Co jsem dělal ~~o prázdninách~~ [1] na Hraštici 2017

Leoš Dvořák, KDF MFF UK Praha

Následující text je stručným popisem několika malých „miniprojektů“ na jarním soustředění pro budoucí učitele fyziky a spřízněné duše na Hraštici v květnu 2017.

Diamagnetismus vody

Voda je diamagnetická, takže v nehomogenním magnetickém poli je vypuzována z míst silnějšího pole do míst, kde je pole slabší. Následující pokus, který to dokazuje, jsem viděl u prof. Gorazda Planinšiče na Univerzitě v Ljublani; vyzkoušel jsem ho právě na hraštickém soustředění.

Do talíře nebo šálku dáme tyčový magnet tak, aby jeho pól mířil nahoru, a do šálku nalejeme tolik vody, aby magnet zalila, ale přitom její hladina byla jen kousek nad magnetem. Při šikmém pohledu pak vidíme, že voda se má tendenci od pólu magnetu „odtahovat“ – ne ovšem nahoru, ale do stran, viz obr. 1.

Obr. 1. Demonstrace diamagnetismu vody

Teoretický odhad[2] vede k výsledku, že snížení hladiny by mohlo být $B^2|\chi|/(2\mu_0\rho g)$, kde B je velikost magnetické indukce u pólu magnetu, χ magnetická susceptibilita vody, ρ její hustota, μ_0 permeabita vakua a g tíhové zrychlení. Velikost magnetické indukce u pólu neodymového magnetu může být asi 0,7 T. Velikost magnetické susceptibility vody najdeme v tabulkách rovnu $-9\cdot10^{-6}$, $\rho \doteq 10^3\ \mathrm{kg/m^3}$, $g \doteq 10\ \mathrm{m/s^2}$, $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\ \mathrm{H/m}$. Po dosazení dostaneme, že snížení hladiny nad pólem by mělo být necelých 0,2 mm.

Zkusit změřit rozdíl výšky hladin a porovnat ho s teoretickou hodnotou patří k námětům na další práci. Ta by měla zahrnout i rešerši, tj. bude třeba najít v literatuře, jestli jiní autoři počítají snížení

---

[1] Tuhle reminiscenci na [1], jsem si prostě nemohl odpustit….

[2] Jenom náznakem, jak lze na takovýto odhad jít: Hustota energie magnetického pole v látce je $B^2/(2\mu_0\mu_r)$, mimo látku (ve vakuu a prakticky stejně ve vzduchu) pak $B^2/(2\mu_0)$. Rozdíl vynásobený objemem V je příspěvek magnetického pole k energii „kousku vody“ o objemu V, přibližně je to $B^2/(2\mu_0)\cdot(-\chi V)$. Potenciální energie tohoto kousku vody v tíhovém poli je $mgh = \rho V g h$. Sečtením obou energií a uvážením toho, že na hladině vody musí mít daný „kousek vody“ všude stejnou energii (jinak by se z místa o vyšší energii „skutálel“ do míst o nižší energii; hladina je ekvipotenciální plocha) už vyjde v textu uvedený výsledek.

hladiny stejně ev. jak odvozují příslušný vzorec. (Zatím jsem našel články [2-4], pramen [3] skutečně uvádí stejný teoretický vztah pro snížení výšky hladiny.) Poznamenejme, že při podrobnějším rozboru pokusu by bylo třeba uvážit i vliv povrchového napětí – to se snaží zmenšit povrch hladiny, takže bude zřejmě povrch „důlku“ způsobeného magnetickým polem táhnout naopak nahoru.[3] V abstraktu práce [3] je ale uvedeno, že vliv povrchového napětí nepřevyšuje 10%.

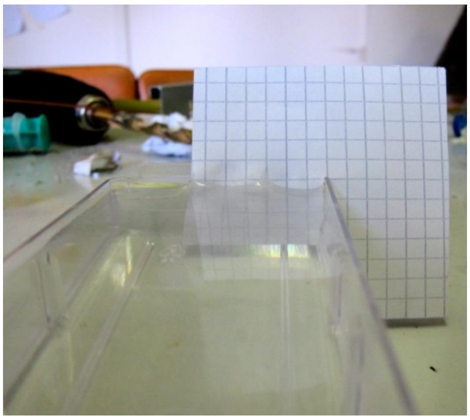
Diamagnetismus vody podruhé

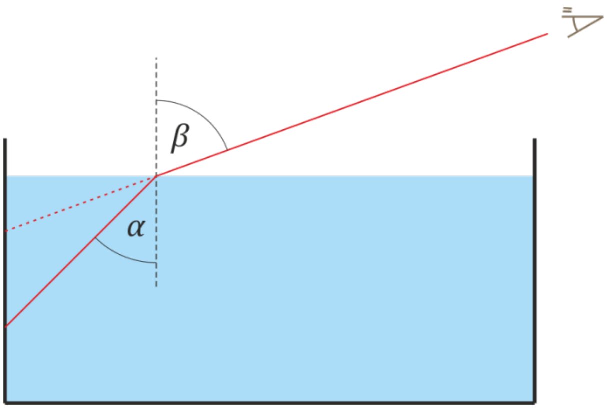
„Klasickým“ pokusem demonstrujícím diamagnetismus vody je napíchnout na každý konec torzního vahadla kuličku hroznového vína a k jedné kuličce ze strany přiblížit silný magnet. Ten vodu obsaženou ve víně odpuzuje, takže vahadlo se pootočí.

Na Hraštici jsem zkusil tento pokus realizovat bez hroznového vína, s vahadlem z plastového brčka, do jehož jednoho konce jsem nasál kapku vody. Zdálo se, že neodymový magnet kapku vody opravdu odpuzuje, ale efekt nebyl příliš přesvědčivý. Navíc je plastové vahadlo z brčka citlivé na proudění okolního vzduchu, takže tato varianta pokusu asi není příliš vhodná.

„Pohled do kvádru vody“

Díváme-li se šikmo do vody, vidíme předměty pod vodu ve zdánlivě menší hloubce, viz obr. 2. Na fotografii vidíme, že linky na čtverečkovaném papíře mají, pozorovány vodou, zdánlivě menší svislou rozteč, než stejné linky ve vzduchu.





Obr. 2. Pohled do „kvádru vody“: svislé vzdálenosti vodorovných linek čtverečkovaného papíru pozorované skrz vodu vidíme menší

Kvalita fotografie je ovšem mizerná a je vidět, že řada věcí by potřebovala zlepšit, například:

- Čtverečkovaný papír nad hladinou vody se na hladině odráží, nad hladinu by tedy bylo vhodné dát černý papír.
- Vodorovné linky by měly být mnohem výraznější, asi by pomohl vzor rovnoběžných čar, dostatečně silných, vytištěných na laserové tiskárně.

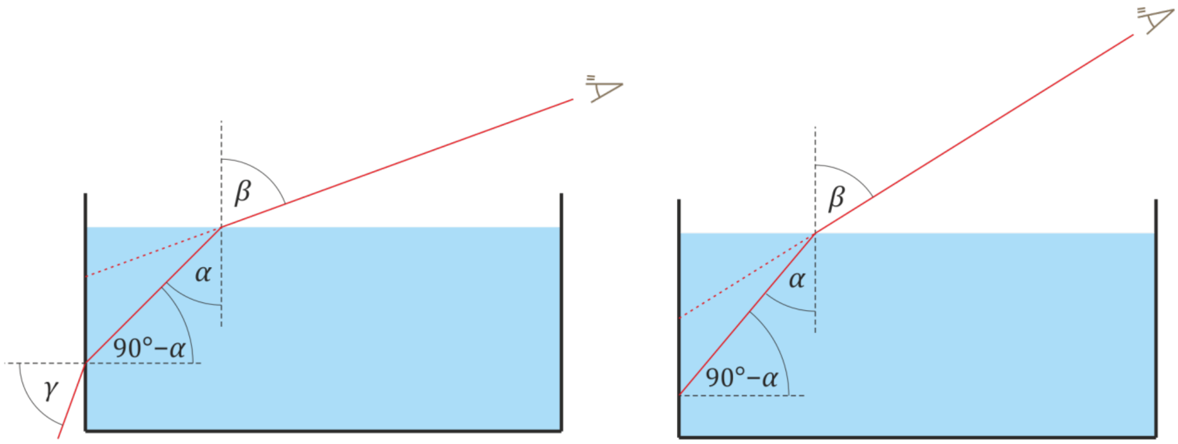
[3] Tento vliv by se dal omezit snížením povrchového napětí tím, že bychom do vody přidali například Jar nebo jiný podobný prostředek – ale je otázkou, jak je to s diamagnetismem takového roztoku. Tabulky susceptibilitu vody s Jarem neuvádějí…

- Pokud se papír dá přímo do vody, nasákne vodou a je vidět, jak v něm voda vzlíná; asi by chtělo vyzkoušet, jak by fungovalo zalaminování papíru, případně čáry vytištěné na tvrdý papír natřený pak nějakým průhledným lakem.
- Černý papír by bylo vhodné dát také na dno nádoby, aby "diváka" nemátly odrazy na dně.

Na druhou stranu se jako levná malá nádoba s rovnými stěnami osvědčila plexisklová krabička (asi na šroubky a podobné věci) koupená v běžném železářství (v Dobříši).

„Pohled do kvádru vody" podruhé

Pokud papír s vodorovnými linkami je na vnější straně nádoby s vodou, můžeme si všimnout i dalšího efektu: Spodní část papíru skrz vodu vůbec neuvidíme, místo toho tam vidíme „zrcadélko". Proč tomu tak je, ukazuje obr. 3.



Obr. 3. Kdy vidíme „skrz kvádr vody" ven, a kdy už ne

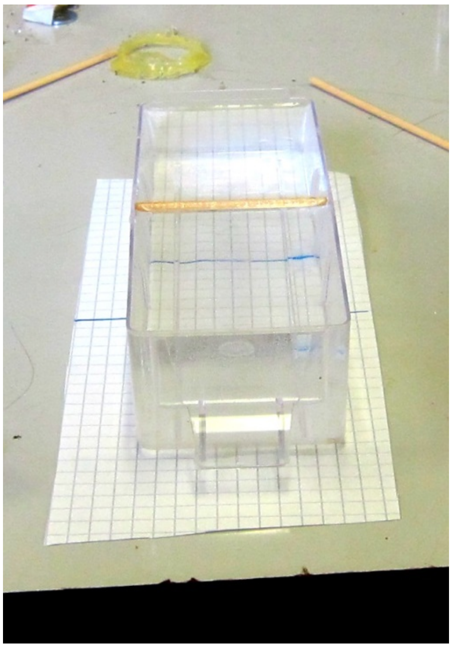
Aby do našeho oka prošel „skrz kvádr vody" paprsek zpoza zadní stěny, musí platit (viz obr. 3 vlevo) $\sin\gamma = n\cdot\sin\left(90°-\alpha\right)$, kde n je index lomu vody ($n \doteq 1{,}33$). Je-li $90°-\alpha > 48{,}75°$, musel by být $\sin\gamma$ větší než 1, což není možné, takže na rozhraní dochází k úplnému odrazu a žádné světlo se zadní stěnou v daném směru dovnitř nedostane; tato situace je naznačena na obr. 3 vpravo. Snadno lze spočítat, že k tomu dojde, když úhel β je menší než asi 61,27°.

Pokud při uvedeném pozorování změříme úhel, pod nímž už nevidíme zadní stěnu, ale horní hranu „zrcadélka" (daného úplným odrazem), můžeme vypočítat index lomu vody. Z měření na Hrašticí vyšla hodnota 1,31, což je v až překvapivě dobré shodě s tabulkovou hodnotou. Bude ale třeba ověřit, jak je tohle měření reprodukovatelné, jestli hodnota takto blízká správné hodnotě nevyšla jen náhodou. Musím přiznat, že jsem zatím neanalyzoval, jak přesně lze výše popsanou metodou index lomu určovat.

Při pokusu je třeba zajistit, aby zadní stěna nádoby byla svislá, hladina se také nesmí vlnit. Pokus by bylo třeba dotáhnout, aby bylo možno dostatečně přesně měřit úhel β. Při přesnějším popisu pokusu by bylo vhodné uvažovat také lom v materiálu zadní stěny nádoby; podrobnější rozbor však ukáže, že tento lom neovlivní výše uvedený výsledek (za předpokladu, že jsou stěny nádoby rovnoběžné). Zajímavé by bylo zkusit tímto způsobem měřit index lomu jiných kapalin, třeba nějakého oleje, a porovnat výsledek s hodnotami učenými jiným způsobem.

„Pohled do kvádru vody“ potřetí

Třetí pokus využívající pohled do „kvádru vody“ je zatím jen kvalitativní. Ukazuje, že předměty umístěné pod vodou vidíme posunuté. Fotografie na obrázku 4 ukazuje, jak vidíme čáru pod nádobou s vodou. Oproti známému pokusu s mincí na dně nádoby, kterou v prázdné nádobě přes okraj nevidíme a po přilití vody už vidíme, je v pokusu na obr. 4 vidět čára jak vodou, tak okolním vzduchem, je tedy jasně vidět, o kolik je čára posunutá. Při pokusu byla na hladinu nádoby nad danou čáru umístěna také špejle (vzepřená o stěny nádobky, aby její poloha byla fixována).



Obr. 4 Čára na papíře pod nádobou je ve skutečnosti pod špejlí umístěnou na hladině vody

Původní myšlenkou bylo z poloh čáry viděné vodou, vzduchem a z polohy špejle nějak určit index lomu vody. Při výpočtu na Hraštici byla využita i změřená hloubka vody. Z údajů zjištěných z fotografie a z hloubky vody vyšel index lomu asi 1,2 – chyba je zde hodně velká, takže se zatím nezdá, že by tato metoda byla pro určování indexu lomu vody vhodná. I jako kvalitativní pokus možná tato situace není nejvhodnější, dvě čáry a špejle, to už možná činí situaci na první pohled zbytečně složitou. Možná by stálo za to zkusit nedávat na hladinu špejli, mít pod nádobou jen výraznou čáru, vedle nádoby měřítko a dívat se, kam se obraz čáry pozorované skrz vodu posune, když bude mít voda postupně se zvyšující hloubku. Pokus by přitom bylo dobré pozorovat nebo fotografovat z větší vzdálenosti, teoretický popis situace by pak asi byl jednodušší.

Zatím není jasné, zda z tohoto námětu může vzniknout dostatečně přesvědčivý a pochopitelný jednoduchý pokus; pokud ano, rozhodně si to vyžádá ještě nemalé množství zkoušení a práce (a/nebo nějaký chytrý nápad).

Měření viskozity vody

K měření viskozity vody lze zkusit využít Poiseuilleův zákon (viz např. [5], kap. 10.4). Ten určuje tlakový spád Δp mezi začátkem a koncem trubky o poloměru R a délky l, jíž protéká kapalina viskozitě η, přičemž za čas Δt proteče objem ΔV:

$$\Delta p = \frac{8\eta l}{\pi R^4}\left(\frac{\Delta V}{\Delta t}\right) \tag{1}$$

Vztah platí pro laminární proudění. Ze známých hodnot z něj lze přímočaře určit viskozitu.

Pro pokus byla využita dvojice plastových stříkaček (bez pístů) spojených hadičkou délky 2,1 m o vnitřním průměru 4 mm. Stříkačky byly zafixovány pomocí hřebíků na svislou plochu (konkrétně na vrata[4]), jak to ukazuje obr. 5. Jedna stříkačka, i s vodou v ní, byla na začátku pokusu vyzdvižena výše; rozdíl tlaků byl pak dán rozdílem výšek hladin: $\Delta p = \rho g h$. Objem, který protekl, byl jednoduše odečten na stupnici stříkaček (jsou kalibrovány v mililitrech).

Obr. 5. Měření viskozity vody pomocí průtoku hadičkou mezi dvěma stříkačkami

Během pokusu se samozřejmě rozdíl výšek hladin mění, takže se mění i rychlost průtoku vody hadičkou. Teoretický výpočet zde pro stručnost nebudeme podrobně uvádět[5]. Vede na diferenciální rovnici prvního řádu s konstantními koeficienty:

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{\rho g\, R^4}{4\eta\, l\, R^2_{\text{stříkačky}}}\, h\ . \tag{2}$$

Jejím řešením je exponenciela. Rozdíl výšek hladin tedy s časem exponenciálně klesá.

---

[4] Zde jsem s výhodou využil skutečnosti, že na Hraštici opravdu není problém zatlouci hřebík téměř kamkoli. Po skončení měření jsem samozřejmě všechny hřebíky vytahal. V průběhu pokusu nebyla poškozena žádná zvířata ani žádné lidské bytosti; újma, kterou utrpěla vrata, byla marginální.

[5] Jak se vždy píše: Laskavý čtenář si jej snadno provede sám. Při výpočtu potřebujeme znát vnitřní průměr stříkaček $R_{\text{stříkačky}}$. Když průřezem hadičky proteče objem ΔV, pak v horní stříkačce hladina poklesne o $\Delta V \big/ \left(\pi R^2_{\text{stříkačky}}\right)$ a zároveň ve spodní stříkačce o stejnou hodnotu stoupne; rozdíl výšek hladin se tedy změní o $\Delta h = -2\,\Delta V \big/ \left(\pi R^2_{\text{stříkačky}}\right)$. Odtud $\frac{dh}{dt} \doteq \frac{\Delta h}{\Delta t} = -2 \big/ \left(\pi R^2_{\text{stříkačky}}\right) \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$, za průtok se pak dosadí z Poiseulleova zákona (1), v němž $\Delta p = \rho g h$ a rovnice pro změnu výšek hladin h je hotová.

Na Hraštici jsem pokles rozdílu výšek hladin natočil na video (fotoaparátem a tabletem), videa ovšem ještě čekají na zpracování. Z měření času, který trval průtok 5 ml hadičkou (trvalo to asi 5 s, čas byl měřen stopkami) vyšla pro viskozitu vody hodnota asi $1{,}7 \cdot 10^{-3}$ Pa·s. Tabulky [6] udávají pro vodu hodnotu $1{,}002 \cdot 10^{-3}$ Pa·s při 20°C. Řádově tedy naměřená hodnota odpovídá, ale přesto je výrazně vyšší, než hodnota tabulková. Rozdíl nelze vysvětlit teplotou vody. Viskozita sice na teplotě významně závisí, ale teplota vody použité v pokusu činila asi 19°C. Interpolací z tabulkových hodnot pro ni dostaneme viskozitu $1{,}03 \cdot 10^{-3}$ Pa·s.

O možných vysvětleních zatím lze jen spekulovat. Vzhledem k silné závislosti na poloměru hadičky bychom tabulkovou hodnotu dostali, kdyby vnitřní průměr hadičky byl 0,35 mm, ovšem nelze předpokládat, že bychom při měření vnitřního průměru udělali tak velkou chybu. Vliv by též mohlo mít vyústění stříkačky, to má vnitřní průměr jen 2 mm – ovšem je dlouhé jen asi 1 cm a při délce hadičky 2,1 m odhadem může dát odchylku jen asi 15%.[6] Přesto bude vhodné zkusit trubičku u stříkačky zkrátit, zda se projeví nějaký rozdíl.

Další příčinou, proč měření dává vyšší než tabulkovou hodnotu, by mohla být skutečnost, že proudění není přesně laminární. I drobné turbulence by totiž mohly zvětšovat tlakový spád. Spočteme-li Reynoldsovo číslo $\mathrm{Re} = (R v \rho)/\eta$, dostaneme (pro poloměr hadičky 2 mm a pro rychlost proudění $v \doteq 0{,}1\,\mathrm{m/s}$, která odpovídá tomu, že objem 5 ml protekl za asi 4 s) výsledek $\mathrm{Re} \doteq 200$. V literatuře se uvádí, že proudění je turbulentní, má-li Reynoldsovo číslo hodnotu vyšší než tisíc až dva tisíce. (Wikipedie [7] uvádí hodnotu 2320, ale zároveň píše, že „horní rozhraní je velmi nejednoznačné.) Proudění v našem pokusu by tedy mělo být laminární, ale možná, že stopy turbulence by při našem pokusu mohly zůstávat a výsledek ovlivnit. Zajímavé bude proměřit časový vývoj rozdílu výšky hladin – při nižších rychlostech proudění by vliv turbulencí měl klesat a výpočet by tedy snad mohl dát přesnější hodnotu viskozity. Je vidět, že v tomto pokusu je hodně co dále zkoumat a zlepšovat.

Poznamenejme, že k výpočtu nemusíme nutně řešit diferenciální rovnici. Na středoškolské úrovni lze pro přibližné měření vzít průměrný rozdíl výšek hladin ve stříkačkách (např. mezi tím, než v horní stříkačce poklesne objem vody z 15 ml na 10 ml) a průměrný objemový průtok (zmíněných proteklých 5 m vydělit dobou, kterou trvalo vytečení těch 5 ml).

Svislý a vodorovný vrh proudem vody ze stříkačky

Poslední soubor pokusů byl rozvinutím jednoho z pokusů popsaných v příspěvku [8]. Naplníme-li plastovou stříkačku vodou a vystříkneme svisle vzhůru, voda dostříkne do výšky pět metrů i více. Z výšky tohoto „svislého vrhu“ lze spočítat počáteční rychlost vody tryskající z trubičky stříkačky (vyjde minimálně 10 m/s). Trubička má vnitřní průměr 2 mm, stříkačka (žlutá stříkačka Chirana o objemu 20 ml) má vnitřní průměr 2 cm, tj. plocha pístu je stokrát větší než plocha průřezu trubičky. Podle rovnice kontinuity tedy vychází, že (maximální) rychlost pístu stříkačky je 0,1 m/s. To by šlo ověřit videozáznamem pohybu pístu.

Výška dostřiku vody se ovšem obtížně měří a tak jsem na Hraštici pokus modifikoval a místo svislého vrhu proměřoval vodorovný. To znamená, stříkačku jsem orientoval tak, aby z ní voda stříkala ve

[6] 1 cm délky trubičky na stříkačce způsobí stejný tlakový spád jako 16 cm hadičky o dvojnásobném průměru. Pro trubičky na obou stříkačkách to dělá 32 cm, tedy asi 15% z délky hadičky. (Možná o něco více, proud vody bude zřejmě zúžen i kousek před a za trubičkou.

vodorovném směru. Z trysky ve výši 47 cm nad zemí voda dostříkla do vzdálenosti 3 m. Spočíst rychlost vodorovného vrhu je středoškolskou úlohou; vyjde $v = l \cdot \sqrt{g/(2h)}$. Po dosazení $l = 3\,\mathrm{m}$, $h = 0{,}47\,\mathrm{m}$ vyjde $v \doteq 9{,}7\ \mathrm{m/s}$. To je vcelku ve shodě s předchozím odhadem. Poznamenejme ovšem, že přesnost tohoto měření nebude příliš velká. Vodorovnost stříkačky byla nastavována „od oka“, ani louka, na níž se pokus dělal, nemusela být striktně vodorovná, maximální vzdálenost, na níž voda dostříkla, také nebyla měřena příliš přesně.

Obrázek 6 ukazuje pokus zaznamenat tento vodorovný vrh na stěnu hraštické „budovy“.[7] „Záznam“ na stěnu umožnil proměřit trajektorii vrhu o trochu přesněji – výsledkem byl odhad maximální počáteční rychlosti vody asi 10,7 m/s.

Obr. 6. Vodorovný „vrh“ pramínkem vody z plastové stříkačky

Poznamenejme, že výsledky se samozřejmě mohou případ od případu lišit, podle toho, jak silně člověk stiskne píst stříkačky. Na obrázku je také vidět, že voda zjevně v různých okamžicích tryskala různou rychlostí. Bylo by možná užitečné vyrobit nějakou pomůcku (využívající třeba vačku a/nebo páku apod.), která by stlačovala píst definovanou rychlostí.

Další náměty na rozpracování tohoto pokusu zahrnují:

- měřit sílu, kterou stlačujeme píst stříkačky,
- počítat práci, kterou vykonáme při stlačování pístu stříkačky a porovnat ji s kinetickou energií vystřikující vody,
- odhadnout tlakové ztráty v trysce stříkačky (první odhady ukazují, že je bude možno zanedbat),
- odhadnout resp. změřit tření mezi pístem a stěnou stříkačky (u plastové stříkačky je dosti velké, navíc se zjevně kus od kusu liší),
- měřit tlak ve stříkačce při stlačování pístu (to je výzva, právě proto, že kvůli tření nelze jednoduše vydělit sílu na píst plochou pístu).

[7] Účastníci hraštického soustředění jistě poznávají stěnu pod kuchyňským oknem.

Námětů na propracování daného pokusu je tedy celá řada.[8] V diskusi se objevil i námět na jednoduchý související pokus na ilustraci rovnice kontinuity. Jeho dopracování a natočení na video plánujeme s Petrem Kácovským, finálně by pak tento pokus snad mohl být zařazen do elektronické sbírky pokusů [9].

Svislý a vodorovný vrh proudem vody ze stříkačky podruhé

Při zkoušení variant výše uvedeného pokusu vznikla jeho modifikace, která zajímavě rozšiřuje oblast parametrů daného pokusu. Stačí na trubičku ze stříkačky nasadit hadičku o vnitřním průměru 4 mm (tu lze na trubičku právě těsně nasadit). Průměr této trysky je dvakrát větší než vnitřní průměr trysky samotné stříkačky, její průřez je tedy 4× větší. Při stejné rychlosti stlačování pístu je tedy výtoková rychlost vody 4× menší – to znamená, že maximální výška vrhu je 16× menší! Místo pěti metrů tedy jen asi 31 cm! Takovouto výšku vrhu lze měřit mnohem pohodlněji než uvedených pět metrů; navíc se při tomto vrhu zjevně podstatně méně uplatňuje odpor vzduchu.

Skutečná výška, do níž voda z hadičky vystříkla, byla ovšem více než dvakrát vyšší, asi 80 cm. Tomu odpovídá počáteční rychlost asi 4 m/s. (Podobná hodnota vyšla při vodorovném vrhu.) Proč tyto hodnoty neodpovídají předchozí úvaze, tedy proč nyní není počáteční rychlost (10 m/s)/4 = 2,5 m/s?

Možné příčiny jsou dvě. Jednak jsme výše mohli podcenit počáteční rychlost výtrysku vody ze samotné stříkačky, neuvažovali jsme totiž odpor vzduchu. To znamená, že sice voda mohla mít vyšší počáteční rychlost, ale vlivem odporu vzduchu dostříkla jen do výše 5 m. Druhou možností je, že se píst stříkačky nepohybuje v obou případech stejnou rychlostí. Ve skutečnosti je téměř jisté, že se v druhém pokusu píst pohybuje vyšší rychlostí: U stříkačky s nasazenou hadičkou neurychlujeme vodu do tak velké rychlosti, tím pádem konáme menší práci a síla potřebná pro stisk pístu (aby voda tryskala jen rychlostí 2,5 m/s) je menší, Máme tedy „rezervu“ a ve skutečnosti tiskneme píst vyšší silou.

Pro rozlišení těchto dvou příčin bude potřeba pokus propracovat a zdokonalit ve smyslu námětů uvedených výše (měření síly stisku pístu, posun pístu definovanou rychlostí apod.). Bylo by vhodné vyzkoušet i stříkačky různých průměrů a objemů – námětů na další práci je zde tedy dost.

A ještě jeden pokus (optický)

Pokusem, který jsem na Hraštici jen „nakousl“, bylo měření ohniskové vzdálenosti spojné čočky ve vodě: je delší než na vzduchu a ze změřených hodnot lze spočíst index lomu skla dané spojky. Pro konkrétní použitou čočku vyšlo $n \doteq 1{,}75$, což je sice hodnota dost vysoká, ale stále ještě možná. Měření ovšem bylo jen přibližné, bylo by vhodné ho provést přesněji…

[8] Na Hraštici jsem si dělal legraci, že by k tomu mohl být projekt s názvem třeba „Některé hydrodynamické aspekty toku vody v nekoncentrických válcových strukturách“ – to kdyby mělo jít o základní výzkum – nebo „Zvýšení účinnosti vodní pistolky“, kdyby šlo o výzkum aplikovaný. ☺

Závěr

Jak už tomu bývá, na Hraštici se některé náměty na pokusy dařily lépe, u některých byly výsledky problematické. Jak vidno už z předchozího textu, i z pokusů, které se dařily, vzešla řada dalších otázek a námětů, jak je vylepšit, dotáhnout, jaké vyzkoušet varianty, kde by bylo třeba dotáhnout teoretický popis, započítat další vlivy apod. Právě tohle je u miniprojektů na Hraštici typické a pěkné.[9] Alespoň některé z výše popsaných pokusů tedy určitě budou stát za další rozpracování.

Poděkování:
Děkuji vedoucím RNDr. Zdeňce Koupilové, Ph.D. a RNDr. Petru Kácovskému, Ph.D. za organizaci letošního hraštického soustředění; bylo velmi milé užívat si tam fyziku. Rád bych také ocenil všechny zúčastněné za krásnou a podnětnou atmosféru.[10] Soustředění bylo podpořeno nadačním příspěvkem Nadace Depositum Bonum pro Univerzitu Karlovu v Praze ve školním roce 2016-2017 a také z prostředků Institucionálního rozvojového plánu pro MFF UK v roce 2017.

Literatura

[1] Pratchett, T.: *Zajímavé časy*. Český překlad Talpress, 1998.

[2] Chen Z., Dahlberg E.D.: *Deformation of Water by a Magnetic Field*. The Physics Teacher **49**, 144 (2011); doi: http://dx.doi.org/10.1119/1.3555497

[3] Chen Z., Ellis J., Dahlberg E. D.: *A simple technique to measure the magnetic susceptibility of liquids*. Review of Scientific Instruments, **83** No.9, (2012), [095112]. DOI: 10.1063/1.4749847

[4] Seo H.: Measurement of the Magnetic Susceptibility of Liquids. University of Minesotta, 2013. Dostupné online na https://sites.google.com/a/umn.edu/mxp/home/2013---spring/s13magneticsusceptibilityliquids. (Pozn.: Možná jde o studentskou či podobnou práci. V článku bohužel vinou technické chyby nejsou otištěny vzorce.)

[5] Havránek A., Kvasnica J., Lukáč P, Sprušil B.: *Mechanika*. Druhé vydání ,Academia, Praha, 2004.

[6] *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. Prometheus, Praha, 2009 (Dotisk 1. vydání).

[7] Wikipedie: *Reynoldsovo číslo*. Dostupné online: https://cs.wikipedia.org/wiki/Reynoldsovo_%C4%8D%C3%ADslo (Cit. 28. 5. 2017)

[8] Dvořák L.: *Pokusy s vodou*. In: *Dílny Heuréky 2006-2007. Sborník konferencí projektu Heuréka*. Prometheus, Praha, 2009. ISBN 978-80-7196-396-7, s. 126-136 Dostupné online: http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2006-2007.pdf (Cit. 28. 5. 2017)

[9] *Sbírka fyzikálních pokusů*. Dostupné online: http://fyzikalnipokusy.cz/cs (Cit. 28. 5. 2017)

[9] A vlastně je to typické pro fyziku jako takovou, i v tom je její krása.
[10] A možnost usínat za zpěvu písní, které zněly dlouho do nocí…