

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Jakub Malý

Netradičně pojaté pokusy z optiky na gymnáziu

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí bakalářské práce: Doc. RNDr. Zdeněk Drozd Ph.D.

Studijní program: Fyzika, Fyzika zaměřená na vzdělávání (FMUZV)

2008

Děkuji panu docentu Zdeňku Drozdovi za vedení práce a pomoc při přípravě pokusů.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci napsal samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce.

V Praze dne 29.5.2008

Jakub Malý

Obsah

Úvod	4
1 Dalekohled	
1.1 Co je to dalekohled?	5
1.2 Princip Keplerova dalekohledu.....	6
1.3 Sestavení dalekohledu.....	7
2 Totální odraz	
2.1 Zákon odrazu a lomu.....	10
2.2 Pokus s mezním úhlem.....	14
3 Duha	
3.1 Duha – teorie.....	16
3.2 Duha – vytváření.....	17
4 Rayleighův rozptyl	
4.1 Rayleighův rozptyl.....	21
4.2 Pokus s Rayleighovým rozptylem.....	22
Závěr	25
Literatura	26

Název práce: Netradičně pojaté pokusy z optiky na gymnáziu

Autor: Jakub Malý

Katedra: Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí bakalářské práce: Doc. RNDr. Zdeněk Drozd Ph.D.

e-mail vedoucího: Zdenek.Drozd@mff.cuni.cz

Abstrakt: Protože optika bývá řazena až jako poslední blok ve výuce fyziky, je často z časových důvodů ochuzena o mnohé zajímavé pokusy. Cílem této práce je vymyšlení a vyzkoušení pokusů, které by mohly vhodně doplnit a zpestřit výuku optiky na gymnáziích. Jsou zde zmíněny čtyři. Sestrojení dalekohledu, pokus s totálním odrazem, Rayleighův rozptyl a vytváření duhy. Každá kapitola má teoretickou část a část ve které je popisován postup při provádění pokusu. V každé kapitole jsou také zmíněny problémy, které mohou nastat, včetně návrhů na jejich řešení.

Klíčová slova: pokusy, optika, dalekohled, duha

Title: Unusual experiments in education of optics at grammar school

Author: Jakub Malý

Department:

Supervisor: Doc. RNDr. Zdeněk Drozd Ph.D.

Supervisor's e-mail address: Zdenek.Drozd@mff.cuni.cz

Abstract: Optics is usually situated as a last part of education of physics. Because of time pressure optics is usually deprive of many interesting experiments. The object of this work is making up and practicing experiments, which can complete and vary education of optics at grammar school. Here are mention four of them. Construction of telescope, an experiment with absolut reflection, Rayleigh's dispersion and making of rainbow. Each chapter has a teoretical part and a part in which is described process of making an experiment. Problems, which can appear during the experiment, and their solutions, are also mentioned there.

Key words: experiments, optics, telescope, rainbow

Úvod

Cílem této bakalářské práce je navrhnout pokusy, kterými by se mohla doplnit výuka optiky na gymnáziích, která je často z časových důvodů o mnoho zajímavých experimentů ochuzena. Pokusy by měly být navrženy tak, aby měly co nejširší využití, nejlépe tak aby je bylo možné využít ve fyzikálním praktiku, zadat jako ročníkovou, či seminární, práci, nebo je využít jako demonstrační pokusy. Zajímavých experimentů je v optice celá řada. Do své bakalářské práce jsem vybral čtyři následující: výroba dalekohledu, hledání mezního úhlu, vytváření duhy a pokus odpovídající na otázky „Proč je obloha modrá?“ a „Proč je slunce při západu červené?“. V každé kapitole jsou kromě teorie a popisu samotného pokusu také zmíněny jednotlivé problémy, které mohou při provádění pokusu nastat.

Kapitola 1

Dalekohled

1.1 Co je to dalekohled?

Dalekohled je optický přístroj, který pomocí zvětšení zorného úhlu umožňuje zkoumání vzdálených předmětů. Jeho uplatnění je široké, od rekreačních pozorování(krajiny, dostihů, atd.), přes vojenské využití, až po astronomické pozorování vzdálených galaxií. Přestože se téměř každý za svůj život s nějakým druhem dalekohledu setkal, jen zlomek lidí se zamyslel nad tím jak si ho sestrojít. Cílem této úlohy je formou školních fyzikálních praktik, domácího úkolu, či ročníkové práce ukázat, že sestavit dalekohled je poměrně jednoduché, ale vyladit ho k naprosté dokonalosti je v „domácích“ podmínkách takřka nemožné.

Předtím než se pustíme do stavby dalekohledu, je dobré si něco říci o historii a principu tohoto optického přístroje.

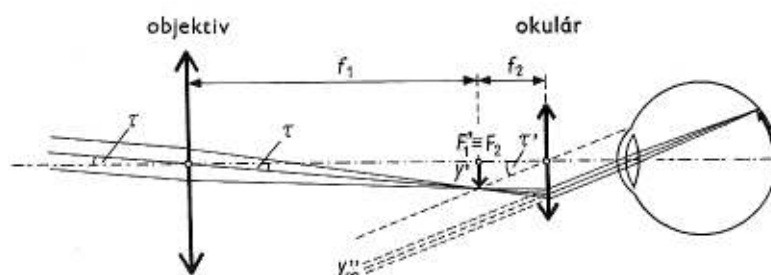
Na přelomu 16. a 17. století dokázali skláři vyrobit poměrně kvalitní čočky, což umožnilo tehdejším vynálezům zkonstruovat dalekohled. Mezi průkopníky patřili například Galileo Galilei (1564 – 1642), jenž dokázal sestrojít dalekohled s 20-ti násobným zvětšením, a Johannes Kepler (1571 -1630), jehož dalekohled sestavíme. Oba dva navrhli dalekohled využívající dvou čoček. Zatímco Galileo Galilei použil spojku a rozptylku, Johannes Kepler navrhl při výrobě „svého“ typu dalekohledu použít dvě spojky. Jak Galileův tak Keplerův dalekohled patří mezi refraktory, protože mají za objektiv čočku a tudíž využívají zobrazení lomem(refrakcí). Použití čočky jako objektivu má za následek vznik chromatické a sférické vady. Sférická vada se dá zmenšit například zvětšením čočky a odcloněním okrajových paprsků, čímž ale klesá světlost obrazu. Pomocí achromatických objektivů lze výrazně potlačit také chromatickou vadu.

Dalekohledy, které využívají k optickému zobrazení zrcadla, čili odraz světla, se nazývají reflektory. Jako jeden z prvních sestrojil zrcadlový dalekohled Isaac Newton (1643 – 1727). U reflektorů je čočka na místě objektivu nahrazena dutým, převážně parabolickým zrcadlem. Zrcadlové dalekohledy s objektivem o průměru i několik metrů, se používají pro velmi detailní astronomické pozorování. Mezi nejznámější reflektory patří Hubbleův teleskop.

1.2 Princip Keplerova dalekohledu

Keplerův dalekohled se využívá při pozorování vzdálených předmětů. K jeho konstrukci je potřeba dvou spojných čoček. Objektivu s poměrně velkou ohniskovou vzdáleností a okuláru s relativně malou ohniskovou vzdáleností.

Dalekohled je sestaven tak, že obrazové ohnisko objektivu splývá s předětovým ohniskem okuláru. Pokud pozorujeme vzdálený předmět, tak paprsky vstupující do objektivu jsou rovnoběžné. V obrazovém ohnisku objektivu vzniká obraz pozorovaného předmětu, který je zároveň předmětem pro „pozorování“ okulárem. To má za následek, že z okuláru vychází svazek



rovnoběžných paprsků.

Obr. 1-1 Schéma keplerova dalekohledu.

Na obrázku 1-1 je znázorněna situace, při které do objektivu vstupuje svazek rovnoběžných paprsků pod úhlem τ . V obrazovém ohnisku objektivu vzniká obraz pozorovaného předmětu o velikost y' , který pomocí okuláru sledujeme pod úhled τ' . Pokud jsou tyto úhly dostatečně malé, pak pro ně dle obrázku 1.1 platí vztah:

$$\tau = \frac{y'}{f_1}, \quad (1)$$

respektive:

$$\tau' = \frac{y'}{f_2}. \quad (2)$$

Pro úhlové zvětšení γ tedy platí:

$$\gamma = \frac{\tau'}{\tau} = \frac{\frac{y'}{f_2}}{\frac{y'}{f_1}} = \frac{f_1}{f_2}. \quad (3)$$

Z obrázku 1-1 je také vidět, že obraz tvořící se v oku je převrácený.

1.3 Sestavení dalekohledu

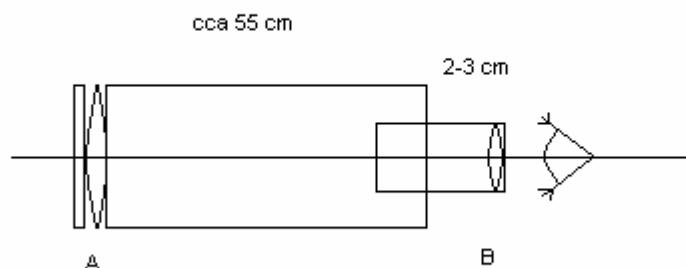
Při sestavování dalekohledu narazíme na celou řadu problémů. Například výběr typu dalekohledu, výběr čoček, materiálu na „tubus“ a spojení jednotlivých částí v celek. Výhodou tohoto pokusu je, že každý student může vymyslet vlastní postup. Já jsem zvolil keplerův dalekohled, protože pro mě bylo jednodušší sehnat spojku s velkou optickou mohutností než rozptylku.

Na obrázku 1-2 jsou vyfoceny všechny části potřebné k sestavení dalekohledu.



Obr. 1-2 Části dalekohledu: 1)novodurová trubka, 2)objektivová čočka, 3) okulárová čočka, 4) krabička od kinofilmu

Jako objektiv jsem použil brýlovou čočku o optické mohutnosti 1,75 dioptrie. Tomu odpovídá ohnisková vzdálenost cca 57 cm. Okulár jsem vyrobil z „filatelistické“ čočky, jejíž ohnisková vzdálenost je 3cm. Tělo dalekohledu tvoří novodurová trubka o vnějším průměru 63 mm. Tento průměr jsem zvolil, protože odpovídá velikosti objektivové čočky. Problémem bylo umístění okulárové čočky, která má menší průměr než trubka, tak aby se optické osy obou čoček shodovaly. Okulár jsem proto vlepil do krabičky od kinofilmu a tu jsem pak umístil do víčka od kompotu, které svým průměrem odpovídá novodurové trubce a lze jej na ni nasadit. Celý dalekohled je sestaven podle nákresu na obrázku 1-3.



Obr.1-3. Nákres dalekohledu. A – objektiv, B – okulár

Krabička od kinofilmu není umístěna ve víčku napevno, ale je vsunuta do „vodící“ trubky, tak aby zůstala pohyblivá ve směru optické osy okulárové čočky. To umožňuje doostření obrazu. Pokud se podaří srovnat optické osy obou čoček, tak je obraz pozorovaný dalekohledem poměrně ostrý, ale pokud se osy rozhodí, je obraz rozostřený, což je u takto sestaveného dalekohledu bohužel častější případ. Dalším omezujícím faktorem je použití brýlové čočky, ta je totiž dvojnásobně vypuklá, zatímco správná dalekohledová čočka by měla být vypuklodutá.

Zvětšení tohoto dalekohledu je podle vzorce (3):

$$\gamma = \frac{57}{3} = 19$$

Kapitola 2

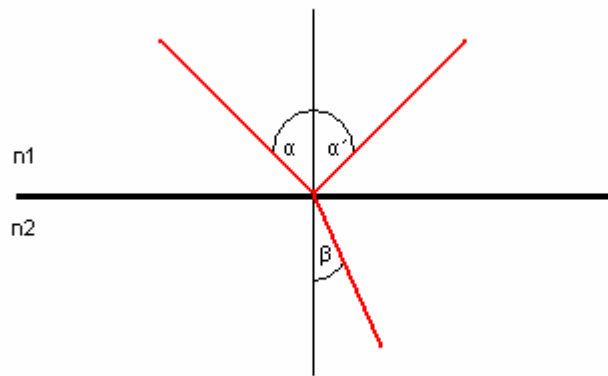
Totální odraz

2.1 Zákon odrazu a lomu, totální odraz

To že vodní hladina, může někdy vypadat jako zrcadlo je známá věc všem lidem co se rádi potápějí, či mají doma akvárium. Čím to ale je? Tento pokus se dá provádět jako čistě demonstrační, či při dostatečném počtu akvárií ho lze zařadit do fyzikálních praktik. K provedení tohoto pokusu je zapotřebí jen zdroj světla, akvárium a metr, či úhloměr. Cílem tohoto pokusu může být experimentální ověření vypočteného mezního úhlu. Nebo lze tento pokus využít k určení indexu lomu „neznámé“ kapaliny. Původně jsem uvažoval o tom, že bych tento pokus využil k prokázání závislosti indexu lomu na frekvenci světla, ale protože rozdíl mezních úhlů je řádově v desetinách stupně (což je méně než jaká je přesnost měření), musel jsem od svého záměru odstoupit.

Nejprve však opět trochu teorie:

Zákony odrazu a lomu popisují děje nastávající při dopadu paprsku na rovinném rozhraní dvou prostředí. Na obrázku 2-1 je nakreslen paprsek dopadající na rozhraní dvou prostředí s indexy lomu n_1 a n_2 pod úhlem α , paprsek odražený pod úhlem α' , a paprsek lomený pod úhlem β (všechny úhly jsou měřeny od kolmice).



Obr.2-1 Odraz a lom paprsku světla na rovinném rozhraní.

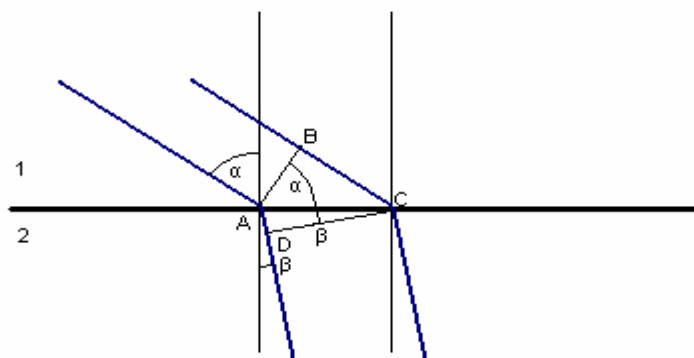
Z experimentů bylo vypořádáno, že: „Úhel odrazu se rovná úhlu dopadu, přičemž odražené paprsky zůstávají v rovině dopadu.“ Toto slovní vyjádření zákona odrazu lze matematicky zapsat jako:

$$\alpha = \alpha' . \quad (4)$$

Zákon lomu zformuloval na počátku 17. století na základě pozorování a s využitím Huygensova principu („každý bod na čele rovinné vlnoplochy lze chápat jako elementární zdroj vlnění“) holandský matematik Willebrord Snellius (1580- 1626, vl.jm. Willebrord Snell van Royen). Při lomu světla na rovinném rozhraní dvou prostředí o indexech lomu n_1 a n_2 lze Snellův zákon pro paprsek dopadající pod úhlem α a lámajícím se pod úhlem β zapsat jako:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta . \quad (5)$$

Pro odvození tohoto zákona použijeme rovinnou vlnu. Mějme tedy rovinné rozhraní dvou prostředí a dopadající rovinnou vlnu tak, jak je nakresleno v obrázku 2-2.



Obr.2-2 Odvození Snellova zákona

V prostředí 1 se vlna šíří rychlostí v_1 a v prostředí 2 rychlostí v_2 . Čelo vlny je reprezentováno úsečkou AB. Vlna na rozhraní dopadne nejprve v bodě A, pak v následujících bodech až do bodu C. Každý z těchto bodů je dle Huygensova principu elementárním zdrojem vlnění. Složením těchto vlnění vznikne rovinná vlna šířící se v prostředí 2 s čelem CD. Z obrázku 2-2 pro poměr sinů úhlu dopadu α a úhlu lomu β platí:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\frac{|BC|}{|AC|}}{\frac{|AD|}{|AC|}} = \frac{|BC|}{|AD|} = \frac{v_1 t}{v_2 t} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (6)$$

Index lomu optického prostředí je definován jako:

$$n = \frac{c}{v}, \quad (7)$$

kde c je rychlost světla ve vakuu a v je rychlost šíření světla v daném optickém prostředí. Po dosazení za v_1 , respektive v_2 do rovnice (6) dostaneme ekvivalentní zápis Snellova zákona s (5):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (8)$$

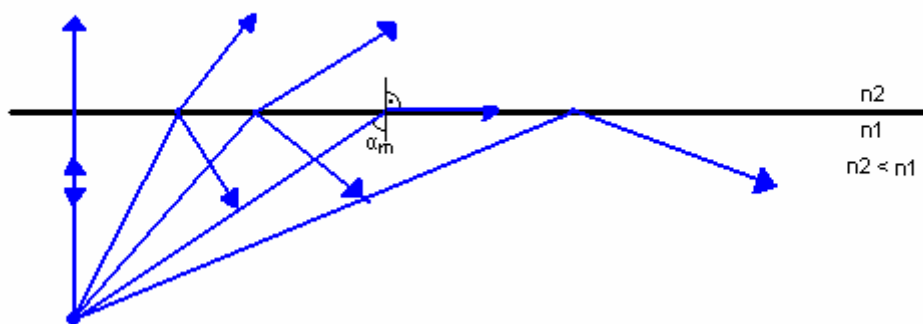
Ze vzorce (8) je vidět, že pro $n_1 = n_2$ je $\alpha = \beta$, čili se úhel lomu nemění. Podívejme se nyní na situaci, kdy se světlo šíří z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí (čili $n_1 > n_2$). To znamená, že:

$$n_2/n_1 < 1$$

Po dosazení do (8) platí, že:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} < 1$$

Protože je funkce sinus na intervalu $(0, 2\pi)$ kladná a rostoucí, platí, že $\alpha < \beta$. Nastává lom od kolmice. Tato situace je znázorněna na obrázku 2-3.



Obr. 2-3. Odraz a lom světla při přechodu z opticky hustšího prostředí.

Jak roste úhel dopadu, roste i úhel lomu. Může nastat situace, kdy úhel lomu β je roven 90° . Úhel dopadu, pro který tato situace nastává, značíme α_m a nazýváme ho mezní úhel. Pokud paprsek dopadá na rozhraní pod mezním úhlem, tak se lomený paprsek šíří těsně po rozhraní. Pro úhly dopadu větší než α_m k lomu nedochází. Všechno světlo se odráží, a proto mluvíme o úplném (totálním) odrazu. Pro výpočet mezního úhlu využijeme vzorec (8) a dosadíme $\beta = 90^\circ$.

$$\frac{\sin \alpha_m}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha_m}{\sin 90^\circ} = \sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}$$

čili:

$$\alpha_m = \arcsin \frac{n_2}{n_1} . \quad (9)$$

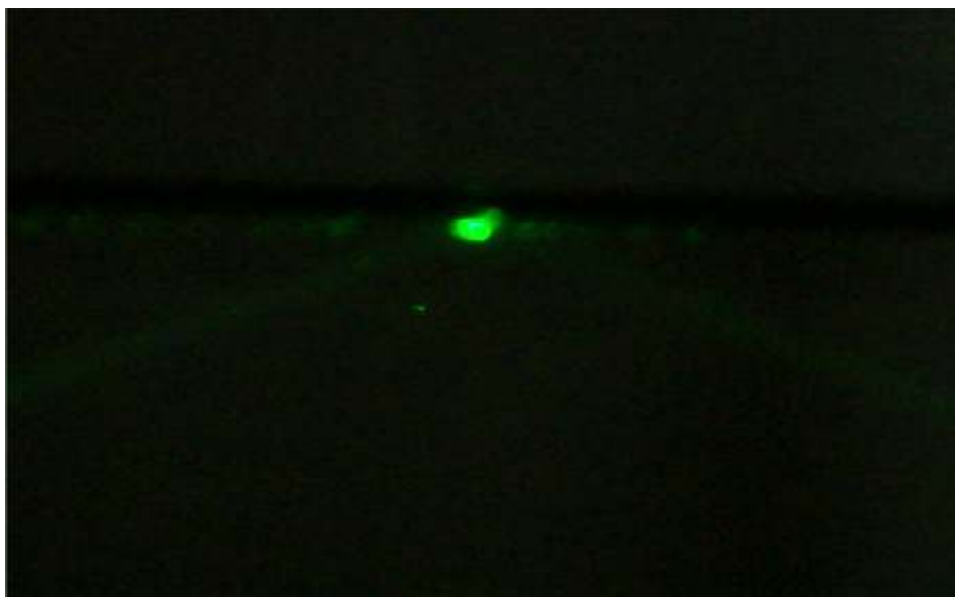
Totální odraz má poměrně široké uplatnění, například v lékařství, telekomunikacích atd.

2.2 Pokus s mezním úhlem

A teď k samotnému pokusu. Budeme potřebovat akvárium, vodu, zdroj světla (nejlépe laser) a úhloměr. Do akvária nalijeme vodu a skrz dno či boční stěnu posvítíme zespod na vodní hladinu. Na zadní stěnu akvária můžeme přiložit úhloměr a změřit úhel dopadu. Laserový paprsek je ve vodě poměrně dobře viditelný a tak je vidět, že i pro malé úhly se část paprsku odráží. Ve vzduchu je za normálních podmínek paprsek téměř neviditelný, a proto je potřeba vzduch „zašpinit“. Po fouknutí cigaretového kouře nad hladinu či zaprášením vzduchu například křidovým prachem z houby na tabuli je patrná trajektorie paprsku i ve vzduchu. Další možností je sledovat paprsek pomocí stínítka (stačí normální papír). Díky tomu můžeme ukázat, že od určitého (mezního) úhlu se již světlo neláme a všechno se odráží. Na obrázcích 2-4, respektive 2-5, je zachycena situace před dosažením mezního úhlu, respektive po jeho dosažení.



Obr.2-4: Lom světla na vodní hladině



Obr.2-5: Totální odraz na vodní hladině

Při pozorování lomeného paprsku je třeba dávat si pozor na paprsek který se odráží ode dna akvária (nejdříve se odrazil od vodní hladiny). Další věcí, která stojí za pozornost, je přechod vzduch-sklo, respektive sklo-voda, kde dochází k zajímavým lomům paprsku.

Nakonec jsme se chtěl vrátit zpět k infračervenému světlu a místo abych ukázal, jak se liší infračervené a viditelné světlo, jsem chtěl předvést, že se infračervené světlo také odráží a láme dle Snellova zákona. To se však ukázalo jako nemožné, protože víceméně jediný dobře dostupný zdroj infračerveného světla je ovladač na televizi (či jinou elektroniku), který ovšem září pod velkým prostorovým úhlem a tak není možné správně určit úhel dopadu.

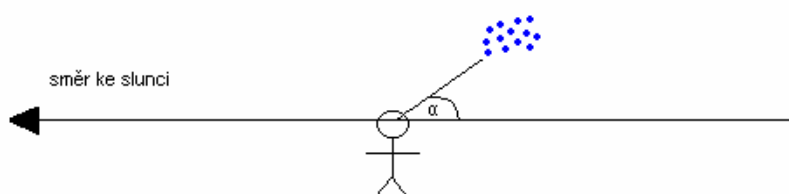
Kapitola 3

Duha

3.1 Duha - teorie

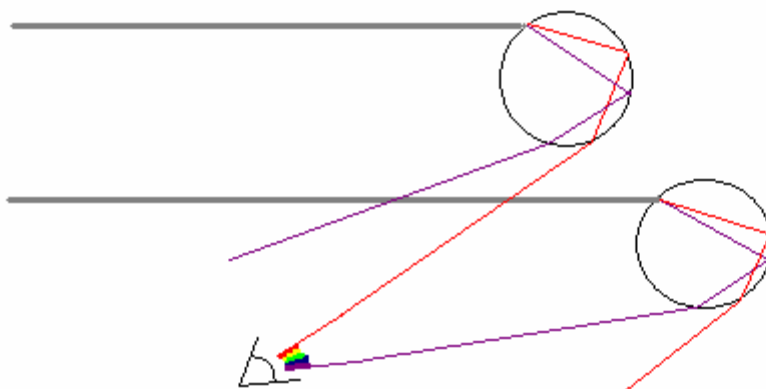
Duha je fascinující přírodní úkaz, který si ale můžeme „vyrobit“ sami. Pokus s duhou jsem vybral hlavně kvůli horkým červnovým dnům, kdy klasifikace je už uzavřena a žáci si stěžují, že být v takovémhle počasí ve škole je za trest. Proč tedy nespojit příjemné s užitečným a nevézt žáky na školní zahradu, či do parku, s úkolem vytvořit duhu. Žáci by se měli nejprve zamyslet nad tím, co budou potřebovat k vytvoření duhy a co všechno může ovlivnit její vzhled. Jedním z cílů této úlohy může také být poučení pro žáky o tom, v jaké pozici vůči slunci a kapkám mají stát, pokud chtějí duhu spatřit.

Nejprve znovu trochu teorie. Důležitým pojmem při popisování duhy je chromatická disperze. Což znamená, že světlo o různých frekvencích se láme pod různými úhly. Podmínkou pro vytvoření duhy jsou slunce, vodní kapky a pozorovatel ve správné konstelaci. Ta je zakreslena na obrázku 3-1.



Obr.3-1: Konstelace pro vznik duhy

Duha vzniká dvojitým lomem a vnitřním odrazem na velkém počtu kapek, jejichž „spojnice“ s pozorovatelem jsou asi o 42° odkloněna od přímky dané sluncem a pozorovatelem. Není to tedy tak, že by celá pozorovaná duha vznikala na jedné kapce, ale spousta kapek přispívá svým dílem k celkovému obrazu. Na obrázku 3-2 je zakreslen vznik duhy.



Obr.3-2: Vznik duhy na vodních kapkách

Pro každého pozorovatele vzniká duha na různých kapkách, čili každá duha je originální. Duha má tvar kruhového oblouku a například D.Halliday a kol. ve své knize [1] píše, že při pozorování z hora je možno vidět celý kruh. Při silném dešti a jasném slunci je možno vidět dokonce duhu dvojitou.

3.2 Duha - vytváření

Možností jak vytvořit duhu je celá řada. Já jsem si vybral následující čtyři. Pomocí hadice na zalévání, rozprašovače, pet lahve a pomocí brčka.

Postup při použití hadice je velmi jednoduchý. Stačí pustit vodu a prstem ucpat část ústí hadice tak, aby se jednolitý proud vody roztříštil na tisíce kapiček. Tak jak je zachyceno na obrázku 3-3.



Obr.3-3: Vytváření kapiček pomocí hadice na zalévání

Na obrázku 3-3 není vidět žádná duha, protože jsou kapky foceny ze špatného úhlu. Výhodou použití hadice je, že lze vytvořit velkou duhu. To je vidět na obrázku 3-4, kde se duha „táhne“ od levého spodního rohu okolo basketbalového míče až skoro do pravého spodního rohu.



Obr.3-4 Duha „vyrobená“ pomocí hadice

Použití rozprašovače je ještě jednodušší a pro studenty možná o to zajímavější, že si může duhu vytvořit každý sám pro sebe. Některé rozprašovače navíc umožňují měnit velikost rozprašovaných kapek, a tak je možno ukázat, co se s duhou děje pokud takto měníme velikost a hustotu kapek. Ze čtyř výše zmíněných způsobů se mi právě pomocí rozprašovače podařilo vytvořit a zachytit nejjasnější duha. Vyfocena je na obrázku 3-5.



Obr.3-5: Duha vytvořená pomocí rozprašovače

Další možností je použití pet lahev, do jejíhož víčka je udělaná díra. Po stisknutí lahve, začne z víčka stříkat proud vody, který je opět třeba rozložit vhodným přiložením prstu na drobné kapky. Problém je, že kvůli omezenému objemu lahve a nutnosti stále většího tlaku, je takto vytvořená duha „udržitelná“ jen chvilku, takže se mi ji nepodařilo zachytit.

Ke čtvrtému způsobu potřebujeme brčko rozstříhnuté napůl a sklenici vody. Jednu část brčka ponoříme do vody tak, aby jeden konec koukal nad hladinu. Pomocí druhého brčka foukáme nad horní okraj prvního. Díky platnosti Bernoulliho rovnice vzniká nad okrajem ponořeného brčka podtlak. To má za následek, že se do brčka nasává voda, která je proudem vzduchu rozprášena na malé kapky na kterých se tvoří duha. Opět je

problémem omezený objem, tentokrát lidských plic, takže duha je vidět jen několik vteřin. Navíc se mi podařilo vytvořit duhu, jen když jsem měl slunce za zády, což se mi bohužel pomocí fotoaparátu nepodařilo zachytit. Z „boku“ se mi nepodařilo duhu vytvořit, zřejmě proto, že proud vyfukovaných kapek má tvar nevhodný pro vznik duhy. Na obrázku 3-6 je zachycen proces vyfukování kapiček pomocí brčka.



Obr.3-6: Pokus o vytvoření duhy brčkem

Kapitola 4

Proč je obloha modrá?

4.1 Rayleighův rozptyl

Proč je obloha modrá? Tuto otázku si jistojistě položil leckterý zvědavý člověk. Cílem tohoto pokusu je zodpovědět otázky: „Proč je slunce při západu červené?“ a „Proč je nebe modré?“. Tento pokus lze pojmut jako demonstrační, i když při dostatečném počtu akvárií větší dojem ve studentech zanechá, když si to každý zkusí sám. Než si zkusíme nasimulovat co se děje se světlem při průchodu atmosférou, odpovězme na otázku: Proč je obloha modrá?

Může za to Rayleighův rozptyl. Rozptyl světla je optický jev, při kterém se interakcí světla s různě velkými „překážkami“ mění dráha světelného paprsku. O kolik se změní dráha paprsku je mimo jiné přímo úměrné frekvenci světla, čili fialová barva se rozptyluje více než červená. Otázkou stále zůstává kvůli čemu k rozptylu dochází. Nabízely by se prachové částice a kapičky vody v atmosféře, v takovém případě však na obloze vidíme mraky a ty jsou bílé, či šedivé. V roce 1899 přišel anglický fyzik J.W. Rayleigh (1842-1919) s myšlenkou, že by se světlo mohlo rozptylovat na samotných molekulách vzduchu. Tuto myšlenku vylepšili o pár let později A.Einstein, M. Smulochowski a L.I. Mandelštam, kteří za rozptylová centra určili fluktuace hustoty vzduchu. Vzduch totiž není dokonale homogenní, ale náhodně se v něm objevují shluky molekul. A právě tento jev se pokusíme napodobit pomocí smetany do kávy. Je také zřejmé, že rozptyl je dokonalejší, čím delší dráhu musí paprsky atmosférou urazit, proto je také slunce tím červenější, čím je blíže obzoru. Někdo by se ještě mohl ptát proč tedy není obloha fialová? Je to proto, že ve spektru slunečního světla je fialová barva zastoupena minimálně, a proto je „přebita“ barvou modrou.

4.2 Pokus s Rayleighovým rozptylem

K provedení tohoto pokusu budeme potřebovat akvárium, vodu, trochu smetany do kávy a zdroj světla (například projektor). Celý pokus může být sestaven například jako na obrázku 4-1.



Obr. 4-1: Aparatura pro provedení Rayleighova rozptylu

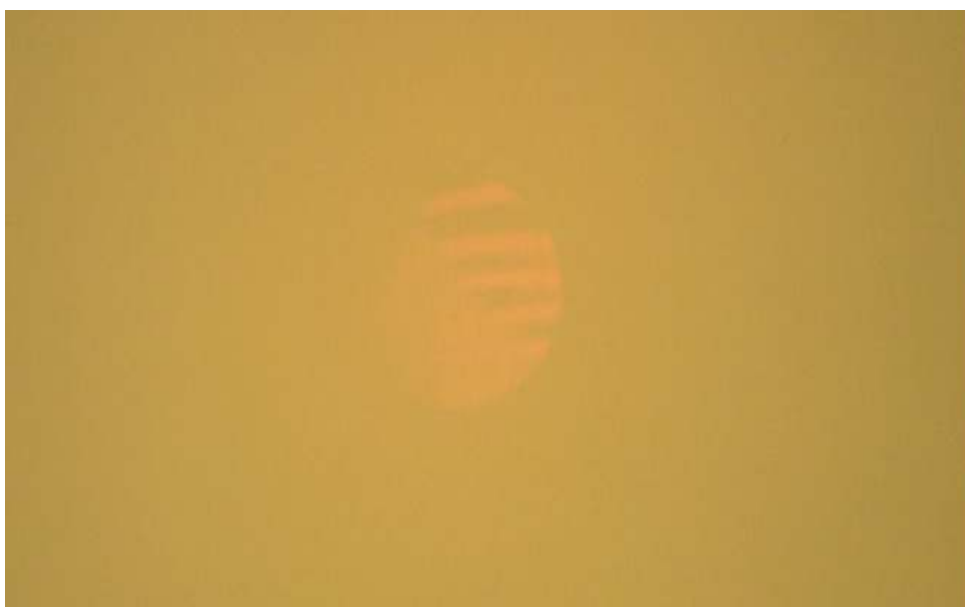
Princip napodobení atmosféry vypadá poměrně jednoduše. Stačí ve vodě rozmíchat správné množství smetany do kávy, jejíž kapičky nahradí shluky molekul v atmosféře. Problémem je, že při malém množství smetany k rozptylu nedojde a při velké koncentraci smetany se voda zakalí tak, že není vidět vůbec nic. Po přilítí a rozmíchání správného množství smetany by paprsky procházející skrz akvárium měly být oranžové až červené a při pohledu z boku bychom měli vidět modrou a nebo fialovou barvu. Tak to alespoň říká teorie, praxe je bohužel často poněkud odlišná.

Na obrázku 4-2 je zachycen pohled na zdroj světla skrz akvárium bez smetany. Je vidět, že zdroj svítí „bíle“.



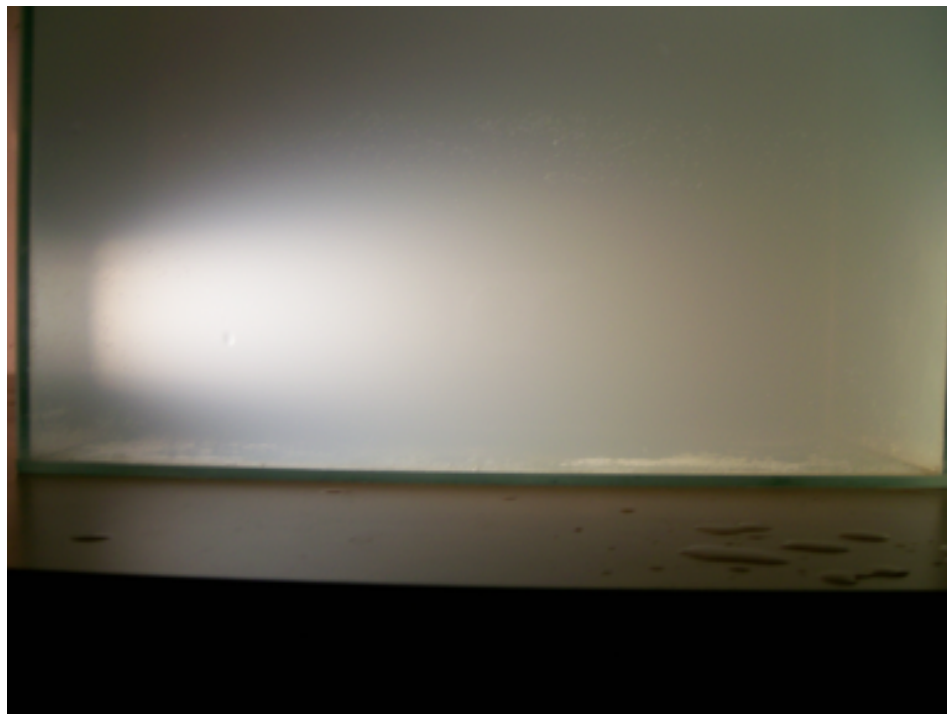
Obr.4-2 Pohled na zdroj světla skrz akvárium s čistou vodou

Již po přilítí pár kapek smetany je vidět, že světlo procházející akváriem získává světle žlutou barvu. Při rostoucí koncentraci se barva mění na žlutou, světle oranžovou až do tmavě oranžové, jak je vidět na obrázku 4-3.



Obr.4-3: Pohled na zdroj světla po přilítí smetany

Až sem se zdá, že pokus je v pořádku a v souladu s teorií. Problém nastane při pohledu z boku, kde je místo modré, či fialové barvy, k vidění pouze šedivá barva (viz obrázek 4-4).



Obr.4-4 Pohled z boku

Na vině může být špatná koncentrace smetany, či samotná smetana. Pokud smetana tvoří nevhodně velké kapičky, tak jsme vytvořili nepřesné napodobení atmosféry a rayleighův rozptyl je nedokonalý. Richard Feynman však ve své knize [2] tento pokus k ověření Rayleighova rozptylu doporučuje, a v televizním pořadu České televize PORT tento pokus vyšel (i když je zde možnost, že se jednalo o televizní trik), takže řešením tohoto problému může být nalezení vhodné koncentrace vhodné smetany. Mě se podařilo ukázat, proč je slunce při západu, či východu tmavě oranžové, ale nepodařilo se mi dokázat, proč je obloha modrá.

Závěr

Tyto mnou navržené pokusy určitě nejsou jediné, které lze při výuce optiky využít, ale myslím, že by mohly studenty zaujmout.

Sestrojování dalekohledu, bych doporučil zadávat spíše jako ročníkovou práci, či jako speciální domácí úkol, protože je tento pokus přeci jenom časově trochu náročnější. Mnou sestrojený dalekohled není určitě dokonalý, ale zatemnění vnějšího okraje objektivu (což zmenší sférickou vadu), se s ním dá „něco“ pozorovat.

Jak jsem již zmínil výše, hlavní výhoda pokusu s duhou je, že se dá provádět venku. Navíc duha se líbí skoro všem dětem, a tak jim tento pokus může ukázat, že fyzika může být krásná, a že je všude kolem nás a nejen ve vzorečkách v učebnici.

Zbylé dva pokusy, bych klidně zařadil do fyzikálních praktik, anebo je využil čistě jako demonstrační. U hledání mezního úhlu mě mrzí, že se nepodařilo zakomponovat infračervené záření. U Rayleighova rozptylu je potřeba předem vyzkoušet kolik smetany je potřeba. Smetanu by šlo nahradit tučným (nejlépe čerstvě nadojeným) mlékem, nebo něčím co ve vodě vytvoří vhodné kapičky (například latexem).

Všechny použité fotografie jsou v plném rozlišení na přiloženém CD.

Literatura

- [1] Halliday D., Resnik R., Walker J. (2000): Fyzika. Vutium (Prometheus), Brno (Praha)
- [2] Feynman R.P. (2000): Feynmanovy přednášky z fyziky. Fragment, Praha
- [3] Lepil O. (2007): Fyzika pro gymnázia – Optika. Prometheus, Praha
- [4] Malý P. (2008): Optika. Karolinum, Praha