

Střípky z mozaiky jednoduchých pokusů

Leoš Dvořák

Katedra didaktiky fyziky, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha

leos.dvorak@mff.cuni.cz

Úvod – malé zamyšlení o radosti

Příspěvek popisuje několik jednoduchých pokusů. Týkají se různých oblastí fyziky: magnetismu, mechaniky a zejména optiky, takže je lze opravdu brát jako střípky z mozaiky. To, co mají společné, je snad určitá novost (byť se říká, že v jednoduchých fyzikálních pokusech už se v zásadě nedá vymyslet nic opravdu nového). A také skutečnost, že jsem k nim sám coby autor tohoto příspěvku dospěl v zásadě „badatelským způsobem“, na základě „hraní si“ s magnety, spinnery, čočkami a zrcátky. Takže pro mě je spojujícím prvkem těchto střípků z mozaiky také radost. Radost z toho, že pomocí těchto pokusů lze něco zajímavého ukázat a že se při tom hraní a bádání člověk může (i „na stará kolena“) něčemu přiučit. Krátce a snad ne moc nadneseně řečeno, jde tu o radost z poznání.

Jak to souvisí s tématem konference, tedy s otázkou „Co dává žákům fyzika?“? Nevážná, možná až trochu cynická odpověď na tuto otázku by zněla „Dává žákům zabrat!“. I v této odpovědi je kus pravdy. Fyzika není nenáročná disciplína, a jak se říká, myšlení bolí. Jsem ale přesvědčen, že kromě návyku o věcech důkladně přemýšlet, dostatečně pečlivě experimentovat, zpracovávat a interpretovat výsledky, s pochopením využívat matematiku atd. atd. (což vše opravdu dává zabrat), by mělo být naším cílem, aby fyzika žákům přinášela také radost. Radost z hraní, bádání, z poznání.

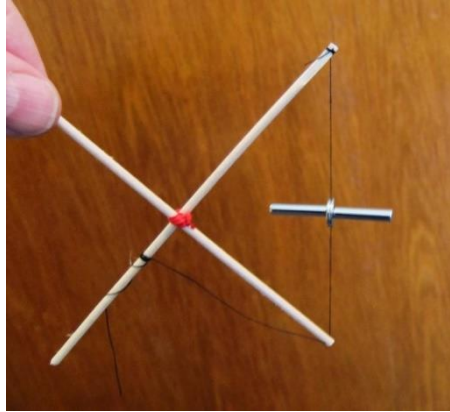
Sám neučím na základní ani střední škole, a tak nechci a nemohu poskytovat „hraběcí rady“, jak přesně při „pokusničení“ ve výuce fyziky tu radost zařídít. A už vůbec netrpím iluzí, že by šlo vždy, všude a pro všechno nadchnout každého žáka. Jsem ale přesvědčen, že pro to, abychom (my učitelé) dokázali radost z fyziky vzbuzovat a předávat, musíme ji sami znát a zažívat. Doufám tedy, že vám, čtenářům tohoto příspěvku, mohou následující pokusy přinést alespoň trochu radosti podobné té, kterou jsem sám při jejich vymyšlení, ověřování, vylepšování a snaze pochopit výsledky zažíval. Pokud se to alespoň zčásti podaří, splní tento text svůj účel.

1. Magnetická inklinace: magnety na napnuté niti

Skutečnost, že magnetická indukce magnetického pole Země není rovnoběžná s povrchem Země, je vcelku známá. Laici, a občas nejen oni, obvykle ale výrazně podceňují úhel, který magnetická indukce svírá s vodorovným směrem. (Schválně, nechte své žáky ukázat rukou směr, kterým si myslí, že magnetická indukce míří. Obvykle ukážou směr, který je vzhledem k vodorovné rovině skloněný o nějakých třicet stupňů nebo méně.)

Inklinace magnetického pole se dotkla už dílna na konferenci Dílny Heuréky 2016; jednoduchý model, který ukazuje proč a jak moc je magnetické pole skloněné, je popsán v příspěvku [1]. Pokus, který umožňuje jednoduše ukázat skutečný směr magnetické indukce (třeba ve třídě), však „dozrál“ až o rok později. Učitelé si jej vyzkoušeli na Dílnách Heuréky 2017; zde stručně představíme jeho ještě o něco vylepšenou verzi.

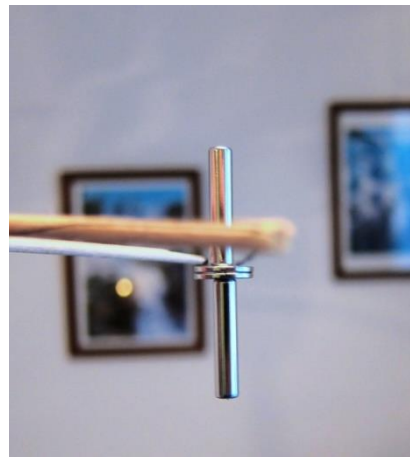
Základem je napnutá nit, na níž jsou přicvaknuty dva ploché neodymové magnety. Zatím nejlepší pomůckou, jak napnout nit, se ukázala jednoduchá konstrukce ze dvou špejlí. Detailněji bude popsána v [2], zde se omezíme na fotografii. Na ploché magnety jsou přicvaknuty dva tyčkové magnety – to je právě to vylepšení, které umožní jednak lépe vidět a případně změřit směr magnetické indukce a jednak celou soustavu magnetů snáze vyvážit, viz dále. Pomůcku natočenou tak, že nit je svisle, ukazuje fotografie na obr. 1; magnety v tomto případě samozřejmě ukazují ve směru sever-jih.



Obr. 1. Dva magnety na napnuté niti: pomůcka, kterou ukážeme inklinaci magnetického pole Země.

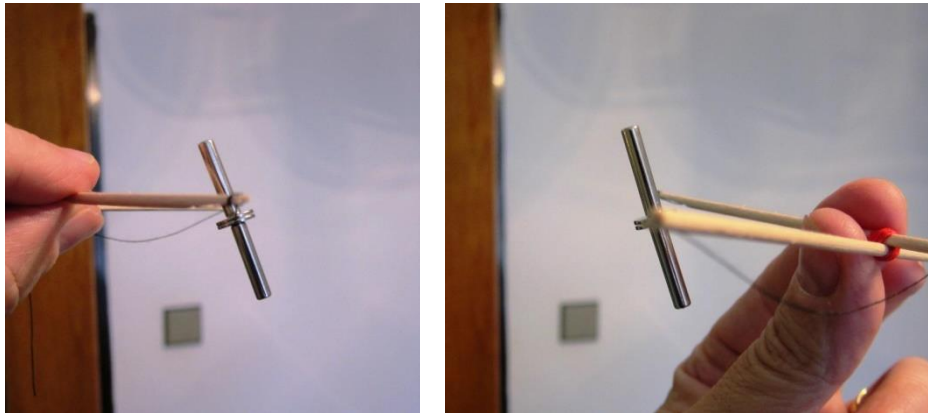
Pro demonstraci či měření magnetické inklinace musíme pomůcku natočit tak, aby nit byla vodorovně. Aby magnety opravdu mířily ve směru magnetické indukce, je ovšem třeba, aby na niti byly „vyváženy“, tedy aby jejich těžiště leželo právě na napnuté niti. (Jinak by natočení magnetů významně ovlivňovala jejich tíha, viz příslušnou diskusi v [1].)

Pro vyvážení magnetů pomůcku natočíme tak, aby nit byla vodorovná a směřovala ve směru sever-jih. Pak totiž vodorovná složka zemského magnetického pole magnet kolem niti nikam nenatáčí. Zbývá jenom svislá složka, takže tyčové magnety musí být svisle. Není-li tomu tak, tedy pokud se naklání na jednu nebo na druhou stranu, znamená to, že nejsou vyváženy. (Je-li například těžiště vlevo od niti, naklápí se horní magnet doleva.) Jemným posouváním plochých magnetů po niti (tak, aby byly na niti „vycentrovány“) a případně jemným posouváním tyčových magnetů po těch plochých musíme dosáhnout toho, aby magnety mířily opravdu svisle, jak to ukazuje obr. 2.



Obr. 2. Vyvážení („vycentrování“) magnetů tak, aby mířily svisle; nit přitom míří ve směru sever-jih.

Poté již můžeme pomůcku natočit tak, aby nit byla vodorovně a mířila ve směru západ-východ. Magnety pak ukazují směr magnetické indukce, jak je to vidět na obr. 3. Že nejde o efekt nevyvážení magnetů, ukážeme jednoduše: Když pomůcku otočíme kolem svislé osy o 180°; magnet stále míří tak, že jeho konec ukazující k severu je níž.



Obr. 3. Když je nit vodorovně ve směru západ-východ, magnety ukazují magnetickou inklinaci.

Poznamenejme, že magnety na obr. 3 nejsou dokonale vyváženy; na obr. 3 je vidět, že po otočení se jejich odchylka od svislého směru liší o několik stupňů. (Když jejich směr na fotografiích proměříme, liší se asi o 4 stupně.) I bez přesného vyvážení ale pokus dává o magnetické inklinaci dobrou představu. Odchylka od svislého směru je asi 20°; tomu by odpovídala inklinace $90^\circ - 20^\circ = 70^\circ$. Skutečná inklinace v ČR je asi 65°, takže náš pokus určil inklinaci s chybou asi pět stupňů. Fotografie ovšem byly pořízeny v místnosti (na pokoji v hotelu Pavla ve Vlachovicích), kde zemské magnetické pole může být ovlivněno konstrukcí budovy. Jasně se tedy nabízejí další možnosti vylepšování pokusu: zpřesnit vyvážení magnetů, měřit mimo budovu, doplnit pomůcku olovnicí (nějakým nemagnetickým závažím na niti), abychom mohli přesněji odečítat svislý směr atd. Vynalézavosti se meze nekladou.

Pro úplnost dodejme, že na přesné velikosti magnetů nezáleží. V našem případě byly použity ploché neodymové magnety o průměru 1 cm a výšce 1 mm a tyčové magnety o průměru 4 mm a délce 2 cm.

2. Spinnery a co s nimi

Původně bylo mým záměrem připravit pro seminář ve Vlachovicích sadu pokusů se spinnery. Mezitím se však sada podobných pokusů objevila na jedné z dílen na Dílnách Heuréky 2017 a navíc, jak bylo i na dané dílně konstatováno, spinnery už nejsou tak „in“ a mládež netáhnou. Takže nakonec z původního nápadu zmíníme opravdu jen pár drobných a spíše méně tradičních námětů, k čemu by se spinnery daly také využít.

První námět ukazuje obr. 4: Spinner, k němuž přivážeme kousek kloboukové gumy, může fungovat jako torzní kyvadlo.



Obr. 4. Spinner s gumičkou jako torzní kyvadlo.

Osu spinneru budeme držet v prstech, gumičku natáhneme. Gumička vrací spinner do rovnovážné polohy, ten setrvačností překmitne, a tak dále. Pokud bychom chtěli více než jen kvalitativní pozorování (nebo relaxační zírání, jak se spinner točí sem a tam ☺), můžeme třeba zjišťovat, jak perioda kmitů závisí na natažení gumičky resp. na síle, kterou je gumička napínána a z výsledků například určovat moment setrvačnosti spinneru.

Druhý námět je spíše „estetického charakteru“. Máme-li spinner, v němž jsou zasazené lesklé kuličky, můžeme si všimnout, že když se otáčí a svítí na něj přitom světla ze dvou stran, vidíme na něm dvě posunuté kružnice, viz obr. 5. Jev není těžké vysvětlit (vlastně nejde o nic překvapivého), ale třeba by ho šlo využít při diskusích s žáky o setrvačnosti oka.



Obr. 5. Odrazy na spinneru, v němž jsou lesklé kuličky.

Třetí námět se týká stroboskopického jevu. Nepotřebujeme k němu přitom žádný stroboskop. Stačí spinner, který má otvory dostatečně blízko sebe. Když se s ním postavíme před zrcadlo, roztočíme jej a budeme pozorovat jeho obraz v zrcadle skrz otvory tohoto spinneru, uvidíme, že zdánlivě stojí. Efekt lze i vyfotografovat, jak ukazuje obr. 6.



Obr. 6. Stroboskopický jev při pozorování točícího se spinneru v zrcadle skrze otvory tohoto spinneru.

Pokus by šlo zřejmě dále rozvíjet a obměňovat. Je například možné dívat se skrz otvory jednoho spinneru na jiný točící se spinner apod.

3. Jak změřit ohniskovou vzdálenost rozptylky

Chceme-li změřit ohniskovou vzdálenost spojky, stačí za slunečného dne spojkou zapalovat papír. (Tento pokus konec konců dává názorný smysl i pojmu *ohnisko*.) Jak ale jednoduše určit ohniskovou vzdálenost rozptylky? V literatuře se obvykle píše, že je třeba rozptylku spojit se spojkou o známé optické mohutnosti, změřit ohniskovou vzdá-

lenost této kombinace a odtud dopočítat výsledek. Nešla by ale ohnisková vzdálenost rozptylky učit alespoň přibližně i nějakým jednodušším pokusem?

Opravdu to jde. Při hraní si s rozptylkami nás může napadnout hned několik metod. Asi nevymyslíme žádnou, kterou by dosud nikdo neznal, ale při tom vymýšlení a zkoušení si můžeme do větší hloubky promyslet a pochopit, jak to se zobrazením pomocí rozptylky je. Jak tedy můžeme ohniskovou vzdálenost f rozptylek měřit?

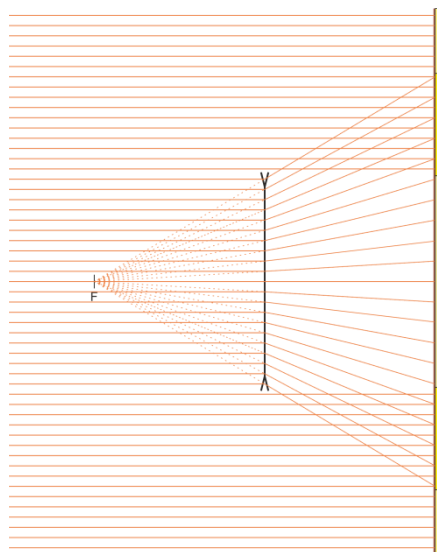
a) Pomocí slunečních paprsků

Když necháme sluneční paprsky dopadat na kolmé stínítko, před nímž je rozptylka, uvidíme výsledek, který ukazuje obr. 7. Rozptylka vrhá na stínítko stín, měřením se můžeme přesvědčit, že jeho průměr je stejný jako průměr rozptylky. Navíc je ale kolem stínu mezikruží, které je světlejší než okolní plocha ozářená přímo sluncem. Když rozptylku přiblížíme ke stínítku, je vnější průměr mezikruží menší, když ji vzdálíme, je větší.



Obr. 7. Sluneční světlo procházející rozptylkou – co se zobrazí na stínítku.

Proč tomu tak je, ukazuje obr. 8. Paprsky za rozptylkou míří tak, jako by vycházely z ohniska (které je vlevo od rozptylky). Názorně vidíme, že v oblasti „stínu“ jsou paprsky dopadající na stínítko „řidší“, než tam, kde dopadají přímé sluneční paprsky. V oblasti mezikruží zase kromě přímých slunečních paprsků dopadá navíc světlo, které prošlo rozptylkou.



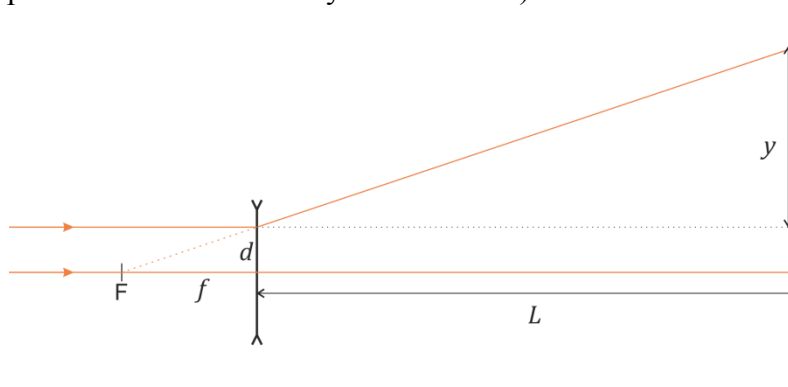
Obr. 8. Chod paprsků slunečního světla rozptylkou.

Z jednoduché geometrické úvahy (kterou, jak se říká, „čtenář snadno nahlédne“ ☺) plyne, že když je vzdálenost stínítka od čočky právě rovna ohniskové vzdálenosti, je vnější průměr mezikruží dvojnásobný oproti průměru stínu. (Nápověda pro laskavého čtenáře: jak je vidět už z obrázku, vnější průměr světlého mezikruží je přímo úměrný vzdálenosti stínítka od ohniska.)

Takže stačí hýbat s čočkou nebo stínítkem, až je vnější průměr mezikruží dvakrát větší než průměr stínu, a vzdálenost čočka-stínítko je právě rovna ohniskové vzdálenosti rozptylky. (Poznamenejme, že zde samozřejmě čočku bereme jako tenkou a v našich úvahách pomíjíme její optické vady.) Námětem pro přesnější určení f , spíše už formou laboratorní práce, by bylo měřit vnější průměr mezikruží pro různé vzdálenosti stínítka a výslednými hodnotami prokládat lineární závislost.

b) Pomocí laseru

Pokud laserem posvítíme skrz rozptylku v její optické ose, paprsek se samozřejmě nijak neodchýlí. Pokud posvítíme rovnoběžně s optickou osou ve vzdálenosti d , paprsek a tedy i jeho stopa na stínítku se odchýlí, jak ukazuje obr. 9. Při pokusu můžeme buď posunovat laser (ale musíme zachovat jeho rovnoběžnost s optickou osou) nebo, což je možná výhodnější, posunout o d do strany čočku. Při posouvání čočky se pak posouvá světelná stopa na stínítku. (S žáky přitom můžeme diskutovat, proč se světelná stopa posouvá na opačnou stranu než kam hýbeme čočkou.)



Obr. 9. K určení ohniskové vzdálenosti rozptylky pomocí laseru.

Z obrázku je zřejmé, že díky podobnosti příslušných trojúhelníků platí $\frac{d}{f} = \frac{y}{L}$, ze

změřených hodnot už pak ohniskovou vzdálenost snadno spočteme. Pokus lze opět uspořádat buď jako jediné měření, nebo jako sadu měření při různých posunech čočky d . Pro jednoduché měření by možná bylo vhodnější použít dva lasery v pevné vzdálenosti d .

Poznámka pro „šťoury“: Pokud máte pokročilejší studenty, kteří do fyziky rádi šťourají a výše uvedená jednoduchá úvaha by jim připadala triviální, málo zajímavá a „vznešená“, můžete jim k diskusi a výpočtům předhodit problém, jak přesnost výše uvedeného měření ovlivní případné mírné naklonění čočky, tedy skutečnost, že by paprsky laseru nebyly přesně rovnoběžné s optickou osou. Vždyť při pokusu se nám asi nepodaří natočit rozptylku úplně přesně kolmo k paprskům laseru. Natočení lze samozřejmě zkusit experimentálně, jeho vliv ale můžeme spočítat i teoreticky, a právě to snad už může být pro šťouravější studenty výzva.

c) Poněkud nepřesné měření pro vetchozraké

S trochou nadsázky by se následující způsob určení f rozptylky dal charakterizovat výrokem „Takhle metoda není pro mladý!“

Není pro ty, jejichž oko akomoduje, tedy zaostřuje na různé vzdálenosti. Zato se hodí pro oko označované jako *vetchozraké*, tedy *presbyoptické* (což je asi „politicky korektnější termín; autor těchto řádek se ale hrdě hlásí k vetchozrakosti, zejména když to umožňuje udělat pěkný fyzikální pokus ☺).

Jde o to, že takové oko vidí ostře jen na jedinou pevnou vzdálenost, řekněme půl metru. Pokud máme rozptylku, jejíž ohnisková vzdálenost je menší než ten půlmetr (řekněme, že je 20 cm, šlo by tedy o rozptylku s optickou mohutností -5 D), a pozorujeme skrz ni vzdálené předměty, zobrazují se tak, jako by byly za rozptylkou právě ve vzdálenosti f . To znamená, že naše vetchozraké oko je bude vidět ostře, když rozptylka bude od oka 30 cm. (Protože pak bude obraz vzdálených předmětů právě půl metru od oka.)

Předchozí úvaha ozřejmuje i funkci brýlí pro krátkozraké: Rozptylka s optickou mohutností -2 D, která je přímo u oka, zobrazuje vzdálené předměty právě do vzdálenosti potřebných půl metru. Kdyby žáci mohli mít při hodině fyziky věnované optice na chvíli vetchozraké oči, to by se to názorně učilo... ☺

Nutno přiznat, že reálně tato metoda není příliš přesná. I presbyoptické oko má určitou ne úplně malou hloubku ostrosti, takže určit, ve které vzdálenosti rozptylky od oka vidíme vzdálené předměty nejostřeji, nejde moc přesně. Možná (a to je další námět na vývoj tohoto pokusu) by bylo zajímavé vyzkoušet místo oka fotoaparát s co nejvíce otevřenou clonou, aby měl co nejmenší hloubku ostrosti.

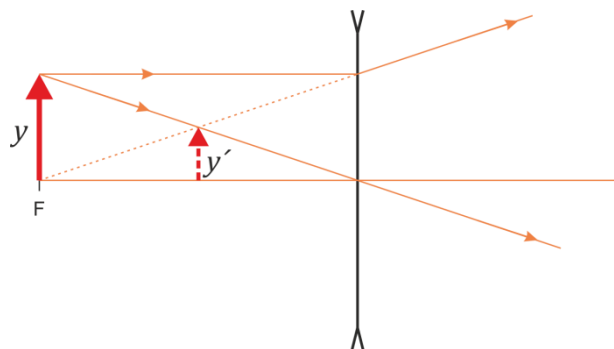
d) Pozorováním z dálky

Zobrazovací rovnice pro zobrazení tenkou čočkou je $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$. Pro rozptylku je $f < 0$,

takže $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = -\frac{1}{|f|}$. Když předmět umístíme do ohniskové roviny rozptylky, je $a = |f|$.

Po dosazení do zobrazovací rovnice pak $\frac{1}{|f|} + \frac{1}{a'} = -\frac{1}{|f|} \Rightarrow \frac{1}{a'} = -\frac{2}{|f|} \Rightarrow a' = -\frac{|f|}{2}$.

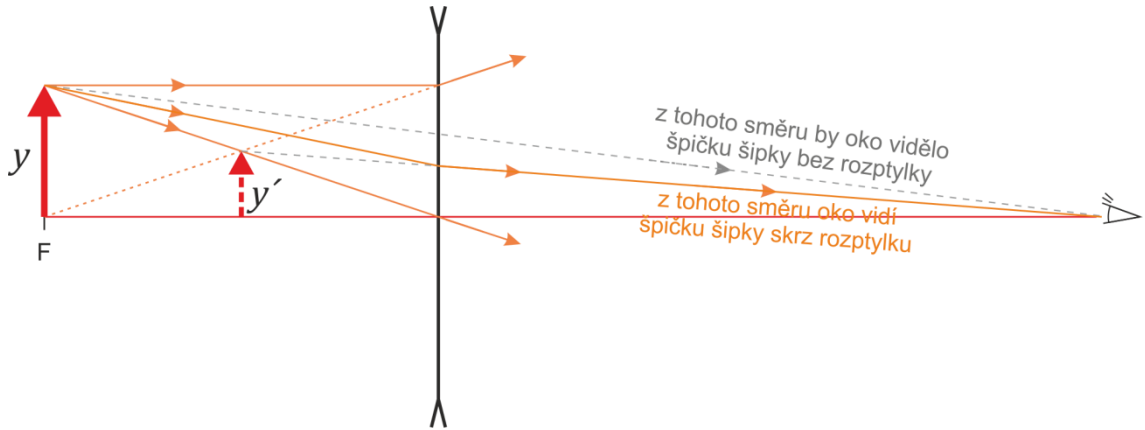
Obraz je tedy uprostřed mezi vzorem a rozptylkou; z chodu paprsků pak můžeme ukázat, že má poloviční velikost, než vzor. Ostatně tato skutečnost a stejně tak i umístění obrazu lze vidět z obrázku (viz obr. 10), tuto konstrukci by šlo použít i na úrovni ZŠ.



Obr. 10. Zobrazení rozptylkou v případě, že předmět je v ohniskové rovině.

Pokud bychom vzor pozorovali okem přiloženým těsně k rozptylce, viděli bychom ho stejně velký jako bez rozptylky – tedy pozorovali bychom ho pod stejným úhlem. (Tuto skutečnost ostatně znají krátkozrací lidé. Když si nasadí brýle, svět se jim nezmenší.)

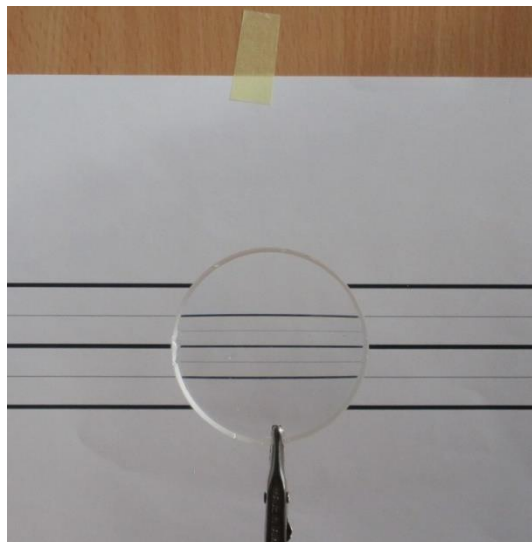
Když je ale oko dále od rozptylky, je úhel, pod nímž pozorujeme obraz, menší, než úhel, pod nímž bychom viděli předmět bez rozptylky – chod příslušných paprsků ukazuje obr. 11.



Obr. 11. Pozorování předmětu a obrazu vzdáleným okem.

Pokud bude oko velmi daleko, bude se obraz jevit dvakrát menší, než kdybychom předmět pozorovali přímo, tj. kdyby rozptylka v cestě nebyla. (Pro oko ve vzdálenosti mnohem větší než f můžeme vzdálenosti předmětu a obrazu považovat za prakticky stejné, poměr pozorovacích úhlů resp. jejich tangent se tedy bude blížit y'/y .)

Pro měření je vhodné mít jako vzor několik rovnoběžných čar, jak to ukazuje obr. 12. Je pak vcelku dobře vidět, kdy má obraz poloviční velikost oproti vzoru – tedy v popsaném případě, kdy je pozorovaný předmět v ohniskové rovině. Při měření je proto potřeba nastavovat vzdálenost předmětu a čočky, až bude zmenšení právě na polovinu.



Obr. 12. Pozorování rovnoběžných čar skrz rozptylku a mimo ni (pohled z větší vzdálenosti).

Již výše jsem konstatoval, že asi nevymyslíme pokusy a metody úplně nové; to se potvrdilo i u této metody. Děkuji Monice Šrámkové za upozornění, že metoda měření ohniskové vzdálenosti rozptylky pozorováním rovnoběžných čar je uvedena v publikaci

[3]. Pokus je v ní uveden na s. 252; není tam ovšem zdůvodněno, proč tato metoda funguje (objasnění je ponecháno na čtenáři), a není zdůrazněno, že je nutno pozorovat z velké vzdálenosti. (Pokud pozorujeme z bližší vzdálenosti, zmenšení při pozorování skrz rozptylku samozřejmě není v poměru 1:2.)

e) Rozptylka na zrcátku

Položíme-li rozptylku na zrcátko, pak obraz, který v ní pozorujeme, se podobá obrazu na vypuklém zrcadle. Zvětšení resp. zmenšení obrazu závisí jednak na vzdálenosti, z níž obraz pozorujeme, a jednak na ohniskové vzdálenosti rozptylky, viz obr. 13.



Obr. 13. Dvě různé rozptylky na zrcátku (fotografované ze stejné vzdálenosti).

Ze změřeného zvětšení tedy musí být možno určit ohniskovou vzdálenost rozptylky; podrobnosti však už necháme někdy na příště.

4. Dvě kolmá zrcátka a jejich natočení

Všichni zřejmě známe pokus, při němž se díváme do dvou kolmých zrcátek. Obraz, který vidíme, není převrácen; například text v něm můžeme normálně číst, jak ukazuje obr. 14.



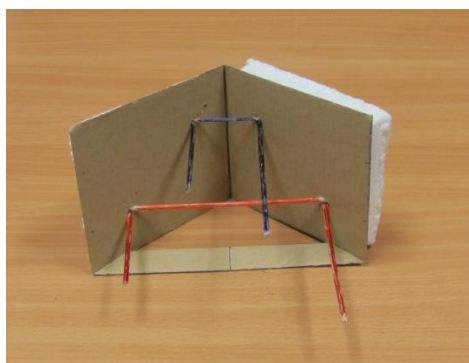
Obr. 14. Obraz, který vytvoří dvě kolmá zrcátka, není zrcadlově převrácený.

Překvapující věci se ovšem začnou dít, když tato dvě spojená zrcátka začneme otáčet kolem vodorovné osy (mířící k nám). Obraz, který vidíme, se totiž začne také natáčet, a to o dvojnásobek úhlu, o nějž jsme otočili zrcátka. Jsou-li zrcátka otočena o 45° , položí se celý obraz na bok, tedy otočí se o 90° , jak to ukazuje fotografie na obr. 15.



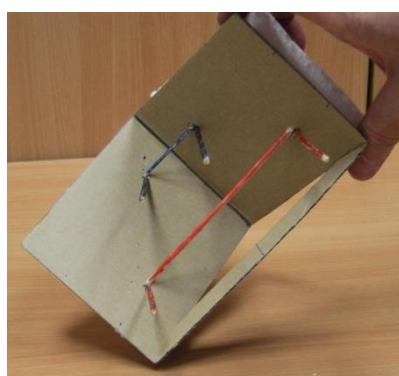
Obr. 15. Obraz, který vidíme, když spojená zrcátka natočíme o 45°.

Pochopit, proč se to děje, vyžaduje zřejmě značnou míru prostorové představivosti. My, kdo jsme s ní spíše na štíru, bychom ocenili nějaký model chodu paprsků. Naštěstí se takový model dá vymyslet a zrealizovat pomocí kusu tvrdšího kartonu, dvou polystyrénových destiček a několika špejlí. Špejlemi (hodí se ty se špičkou) propichujeme karton, na jeho zadní straně se pak zapíchnou do polystyrénových destiček, takže drží směr. Výsledek ukazuje obr. 16.



Obr. 16. Model chodu paprsků odrážejících se od dvou kolmých zrcátek.

Můžeme si představit, že v pravé části modelu jdou paprsky od nás k zrcátku, v levé naopak od zrcátka k nám. Až dosud není na celé věci nic překvapujícího. Zajímavé to začne být, když náš model natočíme o 45 stupňů. Výsledek ukazuje obr. 17. V pravé části jsou vstupující paprsky (pro názornost vyznačené modře a červeně) *vedle sebe*; vlevo jsou vystupující paprsky *nad sebou*. Obraz je tedy oproti předmětu opravdu otočen o 90°.



Obr. 17. Model chodu paprsků při natočení zrcátek o 45°.

Poznamenejme, že vysvětlení pokusu s natočením zrcátek (a podobného pokusu s natočením válcové čočky) bylo prezentováno na letošní konferenci GIREP-EPEC 2017 v příspěvku T. Kranjce. Model z kartonu a špejlí je pak výsledkem mých snah celou věc pochopit a umět vysvětlit. Pokud přijdete na nějaká další vylepšení, budu rád, když mi je dáte vědět.

Závěr

K čemu mohou být pospané pokusy dobré? Jak už bylo řečeno, jsou především výzvou, námětem k „hraní si“, k promýšlení situací, jichž se týkají. Souvisí ovšem i s praktickými aplikacemi – například u rozptylek to známe my všichni, kdo jsme krátkozrací.

Jakým způsobem dané pokusy využijete – a zda vůbec – záleží samozřejmě na vás a na konkrétních podmínkách vaší výuky. Využití může sahát od „pouhého“ vzbuzení údivu (natočení zrcátek, velikost inklinace a možná i rozptylka na zrcátku) přes jednoduchá orientační měření (třeba ohniskové vzdálenosti rozptylky pomocí slunečního světla) až po podrobnější laboratorní měření. Ať už si vyberete cokoli, přeji vám při tom hodně radosti z fyziky.

Literatura a další zdroje

[1] DVOŘÁK, L.: *O magnetu, magnetických tělesech a velkém magnetu Zemi*. In: Dílny Heuréky 2016. Sborník konferencí projektu Heuréka. Ed. V. Koudelková, Matfyzpress, Praha 2017, ISBN 978-80-7378-338-9. s. 7-23. Dostupné online: http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2016.pdf

[2] DVOŘÁK, L.: *O magnetech II*. In: Dílny Heuréky 2017. Sborník konferencí projektu Heuréka. Bude publikováno. Sborník bude dostupný online na adrese: <http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/>

[3] VORÁČEK, M., BEJSTA, J., LAMPA, J., LEGER, J. a SVOBODA, K.: *Praktikum z fyziky na základní devítileté škole*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1971. ISBN 14-447-71.