česky tensegrita) vznikl spojením anglických slov tensional (napětí) a integrity (celistvost). Jedná se tedy o stabilní celistvé (spojité) struktury obsahující navzájem se nedotýkající prvky, namáhané pouze tlakovými silami, v síti tvořené mechanickým napětím (tahovými silami). V praxi se nejčastěji jedná o několik nedotýkajících se tyčí propojených předeprnutými lany, které zajišťují stabilitu celého systému. Prvotně se tensegrita využívala hlavně v umění a architektuře, avšak následně se rozšířila i do dalších odvětví. [3]

Tensegritní struktury mohou být dále děleny na čisté a nečisté. Čisté tensegrity splňují definici uvedenou výše – tyče, z nichž jsou zkonstruovány, se vzájemně nedotýkají. U nečistých tensegrit se tyče dotýkají, bývají spojené do různých geometrických tvarů. [4]

Ukázky

Pro představu, jak vlastně původní čisté tensegritní struktury vypadají, uvedeme v následujících řádcích dvě ukázky.

Na Obr. 1. je struktura vytvořená Kennethem Snelsonem nazývaná „Tree I“ nebo také „B Tree“, která se nachází v kanadském městě Bethesda.



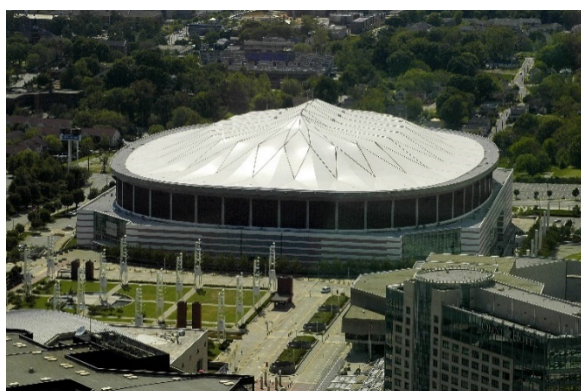
Obr. 1. "Tree I". [5]



Obr. 2. "Needle Tower". [6]

Další strukturou vytvořenou K. Snelsonem je „Needle Tower“ ve Washingtonu (Obr. 2.).

Na principu tensegrity byly také navrženy a zkonstruovány střechy olympijských stadionů v Atlantě (Obr. 3.) a v Soulu (Obr. 4.).

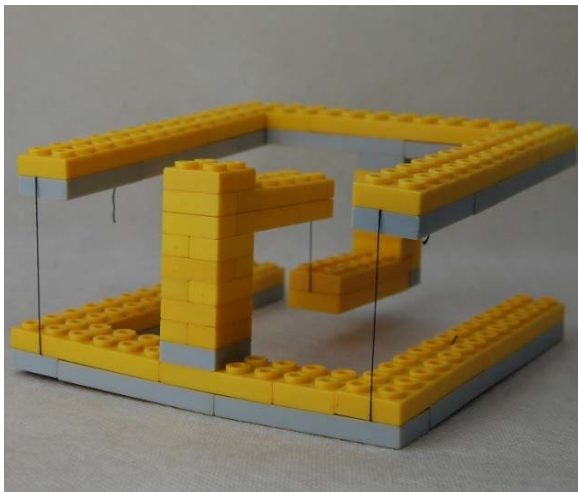


Obr. 3. Georgia Dome v Atlantě. [7]



Obr. 4. Olympic Hall v Soulu. [8]

Dalšími ukázkami tensegrity jsou již námi vytvořené nečisté struktury. V domácích podmínkách se dají tensegrity vyrobit z různých materiálů – stavebnice LEGO (či české alternativy Chevy (Obr. 5.)), pomocí komponentů vytvořených na 3D tiskárně (Obr. 6. a Obr. 7.), dřeva (Obr. 8.), či dřívěk od nanuků.



Obr. 5. Sestava z kostek Cheva.



Obr. 6. 3D výtisk z PETG.



Obr. 7. 3D výtisk PLA.



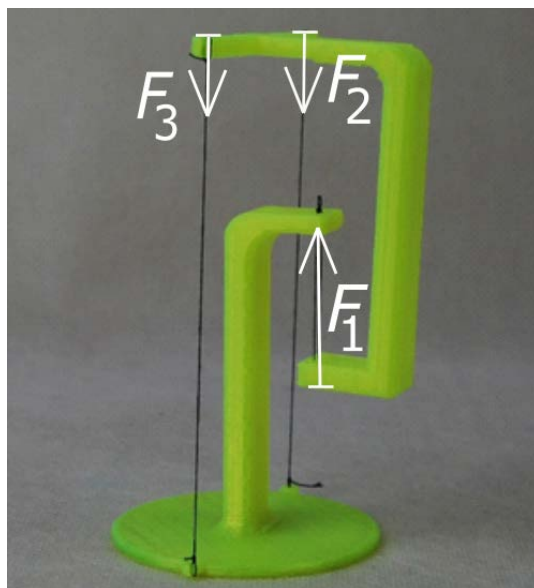
Obr. 8. Sestava z dřevěných latí.

Princip

Na první pohled se může zdát, že tensegrity popírají gravitaci. Avšak po prozkoumání struktury je patrné, že se o levitaci nejedná, ale „pouze“ o aplikaci fyzikálních zákonů.

Každá tensegritní struktura je tvořena dvěma prvky – tyčemi (nebo různými ohnutými či spojenými tělesy) a lany (ty mohou být nahrazeny provázkem, řetízkem apod.). Na tyče, stejně jako na každé hmotné těleso na Zemi, působí tíhová síla. Dále na sebe tyče navzájem působí tlakovou silou. Lana jsou mezi tyčemi natažena pod určitým napětím. Aby se struktura nezřítla, musí být velikost napětí na lanech v rovnováze se silami působícími na tyče. V praxi to znamená, že lana napínáme do té doby, než tensegrita zůstane držet bez vnějšího zásahu.

Princip tensegrit můžeme také vysvětlit pomocí rozkladu sil. K vysvětlení si vezmeme na pomoc strukturu vytvořenou pomocí 3D tisku. Pro sestavení struktury jsou použity tři provázky (provázek uprostřed je pro jednodušší upevnění svázaný do smyčky), přičemž každý z nich je napínán určitou silou F_1 , F_2 , F_3 (Obr. 9.).



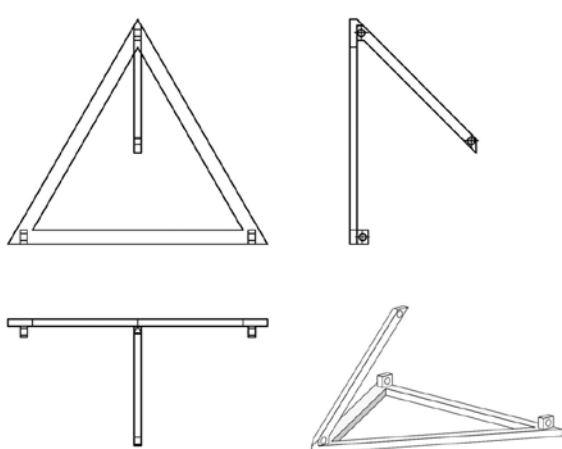
Obr. 9. Rozdělení sil.

Síla F_1 působí proti tíze horní části konstrukce. Kdyby však byla horní část připevněna pouze provázkem uprostřed, převrátila by se na podložku. Jednalo by se totiž o těleso ve vratké rovnovážné poloze, které je podepřeno pod těžištěm. Proto jsou použity ještě provázky napínané silami F_2 a F_3 , které zabraňují převrácení. Tudíž síly F_2 a F_3 působí proti směru působení síly F_1 , a jejich součet je roven síle F_1 ($F_2 + F_3 = F_1$).

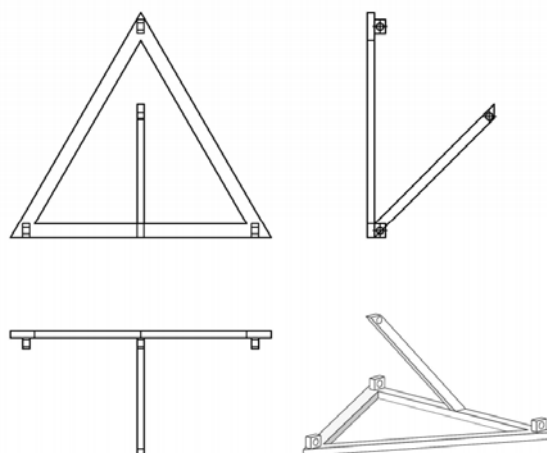
Abychom dokázali, že rozklad sil v tensegritních strukturách platí, provedeme měření pomocí bezdrátových siloměrů od firmy Vernier (Go Direct siloměr, akcelerometr a gyroskop). Avšak tyto siloměry jsou větších rozměrů, a na konstrukci vytvořenou na 3D tiskárně by se nedaly zavěsit. Proto je třeba vytvořit větší konstrukci. Její tvorbě (a tvorbě plastové tensegrity) se bude věnovat následující kapitola, v další se vrátíme k měření.

Výroba plastové a dřevěné tensegrity

V programu SolidWorks 2020 byla nakreslena skica o podstavě rovnostranného trojúhelníku s jedním vyčnívajícím prvkem z jednoho vrcholu (Obr. 10.).

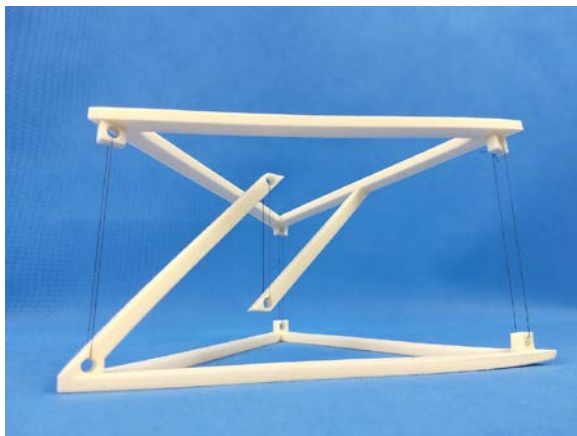


Obr. 10. Spodní díl.



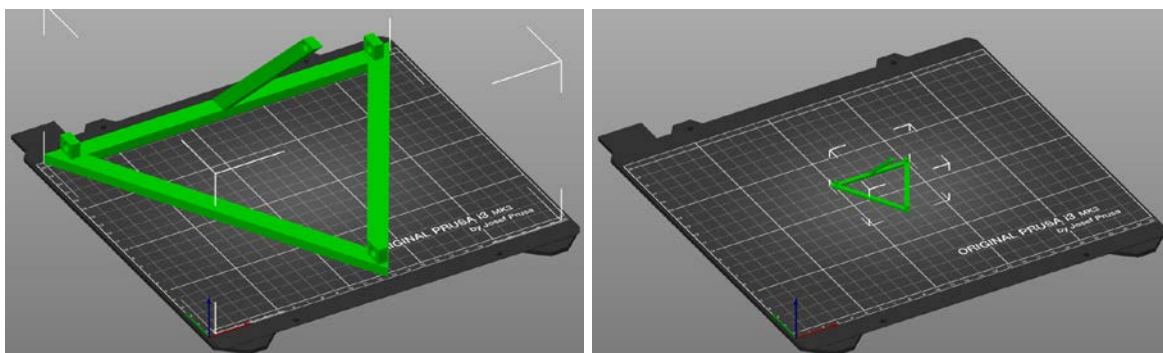
Obr. 11. Horní díl.

Na stejném základě byl vytvořen druhý díl, u kterého došlo k přesunu vyčnívající částí do středu jedné strany trojúhelníku (Obr. 11.). Oba prvky byly exportovány do programu PrusaSlicer 2.2.0, kde byla nastavena výška vrstvy 0,30 mm a výplň 20 %. Jako tiskový materiál byl zvolen filament PLA pro své vhodné mechanické vlastnosti. Tisk jednoho dílu trval do 3 hodin, pokud byla využita maximální část plochy tiskárny Prusa i3 MK3S. Hotové modely byly doplněny nití a celek pak tvořil jednoduchou demonstrační nečistou tensegritu (Obr. 12.).



Obr. 12. Zkompletovaný model.

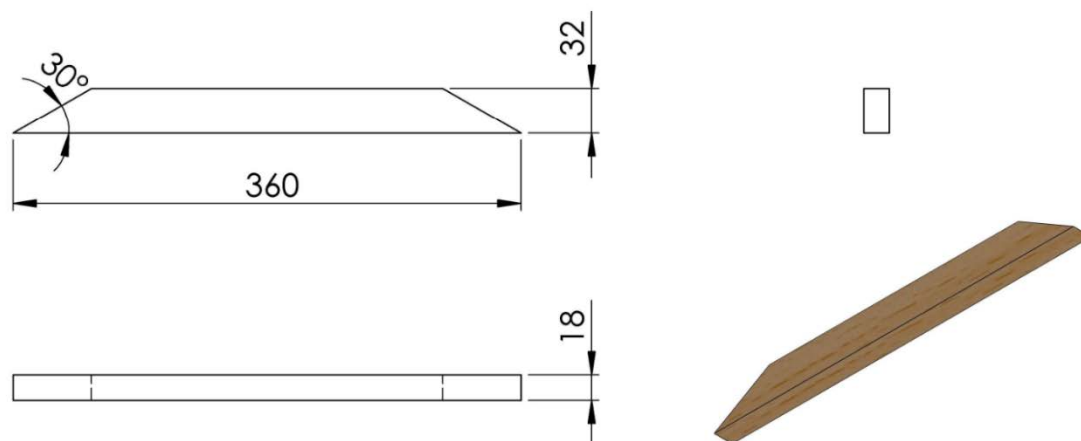
Výhodou 3D tisku je možnost měnit měřítko výtisku ve sliceru. Je velmi jednoduché vytisknout modely ve zmenšeném měřítku pro frontální pokusy (Obr. 13).



Obr. 13. Změny rozměrů modelu pro tisk úpravou pomocí měřítka.

K výrobě dřevěné tensegritní struktury byla použita hoblovaná lať o rozměrech $32 \times 18 \times 2\,000$ mm z prodejny UNI HOBBY [9]. Pro námi zvolené rozměry tensegrity byly za potřebí dva kusy této latě.

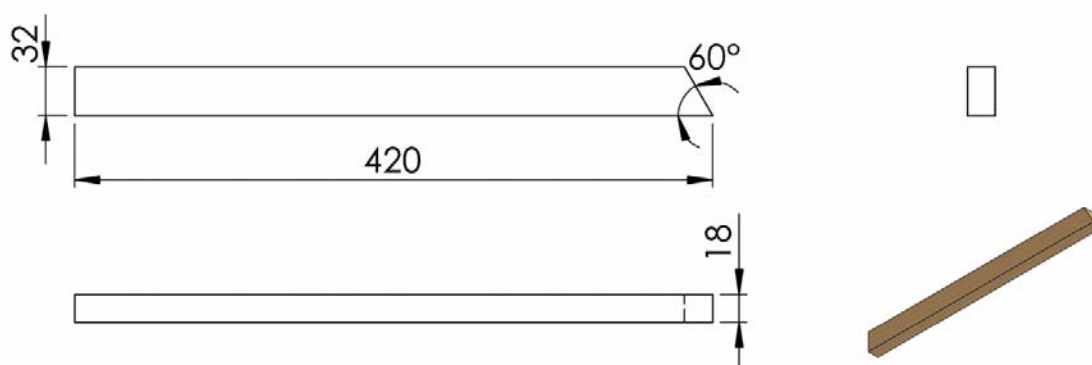
Z latí bylo nařezáno šest stejných kusů o rozměrech uvedených na Obr. 14.



Obr. 14. Výkres základního dílu.

Pro jednodušší předkreslení před následným řezáním doporučujeme požadovaný tvar nejprve narýsovat na tvrdší papír (karton), a ten pak postupně šestkrát obkreslit na latě.

Dále bylo zapotřebí z latě uříznout dva kusy s rozměry uvedenými na Obr. 15.



Obr. 15. Výkres dílu.

Jako spojovací materiál byly použity vruty se zápustnou hlavou s křížovou drážkou – přesněji osm kusů vrutů 4×50 mm s celozávitem a dva vruty 4×30 mm s částečným závitem. Typ vrutů není ničím omezen, použili jsme takové, jaké byly zrovna k dispozici.

Ze šesti stejných nařezaných částí latě byly sešroubovány dva trojúhelníky. Dále byly k trojúhelníkům pomocí dvou vrutů (delšího a kratšího) připevněny poslední připravené části latě. Tím vznikly dvě totožné poloviny tensegritní struktury (Obr. 16.).



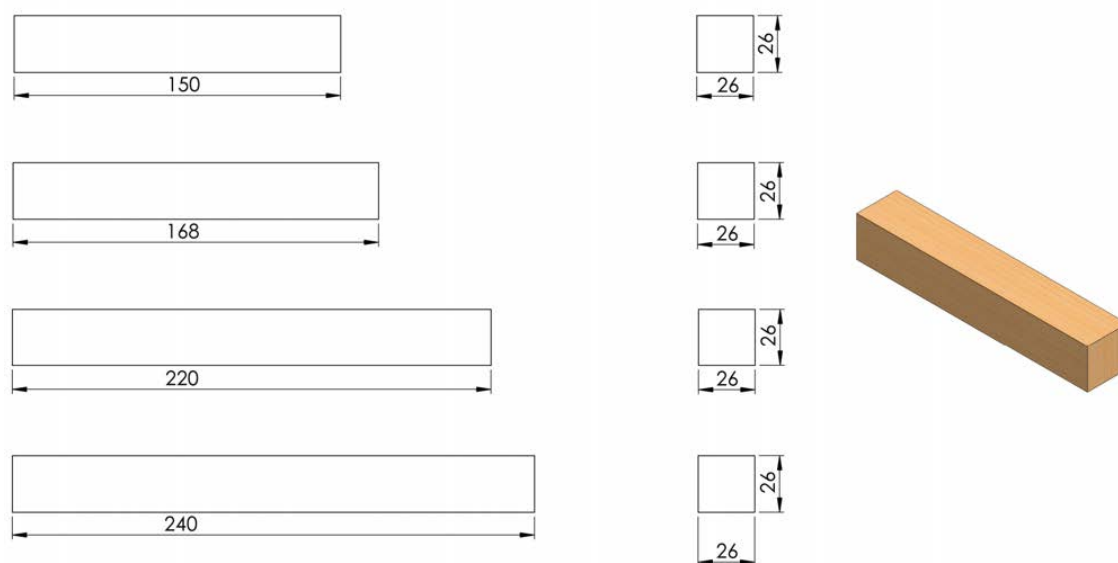
Obr. 16. Polovina tensegrity (již s připevněnými očky).

Během tvorby první verze dřevěné konstrukce jsme trojúhelník jedné poloviny tensegrity provrtali v jeho rozích a druhý trojúhelník ve středu stran. Latě tyčící se do výšky jsme provrtali 40 mm od volného konce. Následně jsme konstrukci začali spojovat pomocí provázků. Avšak provázky se při práci neosvědčily, po zauzlování se již špatně mění jejich délka. Místo nich jsme tedy použili kuličkový řetízek určený pro žaluzie se spojkami, u kterého můžeme měnit délku pomocí odstřížení jednotlivých kuliček. Avšak ani tato verze nebyla ideální.

Rozhodli jsme se tedy vytvořit novou konstrukci bez provrtání děr pro spojení. Na místo děr jsme našroubovali očka se závitem zavřená (velikost 20, osm kusů) a pro propojení jsme použili ocelový řetěz poniklovaný s rozměry oček $8 \times 6 \times 1$ mm. Samozřejmě, abychom mohli řetěz zaháknout do oka, museli jsme oko nejprve pootevřít pomocí plochých kleští.

Obě poloviny jsme spojili nejprve uprostřed konstrukce, kde je délka řetízku libovolná. Další řetízky již byly napínány tak, aby byl vrchní díl výsledné konstrukce ve vodorovné poloze, a rozložení sil v rovnováze. Tudíž tensegrita držela bez vnějšího zásahu.

Dále jsme vytvořili ještě jednu dřevěnou konstrukci, která měla jednodušší tvar, a tudíž byla snadnější na konstrukci. K výrobě byla použita opět hoblovaná lať z UNI HOBBY tentokrát o rozměrech $26 \times 26 \times 2\,000$ mm [10]. Z ní jsme nařezali jednotlivé kusy o rozměrech uvedených na Obr. 17.



Obr. 17. Výkresy potřebných dílů.

Každý rozměr je třeba dvakrát, jen 220 mm čtyřikrát. Následně jsme jednotlivé části spojili pomocí vrutů a hřebíků dle Obr. 18. a Obr. 19.



Obr. 18. Spojení jednotlivých kusů do tvaru U.



Obr. 19. Spojení zbylých kusů do tvaru L.

Dále jsme tyto dvě části spojili dohromady. Tím vznikla jedna polovina tensegritní struktury. Druhá se vytvořila totožně. V posledním kroku jsme obě poloviny propojili pomocí řetízků a oček (Obr. 20.).



Obr. 20. Zkompleťovaná konštrukcia.

Použití tří řetízků, oproti čtyřem, zjednodušuje popis rozkladu sil a je pro žáky méně komplikované na pochopení principu konstrukce. Přehlednost modelu je vykoupena horší stabilitou oproti modelům s více lany.

Měření

Měřením siloměry chceme prokázat rozklad sil v tensegritě. Za tímto účelem jsme vytvořili dřevěnou konstrukci, na kterou lze pomocí již použitých řetízků připevnit bezdrátové siloměry od firmy Vernier (Obr. 21.).



Obr. 21. Dřevěná tensegrita s připevněným siloměrem.

Při měření by mělo platit, že prostřední řetízek je napínán stejně velkou silou, jako je součet sil u ostatních řetízků.

Prvním způsobem měření bylo zavěšení siloměrů na všechny řetízky. Avšak v průběhu zavěšování se měnily hodnoty na ostatních siloměrech z důvodu vlastní tíhy siloměrů. Přičemž na středu tensegrity byly tyto změny nejvíce patrné. Po připevnění všech siloměrů nešlo z naměřených hodnot vyčíst důkaz rozkladu sil.

V druhém způsobu měření jsme použili jeden siloměr. Postupně jsme ho upevnili na každý řetízek a určili sílu napnutí. Tím jsme se vyhnuli vzájemnému ovlivnění jednotlivých hodnot.

Pro srozumitelnější formulaci následujících řádků si označíme působící síly v tensegritě F_1 , F_2 , F_3 a F_4 (Obr. 22.).



Obr. 22. Síly působící v tensegritě.

$$F_1 = 6,5 \text{ N}$$

$$F_2 = 4,1 \text{ N}$$

$$F_3 = 1,1 \text{ N}$$

$$F_4 = 1,1 \text{ N}$$

$$F'_1 = F_2 + F_3 + F_4 = 4,1 + 1,1 + 1,1 = 6,3 \text{ N}$$

$$F_1 = F'_1$$

$$6,5 \text{ N} \approx 6,3 \text{ N}$$

Výsledné hodnoty nejsou totožné, s přihlédnutím k přesnosti měření siloměru ($\pm 0,1 \text{ N}$) lze konstatovat, že jsou hodnoty přibližné.

Nerovnost sil je pravděpodobně způsobena doprovodným rozkladem sil vzniklým v důsledku napnutí řetízků jiným než svislým směrem.

Z měření je také zjevné, že síla F_2 nejvíce vyvažuje sílu F_1 . Síly F_3 a F_4 jsou totožné, obě vyrovnávají stabilitu a vodorovnost tensegrity.

Tensegrity v jiných oborech

Z ukázek výše je patrné, že s tensegritami se můžeme setkat v architektuře a umění. To však není vše. V biologii se můžeme setkat s tensegritním modelem buňky, i DNA má strukturu tensegrity. Dalším příkladem je obor robotiky. Tensegritní roboti mohou být využiti na prozkoumání neznámých míst, kde působí předem neznámé silové účinky – jejich konstrukce je odolná vůči vnějším silám a pohybují se pomocí změny délek jednotlivých lan.

Závěr

Tensegritní struktury jsou zajímavým příkladem aplikace fyzikálních zákonů. V žácích vzbudí zájem jejich zajímavá konstrukce, která jakoby popírala gravitaci. V hodinách fyziky mohou být pomůckou při probírání látky rozkladu sil, či praktickou úlohou k sestrojení.

Literatura

- [1] Motro, R. (2003) Tensegrity: Structural Systems for the Future, London: Kogan Page Science.
- [2] Gómez-Jáuregui, Valentín. Controversial Origins of Tensegrity. In: Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2009. Valencia, 2009, 1642-1652.
- [3] Land, Peter a Ane FERREIRO SISTIAGA. Tensegrity Structures. 2013.
- [4] Gómez-Jáuregui, Valentín. Tensegrity Structures and their Application to Architecture. Belfast, 2004.
- [5] Kenneth Snelson - "Tree I." In: Wikimedia Commons [online]. 2019 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://bit.ly/2XEze4V>
- [6] 'Needle Tower' 1968 by Kenneth Snelson -- The Hirshhorn Museum and Sculpture Garden Washington (DC). In: Flickr [online]. [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://bit.ly/33FbIIP>
- [7] Georgia Dome. In: Flickr [online]. [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://bit.ly/3gBlb6H>
- [8] SK Olympic Handball Gymnasium, Seoul, South Korea. In: Wikimedia Commons [online]. [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://bit.ly/2DwZ0RR>
- [9] Hoblovaná lať smrk 2 m. UNI HOBBY [online]. [cit. 2020-07-13]. Dostupné z: <https://bit.ly/33Uccli>
- [10] Hoblovaná lať smrk 2 m. UNI HOBBY [online]. [cit. 2020-08-25]. Dostupné z: <https://bit.ly/35d3eJV>

Fyzikální experimenty ve Stromovce

Vojtěch Žák

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

Příspěvek seznamuje s několika fyzikálními experimenty a s nimi spojenými aktivitami, které mohou žáci provádět, pokud nechceme nebo nemůžeme být ve školní budově. Experimenty se týkají zejména zapojování elektrických obvodů, výroby a použití jednoduchého kompasu, určování převýšení terénu a zjišťování strmosti svahu. Při těchto experimentech a aktivitách je vhodné využít možností venkovního prostředí, jeho specifika. Zaujmout mohou jak žáky 2. stupně základních škol, tak středoškoláky. Ověřeny byly na jaře 2020 v pražské Stromovce, kdy nebylo možné být ve školní budově, ale žáci toužili zaexperimentovat si.

Úvodem

Níže diskutované aktivity – zapojování elektrických obvodů, výroba a použití jednoduchého kompasu, určování převýšení terénu a zjišťování strmosti svahu – byly s žáky vyzkoušeny na jaře 2020 v pražské Stromovce. Při těchto aktivitách jsou využívána specifika venkovního prostředí, např. strmý svah, klidná vodní hladina, přítomnost kovových předmětů apod. Žákům je vhodné dát větší volnost v promýšlení postupu, jak daný úkol splnit. Je cenné, pokud žáci sami navrhnou, které pomůcky budou potřebovat, jaká úskalí jejich řešení má, jak by se řešení dalo vylepšit atd.

Zapojování elektrických obvodů s tím, „co dá Stromovka“

Úkol: Kromě baterie a drátů připojte k LEDce ještě nějakou věc, kterou najdete ve Stromovce, aby LEDka svítila.

Pomůcky: plochá baterie, LED, 3 vodiče, krokosvorky (pro pohodlí až 6) a další vodič, který žáci najdou



Obr. 1. Jedno ze správných zapojení obvodu – s využitím kovové zátky.

Typický průběh: Žáci sestavují obvod, ve kterém je vše zapojeno v sérii. Mezi dva nespojené vodiče zapojují např. kovovou zátku (od skleněné lahve, viz Obr. 1), část kovové plechovky od nápoje, vrut v dřevěné lavičce apod.

Poznámky: Žáci si občas neuvedomí, že LEDka by měla být zapojena v propustném směru. Někdy je třeba do slovního vymezení úkolu přidat slovo „funkčně“, tj. „...připojte k LEDce funkčně ještě nějakou věc...“, protože LEDka může svítit i v případě, že připojíme k uzavřenému obvodu „cokoli paralelně jako neuzavřenou větev“.

Výroba a vyzkoušení jednoduchého kompasu

Úkol: Vytvořte si jednoduchý kompas z korku a špendlíku. Vyzkoušejte ho na vodní hladině.

Pomůcky: kousek korku (nízký korkový váleček uříznutý z korkové zátky), špendlík (běžný, ne zavírací), magnet (např. feritový „z nástěnky“), příp. další kompas (pro porovnání)

Typický průběh: Pokud žáci nevědí, jak vyrobit jednoduchý kompas (zmagnetování špendlíku, umístění špendlíku na korek), může jim učitel dát vytištěný návod na jeho výrobu, viz např. [1]. Na klidnou vodní hladinu žáci náhodně umístí vyrobený improvizovaný kompas. Zjistí, že kompas má tendenci se nastavit vždy stejně a to tak, aby zmagnetovaný špendlík ukazoval severojižním směrem.

Poznámky: Vyrobený kompas doporučujeme dát mimo dosah případných dalších těles na vodní hladině. Pro porovnání, jakým směrem kompas (jeho špendlík) ukazuje, je vhodné použít jiný kompas (viz Obr. 2). Žákům můžeme položit otázku, jak rozeznají sever a jih (např. podle polohy slunce na obloze).



Obr. 2. Jednoduchý kompas z korku a jeho porovnání s dalším kompasem.

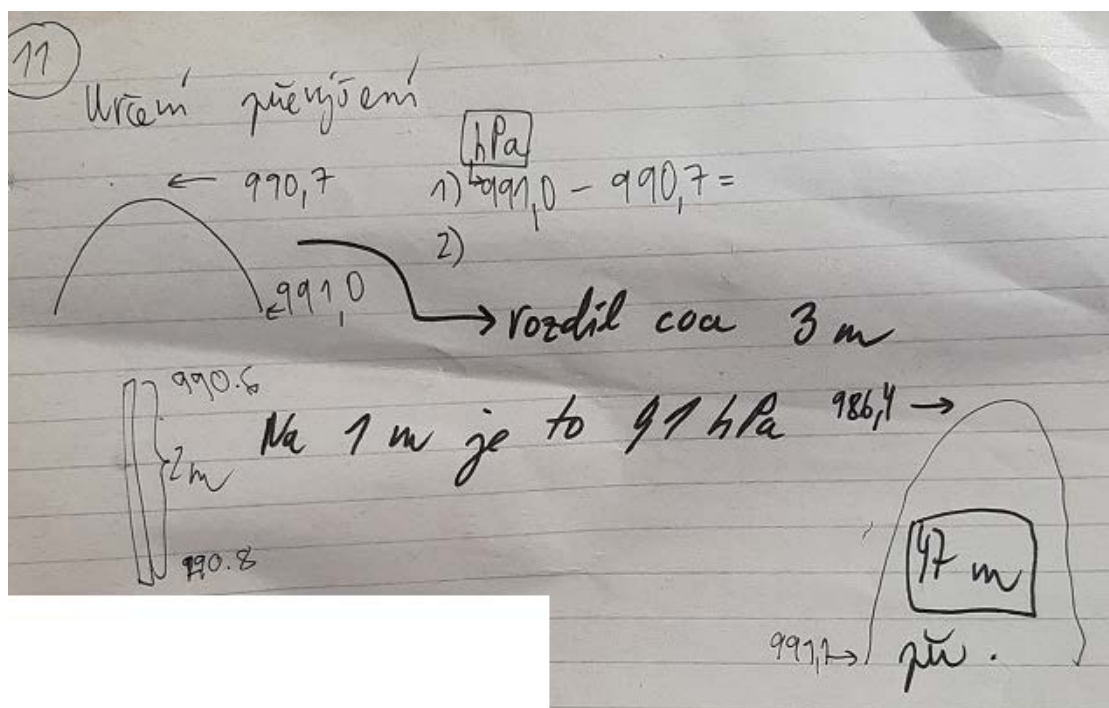
Měření převýšení terénu pomocí barometru

Úkol: Pomocí barometru určete výšku svahu nebo kopce.

Pomůcky: barometr (zobrazující desetiny hPa, např. Greisinger GPB 3300), skládací 2metr, příp. mapa (pro porovnání)

Typický průběh: Žáci si všimnou, že barometr ukazuje ve větší výšce menší atmosférický tlak („nad hlavou“ méně než „u nohou“). Pomocí svisle umístěného 2metru zjistí, že 2 metry do výšky znamenají obvykle zmenšení tlaku o 0,2 hPa. Na základě tohoto poznatku určí převýšení svahu nebo kopce (0,1 hPa znamená přibližně 1 m; viz Obr. 3).

Poznámky: Doporučujeme zkoumat změnu tlaku u převýšení aspoň 2 m (1 m je na hranici citlivosti použitého barometru), nejlépe 10 m a více. Převýšení mohou žáci porovnat s vrstevnicemi na mapě (viz např. www.mapy.cz). Při návratu na původní místo nemusí barometr ukazovat původní hodnotu (atmosférický tlak obecně kolísá v čase; citlivost barometru). Další náměty týkající se atmosférického tlaku viz [2].



Obr. 3. Autentický záznam žáků z měření převýšení terénu (hůře čitelné hodnoty vpravo jsou 991,1 hPa a 986,4 hPa).

Ohodnocení strmosti svahu nebo cesty

Úkol: Ve svém okolí najděte strmou část svahu nebo cesty. Na základě měření strmost ohodnoťte.

Pomůcky: pravítka, vodováhy, příp. úhloměr

Typický průběh: Žáci pomocí pravítek, vodováhy a příp. úhloměru zjišťují úhel mezi vodorovnou rovinou a svahem nebo cestou (nakloněnou rovinou). Úhel měří buď přímo pomocí úhloměru, nebo ho dopočítávají z pravoúhlého trojúhelníka (např. pomocí funkce \arctg). Někdy zjišťují, o kolik centimetrů klesne svah vzhledem k určité vodorovné vzdálenosti (Obr. 4).

Poznámky: Poslední uvedený způsob se (jeho podstata) využívá v silniční dopravě; dopravní značka s údajem „12 %“ např. znamená, že na 10 m ve vodorovném směru silnice vystoupá (nebo klesne) o 1,2 m ($1,2 : 10 = 0,12 = 12 \%$). Žáci bývají překvapeni, že i strmě vypadající svahy mívají strmost (sklon) často menší než 45° .



Obr. 4. Měření vedoucí k určení strmosti svahu (základem je pravoúhlý trojúhelník – vodorovná a svislá strana je hledána pomocí vodováhy).

Další fyzikální experimenty, které dovoluje Stromovka

Níže uvádíme velmi stručně několik dalších námětů na fyzikální experimenty, které je možné provádět mimo školní budovu. Formulujeme příslušné otázky, které můžeme položit žákům, a naznačujeme řešení.

- *Jakou průměrnou rychlostí se pohybuje dopředu tenisák, když házíme do dálky?*
Předběhne člověk takto hozený tenisák?
Při hodu do dálky se ukazuje, že člověk tenisák hozený do větší vzdálenosti spíše nepředběhne (průměrná rychlost bývá větší než $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$). K měření stačí pásmo a stopky v mobilním telefonu.
- *Jak vysoko „nad hlavu“ člověk dokáže vyhodit tenisák?*
Měření výšky bývá náročnější než měření délky („dálky“). Žáci většinou nadhodnocují odhad, jak vysoko míček vyhodí. Výška se poměrně dobře určuje na základě videa natočeného mobilním telefonem.
- *Jaké jsou v okolí zdroje magnetismu?*
Žáci mohou pomocí kompasu identifikovat jako zdroje magnetického pole např. koš na odpadky, zábradlí, nohy lavičky v parku atd.

Závěrem

V tomto článku byly představeny čtyři aktivity (a tři další návrhy) zahrnující fyzikální experimenty, které je možné provádět mimo školní budovu, v přírodě. Dají se realizovat na velmi jednoduché, ale i složitější úrovni, takže mohou být vhodné jak pro žáky 2. stupně ZŠ, tak pro žáky SŠ, pro žáky různě motivované a různě nadané. Učitelům přejeme velkou trpělivost a citlivost vůči nápadům žáků. Ačkoliv se nedomníváme, že by tyto a podobné aktivity měly nahradit běžnou výuku fyziky, přesto by mohly ve výuce fyziky najít svoje místo.

Literatura

- [1] *Zábavná fyzika: Navigace z korkové zátky*. [cit. 14. 9. 2020]. Dostupné online: <https://www.alik.cz/a/zabavna-fyzika-navigace-z-korkove-zatky>
- [2] Žák V.: *Atmosférický tlak na několik způsobů*. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 21*. Sborník z konference. Eds.: T. Milář, J. Válek. Masarykova univerzita, Brno 2016. ISBN 978-80-210-8465-0. Dostupné online: <https://vnuf.cz/sbornik/rocniky/>