

Návody k pokusům pro Praktikum školních pokusů I

1.1 Průhledná, průsvitná a neprůhledná prostředí

Cíl pokusu

Cílem pokusu, je pozorovat rozdíly mezi průhlednými, průsvitnými a neprůhlednými prostředími.

Teorie

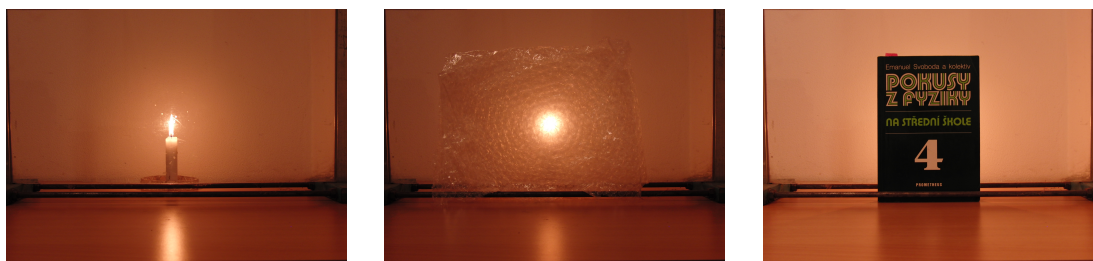
Předměty, které můžeme vidět, jsou buď světelné zdroje, nebo jimi osvětlená tělesa. Světlo se od těchto objektů šíří přímočaře. Prostředí, kterým světlo prochází, má vliv na to, jak předmět pozorujeme. Pokud předmět vidíme zřetelně, procházelo světlo průhledným prostředím (např. vzduch, čistá skleněná tabule, plexisklo, tenká vrstva vody). Pokud je pro nás předmět stále viditelný, ale jeho rysy nejsou zřetelné, hovoříme o prostředí průsvitném (např. mléčné sklo, tenký papír, pára nad hrncem, mlha). Pokud prostředím světlo vůbec neprochází, předmět nepozorujeme a jedná se o prostředí neprůhledné.

Pomůcky

Zápalky, svíčka, skleněná deska, tenký papír nebo bublinková fólie, kniha nebo sešit.

Postup

1. Postavíme svíčku na stůl a zapálíme ji. Před ni umístíme skleněnou desku.
2. Před desku postavíme tenký papír, případně bublinkovou fólii.
3. Jako poslední před tuto soustavu postavíme knihu nebo sešit.
4. Odebereme předchozí překážky, aby bylo vidět, že na neprůhlednost nemají vliv.



Obrázek 1: Vzorový výsledek k pokusu 1.1 Průhledná, průsvitná a neprůhledná prostředí

Technické poznámky

- Místo svíčky lze použít obyčejnou kapesní svítilnu. Nehrozí tak zapálení papíru.
- Pokus bychom měli provádět v zatemněné místnosti nebo na tmavém místě.
- Pokud na průsvitnost používáme papír, je lepší nechat mezi ním a plamenem skleněnou desku kvůli riziku vznícení.

Zdroje

Tento pokus je popsán také ve sbírce pokusů (Svoboda a kol., 2001).

1.2 Přímočaré šíření světla

Cíl pokusu

Cílem pokusu je ukázat, že světlo se v homogenním prostředí šíří přímočaře.

Teorie

Zákon přímočarého šíření světla v homogenním prostředí plyne z Fermatova principu nejkratšího času. Ten lze zapsat pro obecně nehomogenní prostředí jako

$$\frac{1}{c} \int_1^2 n dl = \int_1^2 \frac{dl}{v} = t_{12}. \quad (1)$$

Zde c představuje rychlost světla ve vakuu, n je index lomu a v rychlost světla v daném prostředí. t_{12} je potom doba, za kterou světlo urazí dráhu mezi body 1 a 2. V homogenním prostředí je index lomu konstantní, křivkový integrál $\int_1^2 dl$ pak představuje délku křivky spojující body 1 a 2. Aby tato křivka měla minimální délku, musí se jednat o úsečku. To znamená, že v homogenním prostředí se světlo šíří přímočaře.

Pomůcky

- A) ŽES 1: Halogenová lampa, clona s jednou štěrbinou, clona bez štěrbin
- B) ŽES 1: Halogenová lampa, clona bez štěrbin, papír, pravítko
- C) Laserové ukazovátko, papír

Postup

Varianta A:

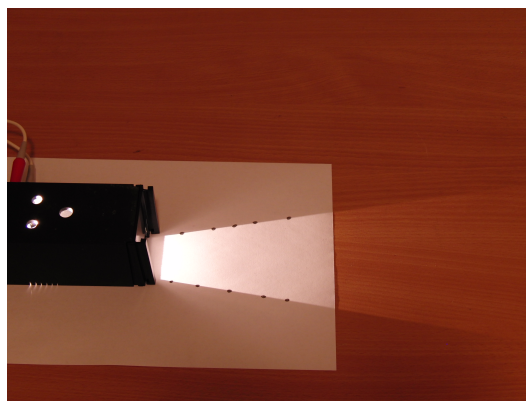
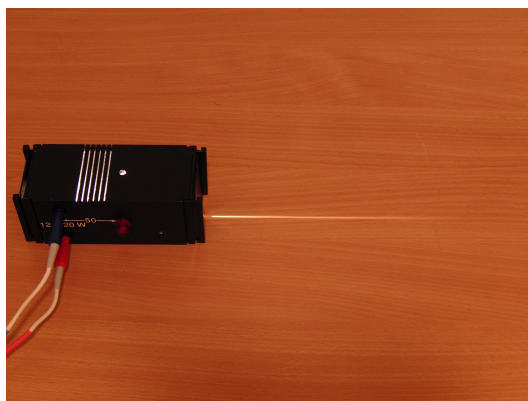
1. Kruhový otvor halogenové lampy zakryjeme clonou bez štěrbin. Na druhé straně zakryjeme svítící část clonou s jednou štěrbinou.
2. Po zapnutí lampy vidíme na podložce světelnou čáru. Ta ukazuje směr šíření paprsku.

Varianta B:

1. Mezi podložku a halogenovou lampu umístíme papír. Jednu stranu lampy využijeme jako zdroj rozbíhavého světelného svazku, druhou stranu zakryjeme clonou bez štěrbin.
2. Na papír obkreslíme obrys světelného zdroje. Potom si tužkou označíme několik bodů na okraji rozbíhavého světelného svazku.
3. Lampu vypneme a odebereme z podložky. Označené body spojíme pravítkem a obě čáry protáhneme až k průsečíku. Tento bod značí pozici světelného zdroje, tj. kde přesně je v halogenové lampě umístěna žárovka.

Varianta C:

1. List papíru vezmeme do ruky a v zatemněné místnosti na něj posvítíme laserovým ukazovátkem.
2. Pozorujeme, kam dopadá světlo na papír. Pak od sebe papír vzdálíme nebo přiblížíme a opět sledujeme místo dopadu paprsku na papír.
3. Pozorování provedeme pro různé vzdálenosti, které nám vytyčí v prostoru body, kudy světlo prochází. Pokud jsme s ukazovátkem nehýbali, leží všechny tyto body v jedné přímce.



Obrázek 2: Vzorový výsledek k pokusu 1.2 Přímočaré šíření světla – nalevo Varianta A, napravo B

Technické poznámky

- Varianty A a B lze provést na magnetické tabuli jako demonstrační pokusy.
- K provedení varianty B je potřeba rozbíhavého světelného svazku paprsků. U halogenové lampy v žákovské demonstrační soupravě je proto potřeba obdélníkovou clonu otočit tak, aby stínila paprsky, které spojka láme do rovnoběžného svazku.

Zdroje

- Tento pokus je popsán se starší aparaturou ve sbírce pokusů (Svoboda a kol., 2001).
- Varianta B je popsána v návodu k ŽES na stránkách (Didaktik s.r.o., g)
- Teorie je převzata z učebního textu (Tolar, 2014).

1.3 Plný stín a polostín

Cíl pokusu

Cílem pokusu je pozorovat rozdíl mezi plným stínem a polostímem.

Teorie

V homogenním, izotropním prostředí se světlo ze zdroje šíří přímočaře a všemi směry stejně rychle. Pro zjednodušení se v optice zavádí pojem bodový zdroj světla, což je takový zdroj, jehož rozměry jsou vůči okolí zanedbatelné a jím vysílané vlnoplochy mají tvar soustředných kulových ploch. Směr šíření udávají paprsky – polopřímky, které mají počátek ve zdroji a jsou kolmé na vlnoplochu. Neuvažujeme-li ohybové jevy, pak pokud umístíme mezi bodový zdroj světla a stínítko neprůhlednou překážku, nebudou paprsky dopadat za překážku a na stínítku se objeví plný stín. Při osvětlení této překážky dvěma bodovými zdroji světla vzniká kromě plného stínu i polostín. Polostímem nazýváme stín, který je vytvořen pouze jedním z použitých zdrojů. V místě, kde se polostíny překrývají, je plný stín. Dalším způsobem, jak pozorovat plný stín a polostín je osvětlení překážky plošným zdrojem světla.

Pomůcky

- A) Zápalky, dvě svíčky, lepenkový papír, nůžky, dva menší hrníčky
- B) ŽES 1: Dvě halogenové lampy, krabice od sirek

Postup

Varianta A:

1. Na lepenku nebo karton si nakreslíme dvě stejné kružnice s poloměrem trochu větším než jsou poloměry hrníčků a vystříhneme.
2. Středem každé kružnice protáhneme svíčku tak, aby knot svíčky byl několik centimetrů nad vystřiženým kruhem.
3. Svíčky s tímto prstencem posadíme do hrníčků a zapálíme.
4. Místnost zatemníme, aby byly vidět stíny na stole pod svíčkami.
5. Hrníčky k sobě přiblížíme tak, abychom mohli pozorovat polostíny i plný stín, viz Obrázek 3.

Varianta B:

1. Na podložku umístíme krabičku od sirek. Asi 6 cm před ní postavíme dvě halogenové lampy.
2. Lampy zapneme. Za krabičkou pozorujeme vznik úplného stínu a polostínu.
3. Rukou zakryjeme jeden zdroj světla a pozorujeme, jak se stíny změní.



Obrázek 3: Vzorový výsledek k pokusu 1.3 Plný stín a polostín – nalevo Varianta A, napravo B

Technické poznámky

- Pokus by se měl dělat v zatemněné místnosti, aby nám ho nenarušovaly okolní světelné zdroje.
- Je potřeba dát si pozor, aby předměty nacházející se v blízkosti svíček, neodrážely světlo a nenarušovaly tak zobrazené stíny.
- Jako stínítko je možné použít místo stolu stěnu.
- Mezi svíčky a stěnu můžeme vložit neprůhlednou překážku a opět podle toho, jak jsou svíčky daleko od sebe, sledujeme na stínítku polostín, případně i plný stín.
- Při práci s ohněm bychom měli dbát zvýšené opatrnosti.

Komentáře

- V praktikách jsou držáky na svíčky již vyrobené. Pro provedení pokusu z varianty A tedy není potřeba dělat je znovu.
- Variantu B lze provést na magnetické tabuli jako demonstrační pokus. Stačí z krabičky vyndat sirky a umístit do ní dva kruhové magnety. Nemusí vadit, pokud se magnety do krabičky nevejdou celé, krabička nemusí být při provádění pokusů zavřená.

Zdroje

- Varianta A pokusu je popsána v elektronické sbírce (Sbírka fyzikálních pokusů, e), kde je ke shlednutí video ilustrující průběh pokusu.
- Varianta B pokusu je popsána v návodu k soupravě na stránkách (Didaktik s.r.o., h)

1.4 Fáze Měsíce

Cíl pokusu

Ukázat si fáze Měsíce a vysvětlit si, díky čemu vznikají.

Teorie

Měsíc vidíme díky tomu, že světlo, které na něj dopadá od Slunce, se od něj odráží k nám na Zemi. Tím, jak Měsíc obíhá kolem Země, pozorujeme během periody jeho oběhu různé části osvětlené měsíční plochy. Podle toho rozlišujeme tzv. nový Měsíc, dorůstající, couvající a úplněk.

Pomůcky

- A) Zdroj světla, který může svítit kolem sebe, např. stojací lampa.
- B) ŽES 1, 2: Halogenová lampa, clona bez štěrbin, optická lavice, stativ, běžec pro optickou lavici, stativový běžec, model Země a Měsíce

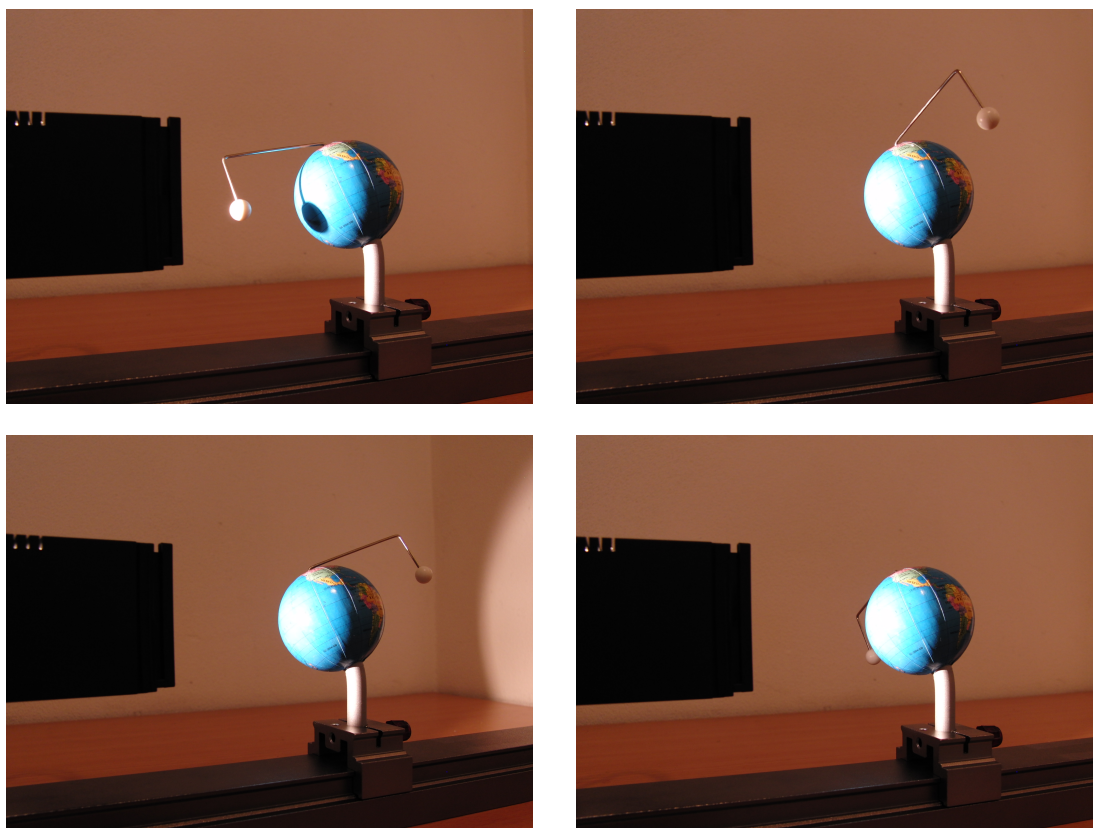
Postup

Varianta A:

1. Vyberou se studenti, kteří budou představovat Měsíc a Zemi.
2. Do třídy se postaví lampa představující Slunce. Případně nějaký menší zdroj světla může další držet žák nad hlavou.
3. Učitel roztočí studenty – Zemi kolem Slunce, Měsíc kolem Země.
4. Země pozoruje fáze Měsíce, zatímco ostatní pozorují tuto soustavu zvenčí a snaží se vysvětlit, co vidí.

Varianta B:

1. Na optickou lavici umístíme na jeden konec běžec se stativem a nasunutou lampou. Konec lampy s obdélníkovým otvorem zakryjeme clonou.
2. Na druhou stranu lavice umístíme běžec s modelem Měsíce a Země.
3. Zapneme lampu a osvítíme model. Otáčíme modelem Měsíce kolem Země a pozorujeme, jaký stín je ze Země vidět (nov, dorůstá, úplněk, couvá).



Obrázek 4: Vzorový výsledek k pokusu 1.4 Fáze Měsíce – Varianta B

Technické poznámky

- Pokus se dá provádět také s teluriem. To ale často na školách chybí.
- Na variantu A je potřeba ve třídě udělat dostatek místa. Případně se dá pokus provádět na chodbě, v tělocvičně nebo v nějakém podobném prostoru.
- Při variantě B vzniká na modelu při každém novu zatmění Slunce, při každém úplňku zatmění Měsíce. To se ale ve skutečnosti neděje, neboť úroveň oběžné dráhy Měsíce je nachýlena k oběžné dráze Země. Na to je potřeba myslet, při provádění pokusu a žáky na to upozornit.

Zdroje

Varianta B pokusu je popsána také v návodu k soupravě na stránkách (Didaktik s.r.o., c).

1.5 Řídící oko

Cíl pokusu

Určení řídícího oka a uvědomění si přímočarého šíření světla.

Teorie

Řídící oko je důležité zejména při střelbě. Střelec míří na terč pouze tímto okem. Jedná se zpravidla o oko dominantní, které máme tendenci používat více.

Pomůcky

Předmět v dostatečné vzdálenosti (asi 5 metrů daleko).

Postup

1. Oběma očima se podíváme na vzdálený objekt a zakryjeme jej nataženým palcem.
2. Zavřeme jedno oko a pozorujeme, zda objekt jakoby uskočí stranou zpod zá-
krytu, či nikoliv.
3. Totéž provedeme s druhým okem
4. Oko, při kterém objekt zůstal v původní pozici, je právě oko řídící.

Zdroje

Tento pokus je popsán například v učebnici (Tesař a Jáchim, 2009).

2.1 Zákon odrazu

Cíl pokusu

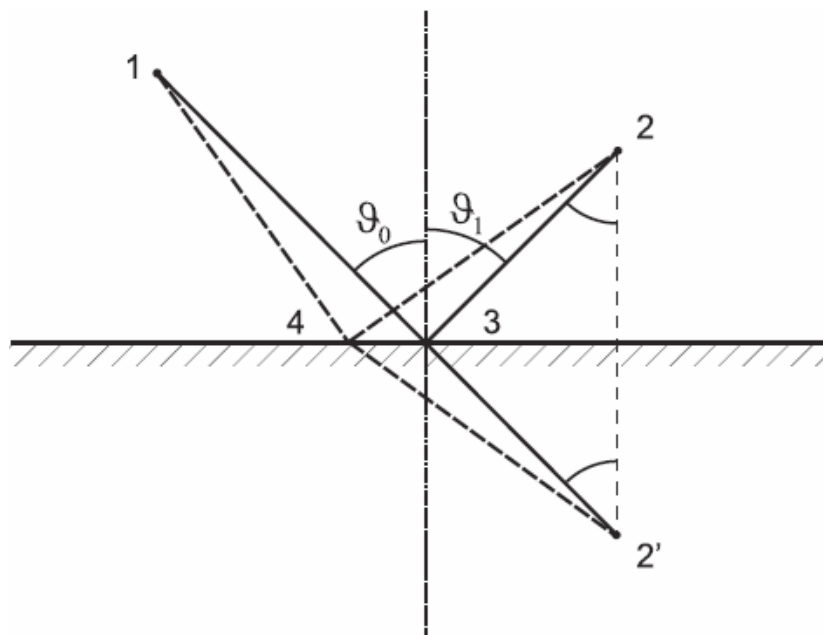
Pokus slouží k demonstraci zákona odrazu.

Teorie

Zákon přímočarého šíření světla v homogenním prostředí plyne z Fermatova principu nejkratšího času. Ten lze zapsat pro obecně nehomogenní prostředí jako

$$\frac{1}{c} \int_1^2 n dl = \int_1^2 \frac{dl}{v} = t_{12}. \quad (2)$$

Zde c představuje rychlost světla ve vakuu, n je index lomu, v rychlost světla v daném prostředí. t_{12} je potom doba, za kterou světlo urazí dráhu mezi body 1 a 2, viz Obrázek 5. Paprsek se může do bodu 2 dostat také odrazem od některého bodu zrcadla, označíme jej 4. V homogenním prostředí pak bude tento paprsek tvořen dvěma úsečkami (světlo se šíří přímočaře). Z obrázku vidíme, že délky spojnic 142 a 142' jsou stejné. Nejkratší spojnice bodů 1 a 2' je ta, která vede přímo, na obrázku je to tedy spojnice 132' a ta je stejně dlouhá jako 132. Našli jsme tedy skutečnou dráhu paprsku, pro kterou platí, že úhel odrazu ϑ_1 se rovná úhlu dopadu ϑ_0 .



Obrázek 5: K teorii pokusu 2.1 Zákon odrazu. Obrázek je převzat z (Tolar, 2014)

Pomůcky

- A) RODS: Laser Ray Box, úhломěrná stupnice, rovinné zrcadlo.
- B) ŽES 1, 2: Halogenová lampa, clona s jednou, třemi a pěti štěrbinami, úhломěrná stupnice, rovinné zrcadlo, alobalová fólie.

Postup

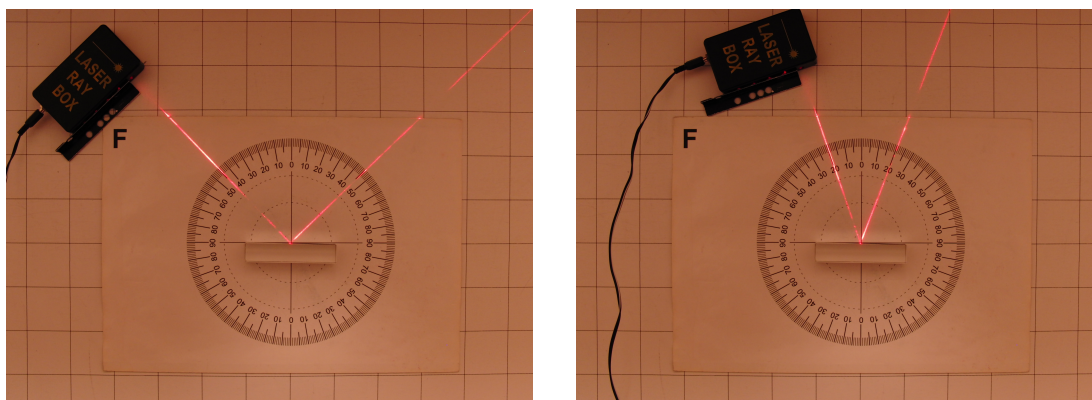
Varianta A:

1. Na magnetickou tabuli umístíme úhломěrnou stupnici a k jedné její ose přiložíme zrcátko tak, aby jeho odrazivá strana s touto osou splývala.
2. Posvítíme laserovým paprskem na střed kotouče a změříme úhel dopadu a úhel odrazu.
3. Pokus opakujeme se změnou úhlu, pod kterým svítíme na zrcátko.

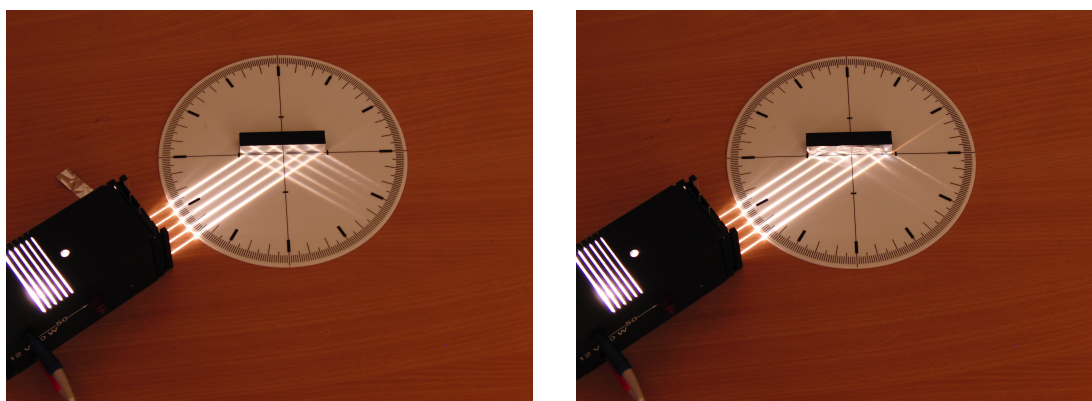
Varianta B:

1. Úhломěrnou stupnici umístíme na podložku. Na její střed namíříme halogenovou lampu s jedno-štěrbinovou clonou.
2. Do středu úhломěrné stupnice dáme rovinné zrcadlo kolmo na dopadající paprsek. Paprsek se odráží zpět ke zdroji.
3. Lampu na zrcadlo nyní namíříme pod jiným úhlem. Pozorujeme, že úhel dopadu se rovná úhlu odrazu. Vyzkoušíme více úhlů.
4. Clonu s jednou štěrbinou vyměníme za clonu s pěti štěrbinami. Když se rovnoběžné paprsky odráží od rovinného zrcadla, jejich směr je stále rovnoběžný.

5. Můžeme provést totéž s hladkou alobalovou fólií, která se chová také jako rovinné zrcadlo. Když ji ale pomačkáme a zkusíme znovu vyhladit, odráží se paprsky do všech stran. Dochází k rozptylu světla.



Obrázek 6: Vzorový výsledek k pokusu 2.1 Zákon odrazu - Varianta A



Obrázek 7: Vzorový výsledek k pokusu 2.1 Zákon odrazu - Varianta B

Technické poznámky

- Zvolené umístění zrcátka na úhloměrné stupnici je vybráno z důvodu snadného odměřování úhlů dopadu a odrazu.

Zdroje

- Tento pokus je popsán se starší aparaturou ve sbírkách pokusů (Svoboda a kol., 1994), (Svoboda a kol., 2001).
- V manuálu (Holec) je tento pokus označen E1.
- Teorie je převzata z učebního textu (Tolar, 2014).

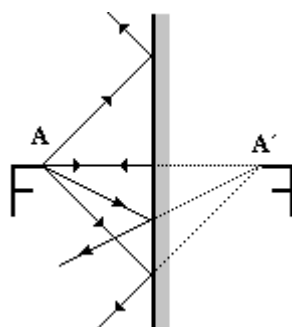
2.2 Zobrazování rovinným zrcadlem

Cíl pokusu

Cílem pokusu je na vlastní oči pozorovat vlastnosti obrazu rovinného zrcadla.

Teorie

Zobrazování předmětu odrazem od rovinného zrcadla se řídí zákonem odrazu. Vlastnosti obrazu můžeme snadno určit narýsováním dopadajících a odražených paprsků. Z Obrázku 8 je vidět, že paprsky odražené od zrcadla se rozbíhají. Obraz získáváme protažením odražených paprsků za zrcadlo. Obraz je proto zdánlivý. Dále vidíme, že paprsky se protínají ve stejné vzdálenosti od zrcadla, v jaké je předmět. Obraz je stranově převrácený, stejně velký a přímý.



Obrázek 8: K teorii pokusu 2.2 Zobrazování rovinným zrcadlem. Obrázek je převzat z internetových stránek (Encyklopedie fyziky, c)

Pomůcky

- A) Skleněná či plastová deska, délkové měřidlo, svíčka, kádinka s vodou
- B) Optická lavice, zrcadlo, délkové měřidlo, dvě stejné tužky (o něco delší než je výška zrcadla)

Postup

Varianta A:

1. Před skleněnou desku ve stojanu umístíme svíčku. Za desku umístíme kádinku s vodou v takové vzdálenosti, aby obraz svíčky byl v ní. Důvodem je, aby bylo jasné, že na druhé straně v kádince s vodou svíčka hořet nemůže.
2. Pod desku dáme délkové měřítko tak, aby bylo kolmé na skleněnou desku.
3. Změříme vzdálenosti svíčky a obrazu svíčky od desky a porovnáme je. Vzdálenost svíčky od desky několikrát změníme a pozorujeme, že je vždy stejná jako vzdálenost obrazu.

Varianta B:

1. Na optickou lavici umístíme doprostřed zrcadlo a po obou stranách umístíme tužky ve stejných vzdálenostech od zrcadla. Tužky musí do výšky přesahovat zrcadlo.
2. Přestože je část druhé tužky zakryta zrcadlem, je pro každého pozorovatele před zrcadlem nahrazena obrazem první tužky.



Obrázek 9: Vzorový výsledek k pokusu 2.2 Zobrazování rovinným zrcadlem – nalevo Varianta A, napravo B

Zdroje

Tento pokus je popsán ve sbírce pokusů (Svoboda a kol., 2001)

2.3 Změna směru světelných paprsků pomocí rovinných zrcadel

Cíl pokusu

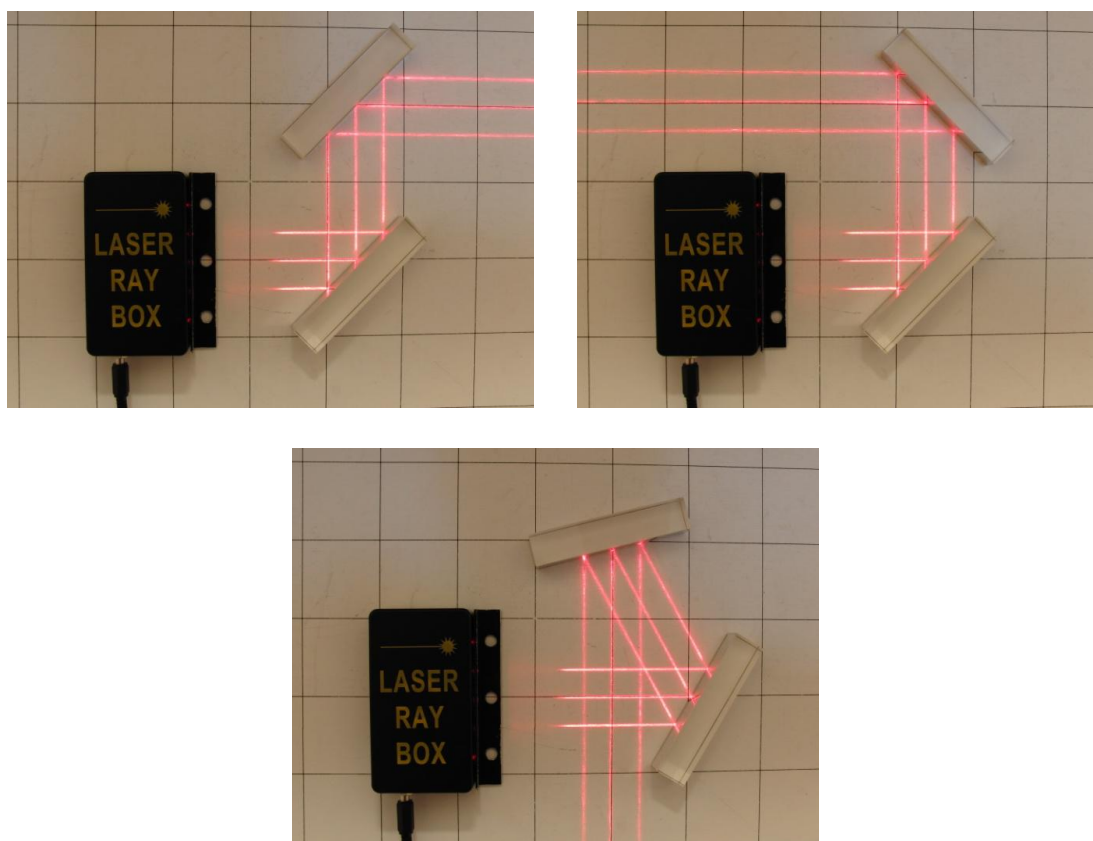
Cílem pokusu je na jednoduchém modelu ukázat, jak se využívají rovinná zrcadla v praxi.

Pomůcky

RODS: Laser Ray Box, dvě rovinná zrcátka.

Postup

1. Zapneme Laser Ray Box s několika světelnými paprsky.
2. Periskop: Umístíme jedno zrcátko tak, aby s dopadajícími paprsky svíralo úhel 45° . Druhé umístíme do dráhy odražených paprsků rovnoběžně s prvním zrcátkem. Odražené paprsky jdou rovnoběžně s původními a v nezměněném pořadí.
3. Zpětná projekce: Nyní změníme polohu druhého zrcátka tak, aby bylo kolmé k prvnímu. Odražené paprsky nyní míří v opačném směru a jejich pořadí se změnilo.
4. Vytyčování kolmic: Libovolně pozměníme úhel natočení prvního zrcátka. Druhé k němu umístíme tak, aby s ním svíralo úhel 45° . Odražené paprsky jsou nyní kolmé na původní svazek paprsků.



Obrázek 10: Vzorový výsledek k pokusu 2.3 Změna směru světelných paprsků pomocí rovinných zrcadel. Obrázky znázorňují po řadě periskop, zpětnou projekci a vytyčování kolmice.

Zdroje

- Tento pokus je popsán se starší aparaturou ve sbírkách pokusů (Svoboda a kol., 1994), (Svoboda a kol., 2001).
- V manuálu (Holec) je pokus s odrazem paprsků na dvou rovinných zrcadlech označen E2.

3.1 Odraz světla na kulových zrcadlech

Cíl pokusu

Ukázat si, že se světlo odráží od kulových zrcadel do jediného bodu (ohniska), a že poloha tohoto bodu závisí na zakřivení zrcadla.

Teorie

Kulové zrcadlo je tvořeno zrcadlicí plochou na kulové ploše. Podle strany vrcholíku, na kterém je zrcadlicí plocha, můžeme rozlišit duté a vypuklé zrcadlo. Střed koule, jejíž část reprezentuje kulové zrcadlo, se nazývá střed křivosti. Všechny paprsky, které tímto bodem procházejí, dopadají na zrcadlo kolmo, a proto se všechny tyto paprsky odráží přímo zpět. Vrchol zrcadla tvoří se středem křivosti přímkou, již nazýváme optická osa. Vzdálenost mezi těmito body je proto poloměrem koule, tuto vzdálenost nazýváme poloměr křivosti zrcadla. V poloviční vzdálenosti od vrcholu zrcadla se nachází ohnisko, značíme jej F . Paprsky dopadající na kulovou plochu rovnoběžně s optickou osou se odráží do ohniska. Naopak paprsky procházející ohniskem se odráží ve směru rovnoběžném s optickou osou.

Pomůcky

- A) RODS: Laser Ray Box, kulové zrcadlo, vypuklé zrcadlo
- B) ŽES 1: Halogenová lampa, clona bez štěrbin, clona s třemi štěrbinami, flexibilní zrcadlo

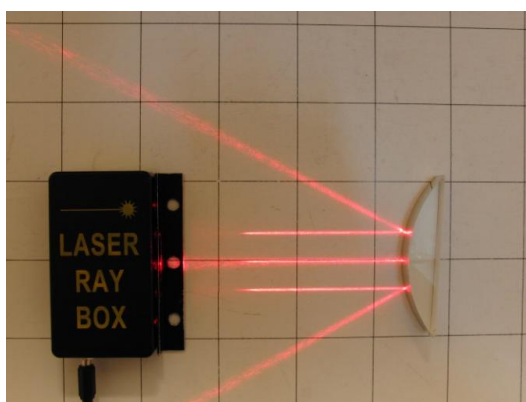
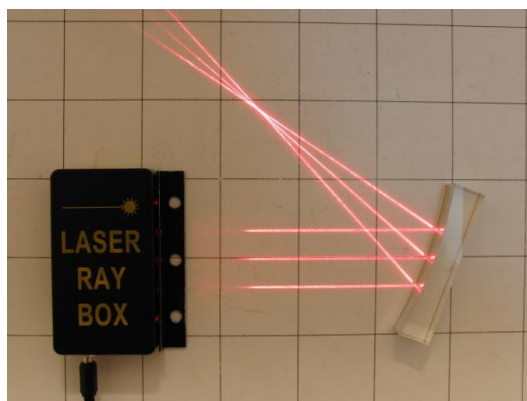
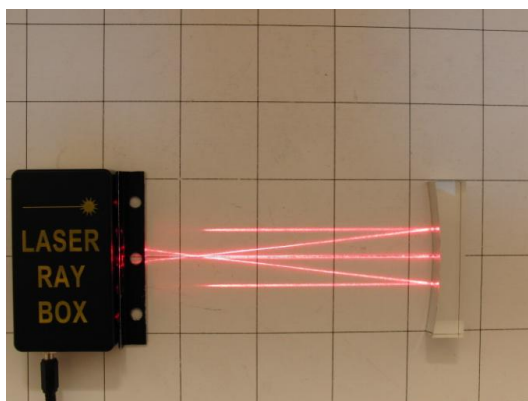
Postup

Varianta A:

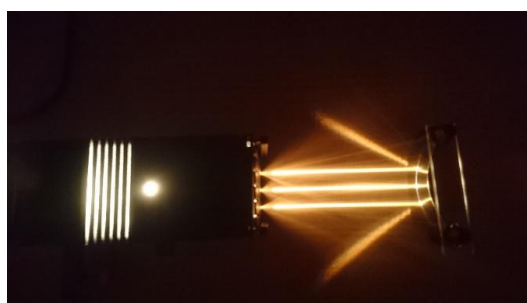
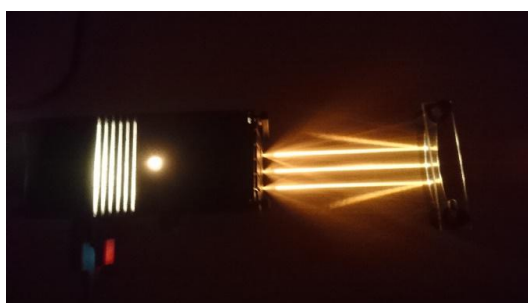
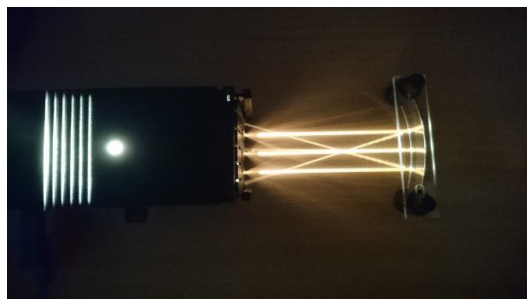
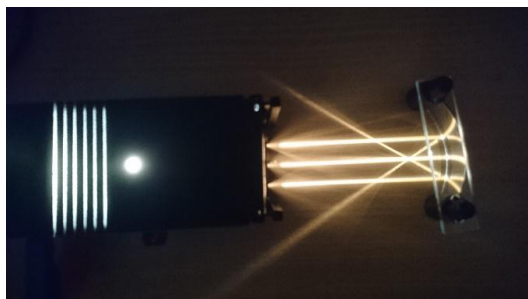
1. Na magnetickou tabuli umístíme zdroj laserových paprsků se třemi paprsky a proti němu kulové zrcadlo.
2. Když posvítíme paprsky na kulové zrcadlo, odražené paprsky se protínají v jediném bodě.
3. Zrcadlo můžeme natočit buď tak, že prostřední paprsek se bude odrážet přímo zpět ke zdroji nebo ho můžeme natočit tak, aby se všechny paprsky protnuly mimo dráhu dopadajících paprsků.
4. Kulové zrcadlo nahradíme zrcadlem vypuklým. Paprsky se nyní rozbíhají.

Varianta B:

1. Na halogenovou lampu umístíme ze strany s kruhovým otvorem clonu bez štěrbin a na druhou stranu clonu se třemi štěrbinami.
2. Proti lampě umístíme flexibilní zrcadlo. Pomocí šroubku na jedné straně ho lehce prohneme a pozorujeme, kde se paprsky protínají.
3. Poté zrcátko prohneme ještě více a pozorujeme, jak se posouvá ohnisko.
4. Zrcátko nyní ohneme tak, aby mělo tvar vypuklého zrcadla. Nejprve ho prohneme jen mírně, pak více a pozorujeme, jak se mění rozbíhavost paprsků.



Obrázek 11: Vzorový výsledek k pokusu 3.1 Odraz světla na kulových zrcadlech – Varianta A



Obrázek 12: Vzorový výsledek k pokusu 3.1 Odraz světla na kulových zrcadlech – Varianta B

Zdroje

- Tento pokus je popsán se starší aparaturou ve sbírkách pokusů (Svoboda a kol., 1994), (Svoboda a kol., 2001).

- V manuálu (Holec) je tento pokus označen E3a,b, E4a,b.

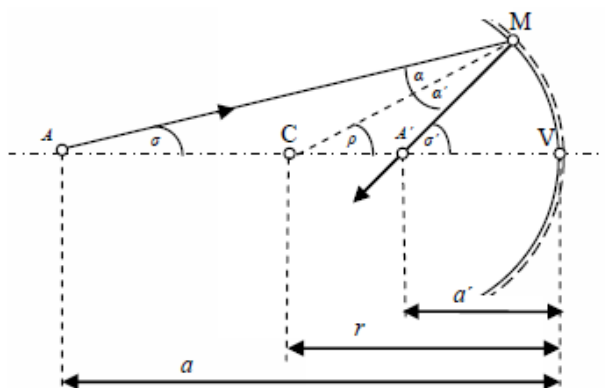
3.2 Zobrazení dutým zrcadlem

Cíl pokusu

Cílem pokusu je přímo pozorovat, jak se liší obrazy dutého zrcadla v závislosti na vzdálenosti předmětu od zrcadla. Přitom změříme příčné zvětšení zrcadla.

Teorie

Vztah mezi vzdálenostmi předmětu a , obrazu a' (obě od vrcholu zrcadla) a ohniskovou vzdáleností f je vyjádřen zobrazovací rovnicí kulového zrcadla. V para-



Obrázek 13: K teorii pokusu 3.2 Zobrazení dutým zrcadlem. Obrázek je převzat z diplomové práce (Vochozka, 2011)

xiálním prostoru jsou všechny úhly malé a platí: $\tan \sigma = \sigma = \frac{|MV|}{r}$, $\tan \sigma' = \sigma' = \frac{|MV|}{r'}$. Poloměr křivosti zrcadla r (CM) s optickou osou svírá úhel ρ : $\tan \rho = \rho = \frac{|MV|}{r} = \frac{|MV|}{2f}$. Z obrázku výše vidíme, že $\rho = \sigma + \alpha$, $\sigma' = \rho + \alpha'$. Jelikož je $\alpha = \alpha'$, dostáváme $\sigma + \sigma' = 2\rho$. Když dosadíme vztahy pro jednotlivé úhly, dostaneme zobrazovací rovnici kulového zrcadla

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

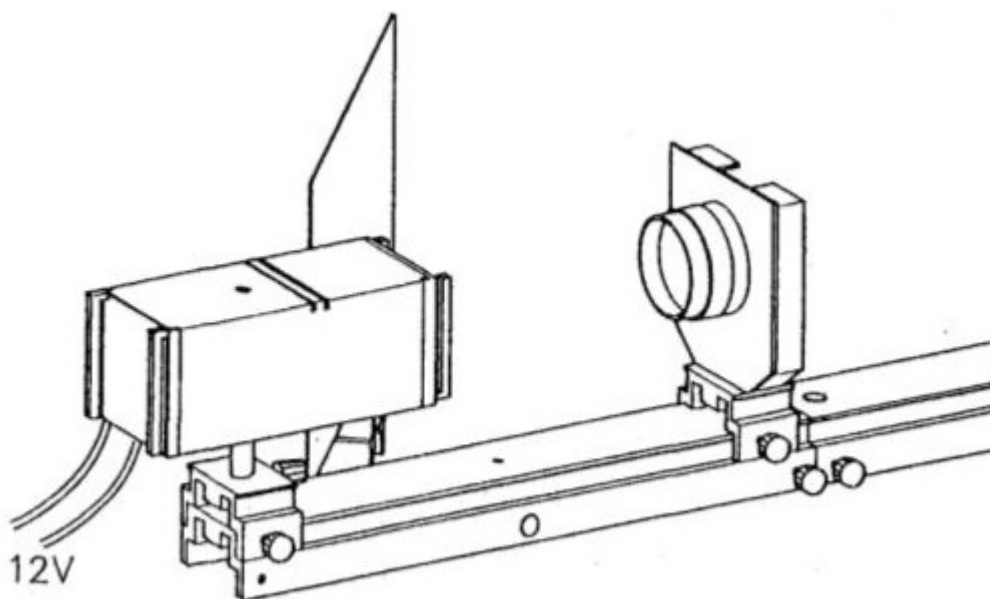
Pomůcky

ŽES 1, 2: Optická lavice, halogenová lampa, spojka, stativová tyč, běžec pro optickou lavici, stativový běžec s otvorem, běžec pro stupnici, matnici a ukazatele, držák čočky a clony, clona ve tvaru L, matnice, objímka s dutým zrcadlem

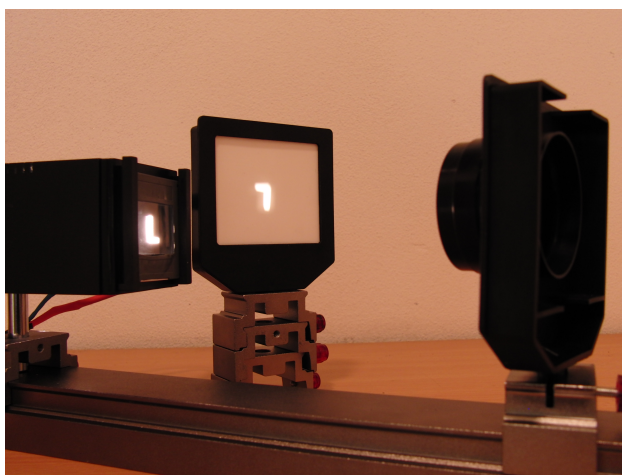
Postup

1. Pokus uspořádáme podle nákresu na Obrázku 14. Použijeme zdroj světla s kruhovou clonou. Na tuto stranu připojíme clonu ve tvaru L. Proti halogenové lampě umístíme duté zrcadlo přibližně ve vzdálenosti 15 cm (dutá strana směřuje ke zdroji světla).

2. Běžec s matnicí umístíme na jednu stranu od halogenové lampy. Musí být zhruba ve stejné výšce jako halogenová lampa. Zrcadlo musí být pootočeno mírně na stranu, aby obraz dopadal na matnici.
3. Pohybujeme s matnicí, dokud neuvidíme jasný obraz.
4. Pokud posuneme předmětem (tj. clonou L) či zrcadlem, musíme znovu hledat ostrý obraz. Velikost a vzdálenost obrazu tedy závisí na vzdálenosti předmětu.



Obrázek 14: K postupu pokusu 3.2 Zobrazení dutým zrcadlem. Obrázek je převzat z návodu k ŽES Optika ze stránek (Didaktik s.r.o., b)



Obrázek 15: Vzorový výsledek k pokusu 3.2 Zobrazení dutým zrcadlem

Zdroje

- Tento pokus je popsán se starší aparaturou ve sbírkách pokusů: (Svoboda a kol., 1994), (Svoboda a kol., 2001)

- Tento pokus je popsán v návodu k ŽES Optika ze stránek (Didaktik s.r.o., b)
- Teorie k pokusu je převzata z diplomové práce (Vochozka, 2011).

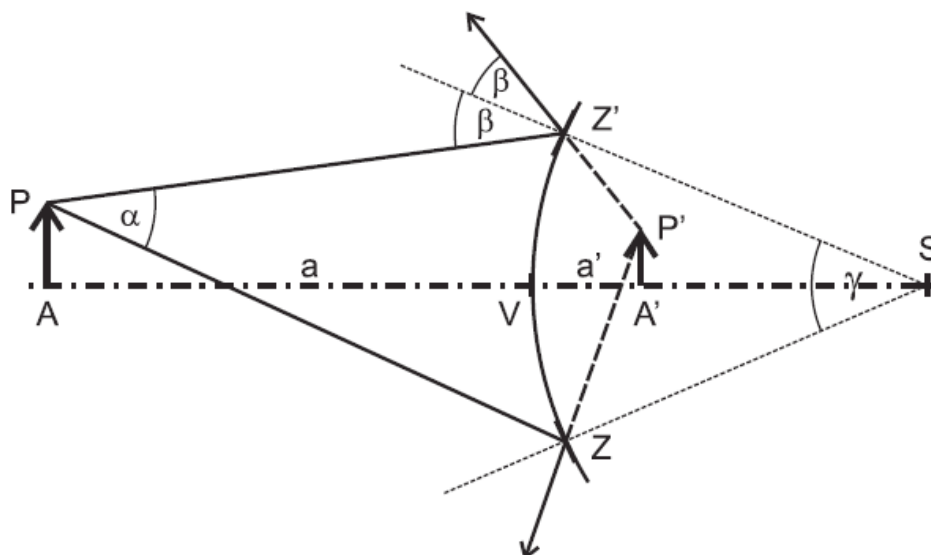
3.3 Zobrazení vypuklým zrcadlem

Cíl pokusu

Cílem pokusu je ukázat, že obraz nemůžeme od vypuklého zrcadla nikde zachytit. Můžeme jej pozorovat pouze na ploše zrcadla.

Teorie

Vztah mezi vzdálenostmi předmětu a , obrazu a' (obě od vrcholu zrcadla) a ohniskovou vzdáleností f je vyjádřen zobrazovací rovnicí kulového zrcadla. V para-



Obrázek 16: K teorii pokusu 3.3 Zobrazení vypuklým zrcadlem. Obrázek je převzat z učebního textu (Tolar, 2014)

xiálním prostoru jsou všechny úhly malé, platí tedy $\alpha \doteq \frac{|ZZ'|}{|a|}$, $\beta = \frac{|ZZ'|}{a'}$, $\gamma \doteq \frac{|ZZ'|}{R}$. Představme si nyní, že v bodě Z je paprsek odražen malým tečným rovinným zrcátkem. Když toto zrcátko otočíme kolem středu S do bodu Z' o úhel γ , odražený paprsek se odrazí o dvojnásobný úhel 2γ , takže $\beta = \alpha + 2\gamma$, neboli $\frac{1}{a'} = \frac{1}{|a|} + \frac{2}{R}$. V konvenci $a < 0$, $a' > 0$, $R > 0$, $f = -\frac{R}{2}$ dostáváme zrcadlovou rovnici tvaru

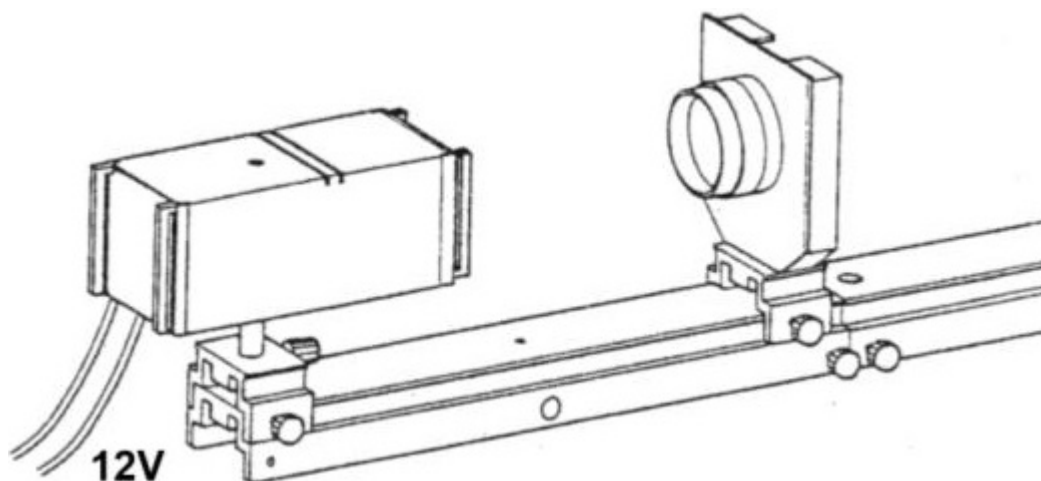
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} + \frac{1}{f} = 0 \quad (4)$$

Pomůcky

ŽES 1, 2: Optická lavice, halogenová lampa, spojka, stativová tyč, běžec pro optickou lavici, stativový běžec s otvorem, držák čočky a clony, clona ve tvaru L, objímka s vypuklým zrcadlem

Postup

1. Pokus uspořádáme podle nákresu na Obrázku 17. Na halogenovou lampu umístíme clonu L. Proti halogenové lampě umístíme vypuklé zrcadlo (vypuklá strana směřuje ke zdroji světla). V zrcadle pozorujeme zřetelný obraz písmene L.
2. Když předmět přiblížíme, obraz se zvětší. S rostoucí vzdáleností se obraz naopak zmenšuje. Zobrazená plocha je však větší.



Obrázek 17: K postupu pokusu 3.3 Zobrazení vypuklým zrcadlem. Obrázek je převzat z návodu k ŽES Optika ze stránek (Didaktik s.r.o., i)

Zdroje

- Tento pokus je popsán se starší aparaturou ve sbírce pokusů (Svoboda a kol., 2001)
- Tento pokus je popsán v návodu k ŽES Optika ze stránek (Didaktik s.r.o., i)
- Teorie je převzata z učebního textu (Tolar, 2014)

3.4 Otvorová vada zrcadla

Cíl pokusu

Cílem pokusu je pozorovat otvorovou vadu kulového zrcadla a zjistit, jak ji lze odstranit.

Teorie

Dopadá-li na kulové zrcadlo široký svazek paprsků rovnoběžně s optickou osou, pak se po odrazu neprotínají všechny v ohnisku. Krajní paprsky po odrazu protínají osu blíže vrcholu zrcadla, středové naopak dále. Obalová plocha odražených paprsků vybíhá na ose do hrotu. Nazýváme ji katakaustická plocha (na stole nebo

magnetické tabuli vidíme její rovinný řez jako křivku). Říkáme, že zrcadlo má otvorovou vadu. Tu mají taková kulová zrcadla, jejichž poloměr křivosti je rovný nebo menší než průměr dopadajícího svazku paprsků. Otvorovou vadu můžeme zmenšit odcloněním okrajových paprsků nebo ji můžeme zcela odstranit změnou kulové plochy zrcadla za paraboloidní.

Pomůcky

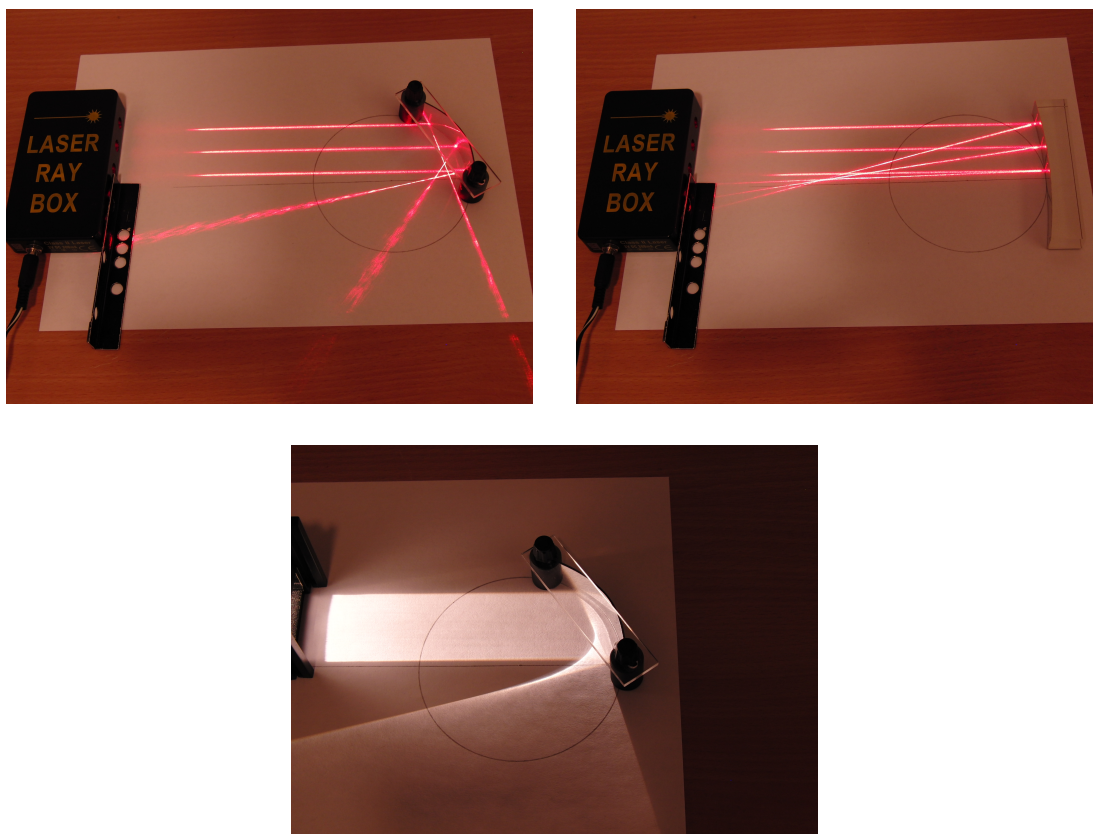
Zdroj světelných paprsků (např. Laser Ray Box s clonkou na tři paprsky nebo halogenovou lampu z ŽES s clonkou na tři nebo pět paprsků), papír, tužku, kružítko, pravítko, flexibilní zrcadlo z ŽES 1, parabolické zrcadlo z RODS

Postup

1. Na papír si narýsujeme kružnici o poloměru asi 5 cm. Středem kružnice vedeme přímkou, která bude představovat optickou osu zrcadla.
2. Podle narýsované kružnice vytváříme flexibilní zrcadlo, aby odrazivá plocha byla kulová.
3. Flexibilní pásek umístíme do horní poloviny narýsované kružnice. Flexibilní zrcadlo je totiž pro naše potřeby moc krátké, modelujeme tedy jen chod paprsků v horní polovině kulového zrcadla. Pro dolní polovinu by byla situace obdobná.
4. Na zrcadlo necháme dopadat svazek rovnoběžných světelných paprsků, který je rovnoběžný s narýsovanou optickou osou. Pozorujeme, že paprsky vzdálené od optické osy ji protínají blíže vrcholu zrcadla.
5. Vyměníme kulové zrcadlo za parabolické. Umístíme jej do obrázku tak, aby se jeho optická osa shodovala s naší narýsovanou osou. Všechny paprsky, i velmi vzdálené od osy, se nyní protínají v jediném ohnisku.
6. Vrátime zpět kulové zrcadlo a zdroj laserových paprsků nahradíme halogenovým zdrojem bez clony, takže na duté zrcadlo dopadá souvislý svazek paprsků rovnoběžných s jeho optickou osou. Odražené paprsky vytvářejí část katakaustické plochy.

Technické poznámky

- Flexibilní pásek umístujeme do horní poloviny obrázku, stejného efektu bychom však dosáhli, kdybychom jej umístili do dolní poloviny. Tento postup volíme, neboť chceme pozorovat chod světelných paprsků vzdálených od optické osy, ale přitom je flexibilní pásek z žákovské soupravy příliš krátký, takže by nepokryl celou plochu kulového zrcadla.
- Jakékoliv nepřesnosti v zobrazování paprsků jsou pravděpodobně způsobeny nepřesným vytvářením kulového tvaru zrcadla.



Obrázek 18: Vzorový výsledek k pokusu 3.4 Otvorová vada zrcadla. Nahoře pozorujeme rozdíl v odrazu světelných paprsků od kulového a paraboloidního zrcadla. Dole pomocí zdroje z žákovské soupravy pozorujeme část katakaustické křivky.

- Zdroj laserových paprsků z RODS využíváme především proto, že s ním můžeme pozorovat ohnisko parabolického zrcadla. Paprsky ze zdroje žákovské soupravy nejsou po odrazu v takové vzdálenosti skoro viditelné. S halogenovým zdrojem však můžeme pozorovat část katakaustické plochy. Celou bychom mohli pozorovat na ose pokud bychom použili větší kulové zrcadlo.

Zdroje

- Tento pokus je popsán se starší aparaturou ve sbírkách pokusů: (Svoboda a kol., 1994), (Pilát, 1965)
- Ve sbírkách (Pilát, 1965) a (Hlavička a Kohout, 1989) je popsán pokus na další vadu kulových zrcadel – astigmatismus.

4.1 Lom světla na rozhraní prostředí opticky hustších a řidších

Cíl pokusu

Cílem pokusu je pozorovat rozdílný lom světla na rozhraní dvou prostředí, vzduch-voda a vzduch-olej, kde olej je prostředí opticky hustší a voda opticky řidší.

Teorie

Světelné paprsky se na rozhraní dvou prostředí lámou podle Snelliova zákona lomu (viz. 4.2 Zákon lomu)

$$n_1 \sin \vartheta_1 = n_2 \sin \vartheta_2 \quad (5)$$

Připomeňme, že index lomu n představuje podíl $\frac{c}{v}$, kde c je rychlost světla ve vakuu a v rychlost světla v daném prostředí. Jelikož světlo se může šířit nejvýše rychlostí světla ve vakuu, musí být indexy lomu větší nebo rovny 1. Prostředí, která mají vyšší index lomu, nazýváme prostředí opticky hustší (v hustším prostředí se světlo šíří pomaleji) a ty s nižším indexem lomu nazýváme optiky řidší. Indexy lomu některých prostředí vůči vakuu jsou uvedeny v tabulce

Látka	Index lomu n
Vakuum	1
Vzduch	1,000 29
Led	1,31
Voda	1,333
Ethanol	1,362
Glycerol	1,469
Křemenné sklo	1,459
Kuchyňská sůl	1,544
Ricínový olej	1,478
Diamant	2,416

Tabulka 1: Indexy lomu různých látek vzhledem k vakuu. Odvozeno z hodnot v (Mikulčák a kol., 2004), kde jsou hodnoty indexu lomů relativní vzhledem ke vzduchu pro vlnové délky ve vakuu $\lambda_D = 589,30$ nm.

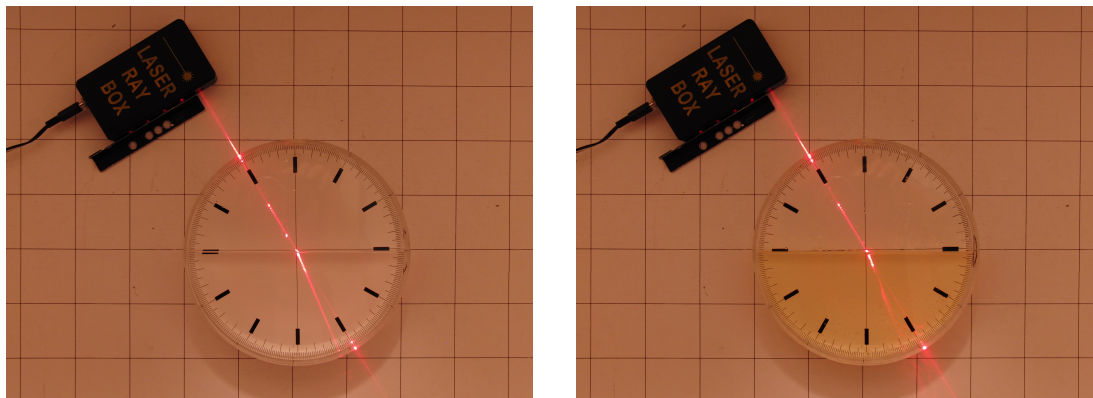
Pomůcky

Zdroj laserového paprsku (např. Laser Ray Box s clonkou na jeden paprsek), nádoba s úhломěrnou stupnicí, voda, olej.

Postup

1. Do nádoby nalijeme vodu přesně do poloviny a umístíme ji vodorovně na magnetickou tabuli.
2. Bodový zdroj světla umístíme do polohy, aby mířil na střed kruhové nádoby např. pod úhlem 60° .

3. Pozorujeme lom světla na rozhraní voda-vzduch a zjistíme úhel lomu.
4. Pokus opakujeme s olejem namísto vody.



Obrázek 19: Vzorový výsledek k pokusu 4.1 Lom světla na rozhraní prostředí opticky hustších a řidších – nalevo voda, napravo olej

Zdroje

Tento pokus je popsán se starší aparaturou ve sbírkách pokusů: (Svoboda a kol., 1994), (Svoboda a kol., 2001)

4.2 Zákon lomu

Cíl pokusu

Ověřit platnost zákona lomu a pozorovat, jak se lomený paprsek chová při různých úhlech dopadu, obzvláště pak při dosažení mezního úhlu a úhlů větších.

Teorie

Snellův zákon plyne z Fermatova principu nejkratšího času formulovaného pro nehomogenní prostředí

$$\frac{1}{c} \int_1^2 n dl = \int_1^2 \frac{dl}{v} = t_{12} \quad (6)$$

Zde c představuje rychlost světla ve vakuu, n je index lomu, v rychlost světla v daném prostředí. t_{12} je potom doba, za kterou světlo urazí dráhu mezi body 1 a 2. Zákon lomu popisuje, jak se lomí paprsek, který prochází z prostředí s indexem lomu n_1 do prostředí s indexem lomu n_2 . Hledáme tedy tvar paprsku, který spojuje bod 1 v prvním prostředí s bodem 2 v druhém prostředí. V homogenním prostředí je paprsek 142 na Obrázku 20 tvořen dvěma úsečkami. Určíme paprsek 132, podél něhož je optická dráha $n_1 l_1 + n_2 l_2$ extrémální. Když si vzdálenosti l_1 a l_2 vyjádříme pomocí x -ové souřadnice, máme tak funkci

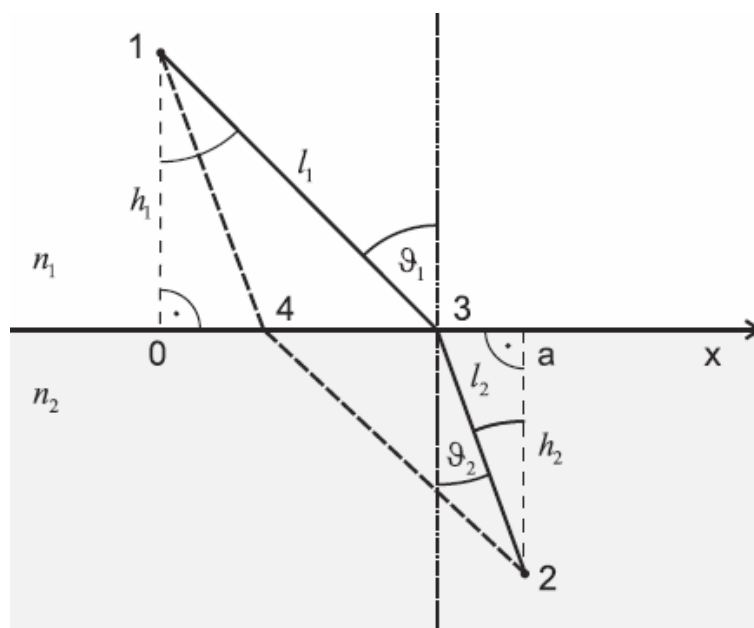
$$f(x) = n_1 l_1 + n_2 l_2 = n_1 \sqrt{x^2 + h_1^2} + n_2 \sqrt{(a-x)^2 + h_2^2} \quad (7)$$

Bod, pro který nabývá tato funkce minimální hodnoty se určí derivací

$$f'(x) = n_1 \frac{x}{\sqrt{x^2 + h_1^2}} - n_2 \frac{a - x}{\sqrt{(a - x)^2 + h_2^2}} = 0 \quad (8)$$

Uvědomíme-li si, že zlomky v této rovnici představují v řadě $\sin \vartheta_1$ a $\sin \vartheta_2$, dostáváme tak Snellův zákon lomu

$$n_1 \sin \vartheta_1 = n_2 \sin \vartheta_2 \quad (9)$$



Obrázek 20: K teorii pokusu 4.2 Zákon lomu. Obrázek je převzat z učebního textu (Tolar, 2014)

Pomůcky

- A) RODS: Laser Ray Box, úhloměrná stupnice, plastový půlválec.
- B) ŽES 1: Halogenová lampa, clona bez štěrbin, clona s jednou štěrbinou, úhloměrná stupnice, plastový půlválec.

Postup

Varianta A:

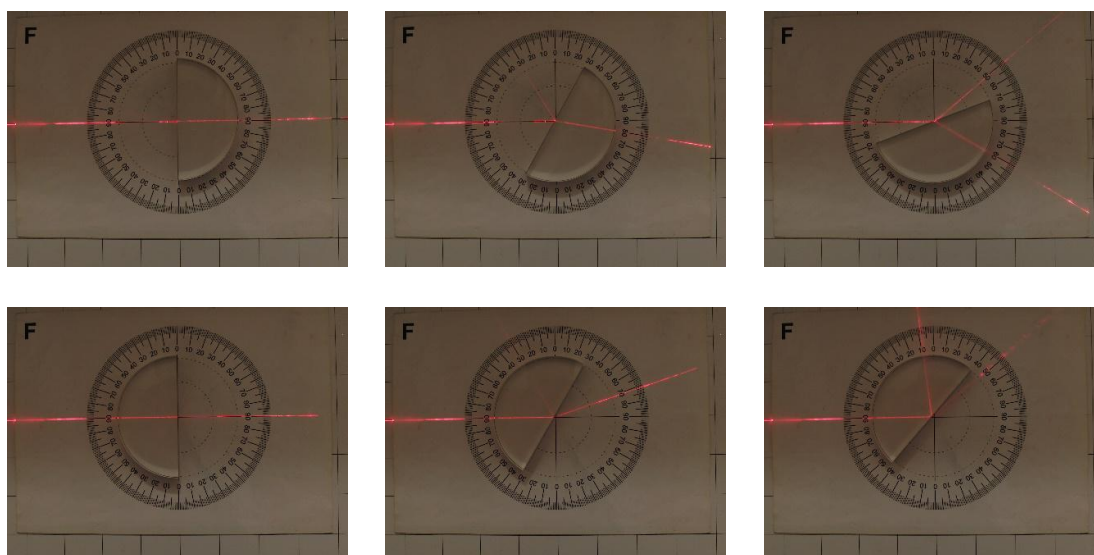
1. Na úhloměrnou stupnici připevněnou na magnetické tabuli umístíme plastový půlválec a to tak, aby jeho plochá hrana procházela středem. Kolmo na tuto hranu necháme dopadat světelný paprsek. Vidíme, že paprsek nemění svůj směr.
2. Dále plastový půlválec natočíme, např. o 10° . Dbáme však na to, aby světelný paprsek stále dopadal do středu ploché hrany, jelikož jenom tak zajistíme, aby na válcovou plochu dopadal v daném místě kolmo, a proto nebude

paprsek měnit směr, když opustí prostor plastového půlválce. Pozorujeme, že úhel lomu paprsku je menší než úhel, o který jsme otočili půlválec.

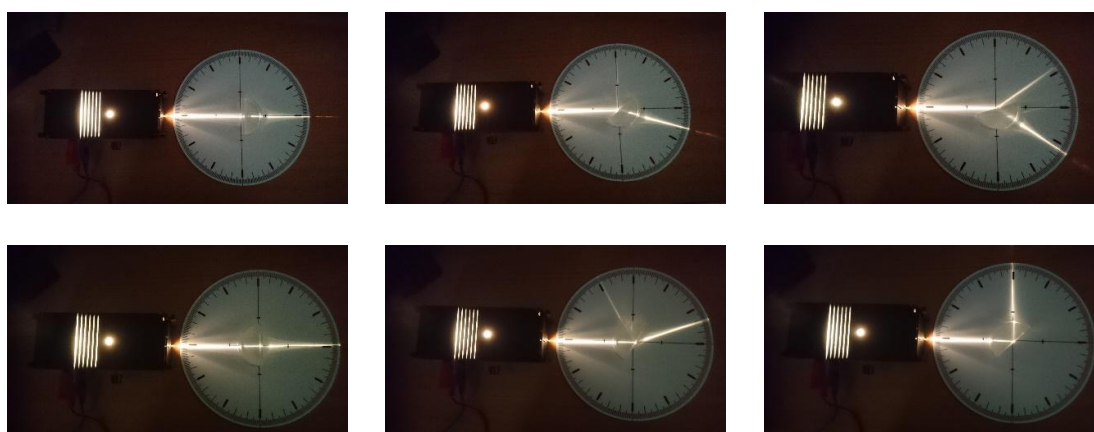
3. Postup opakujeme s jinými úhly, přičemž si zapisujeme úhel otočení půlválce a úhel změny chodu paprsku.
4. Zároveň si do tabulky zapisujeme podíl sinů těchto úhlů. Tento podíl je přibližně konstantní a je roven podílu indexů lomu prostředí .
5. Při dalším zvětšování úhlu dopadu dospějeme až k meznímu úhlu, tj. kdy bude úhel lomu roven 90° .
6. Při zvětšení úhlu dopadu nad tento mezní úhel už nepozorujeme lom světla, ale všechno světlo se odráží zpátky. Nastává totální odraz.
7. Potom plastový půlválec otočíme. Nyní tedy bude paprsek procházet nejprve válcovou plochou a až pak vyjde ze skla rovnou hranou v bodě, kde leží střed úhломěrné stupnice.
8. Opět postupně otáčíme plastový půlválec a pozorujeme, že se paprsek láme obráceně než v prvním případě.

Varianta B:

1. Připravíme si halogenovou lampu s kulovou stranou zakrytou clonou a druhou stranu s clonou s jednou šterbinou. Před ní položíme na stůl kotouč s úhломěrnou stupnicí a na ní plastový půlválec a to tak, aby jeho plochá hrana procházela středem. Kolmo na tuto hranu necháme dopadat světelný paprsek. Vidíme, že paprsek nemění svůj směr.
2. Dále plastový půlválec natočíme, např. o 10° . Dbáme však na to, aby světelný paprsek stále dopadal do středu ploché hrany, jelikož jenom tak zajistíme, aby na válcovou plochu dopadal v daném místě kolmo, a proto nebude paprsek měnit směr, když opustí prostor plastového půlválce. Pozorujeme, že úhel lomu paprsku je menší než úhel, o který jsme otočili půlválec.
3. Postup opakujeme s jinými úhly, přičemž si zapisujeme úhel otočení půlválce a úhel změny chodu paprsku.
4. Zároveň si do tabulky zapisujeme podíl sinů těchto úhlů. Tento podíl je přibližně konstantní a je roven podílu indexů lomu prostředí .
5. Při dalším zvětšování úhlu dopadu dospějeme až k meznímu úhlu, tj. kdy bude úhel lomu roven 90° .
6. Při zvětšení úhlu dopadu nad tento mezní úhel už nepozorujeme lom světla, ale všechno světlo se odráží zpátky. Nastává totální odraz.
7. Potom plastový půlválec otočíme. Nyní tedy bude paprsek procházet nejprve válcovou plochou a až pak vyjde ze skla rovnou hranou v bodě, kde leží střed úhломěrné stupnice.
8. Opět postupně otáčíme plastový půlválec a pozorujeme, že se paprsek láme obráceně než v prvním případě.



Obrázek 21: Vzorový výsledek k pokusu 4.2 Zákon lomu – Varianta A



Obrázek 22: Vzorový výsledek k pokusu 4.2 Zákon lomu – Varianta B

Zdroje

- Tento pokus je popsán se starší aparaturou ve sbírkách pokusů: (Svoboda a kol., 1994), (Svoboda a kol., 2001)
- V manuálu (Holec) je tento pokus označen E5a, E6a.
- Teorie je převzata z učebního textu (Tolar, 2014)

4.3 Lom monochromatického světla hranolem

Cíl pokusu

Pokus by měl žákům přiblížit pojem deviace a ukázat, v jakém případě je deviace minimální.

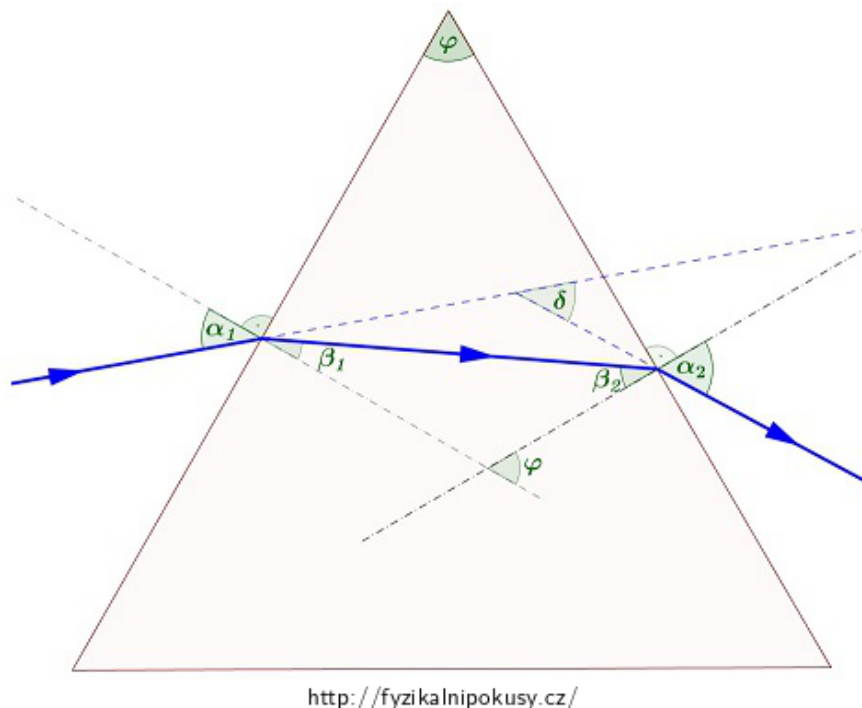
Teorie

Světlo se na rozhraní dvou různých prostředí jednak odráží, jednak láme a prochází z jednoho prostředí do druhého. Lom světla se řídí Snellovým zákonem

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (10)$$

kde α je úhel dopadu, β úhel lomu a n_1 , n_2 jsou indexy lomu příslušejících prostředí.

Optický hranol odchyluje paprsky dopadajícího světla od svého původního směru o úhel δ , který nazýváme deviace. Pokud bude vstupovat paprsek do hranolu ze vzduchu s indexem lomu $n_1 = 1$, bude směr paprsku po průchodu hranolem záviset jen na jeho lámavém úhlu φ a indexu lomu n skla, ze kterého je hranol vyroben. Průchod paprsku optickým hranolem je znázorněn na Obrázku 23.



<http://fyzikalnipokusy.cz/>

Obrázek 23: K teorii pokusu 4.3 Lom monochromatického světla hranolem. Obrázek je převzat ze stránek (Sbírka fyzikálních pokusů, a)

Deviaci můžeme vyjádřit vztahem

$$\delta = (\alpha_1 - \beta_1) + (\alpha_2 - \beta_2) = \alpha_1 + \alpha_2 - \varphi \quad (11)$$

Minimální deviace nastává při symetrickém průchodu světla hranolem, tedy když $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ a $\beta_1 = \beta_2 = \beta$. Počet odvození můžeme najít například v učebním textu (Baumruk). Pro úhel α při minimální deviaci paprsku vstupujícího ze vzduchu do hranolu platí vztah

$$\sin \alpha = n \sin \frac{\varphi}{2} \quad (12)$$

Pomůcky

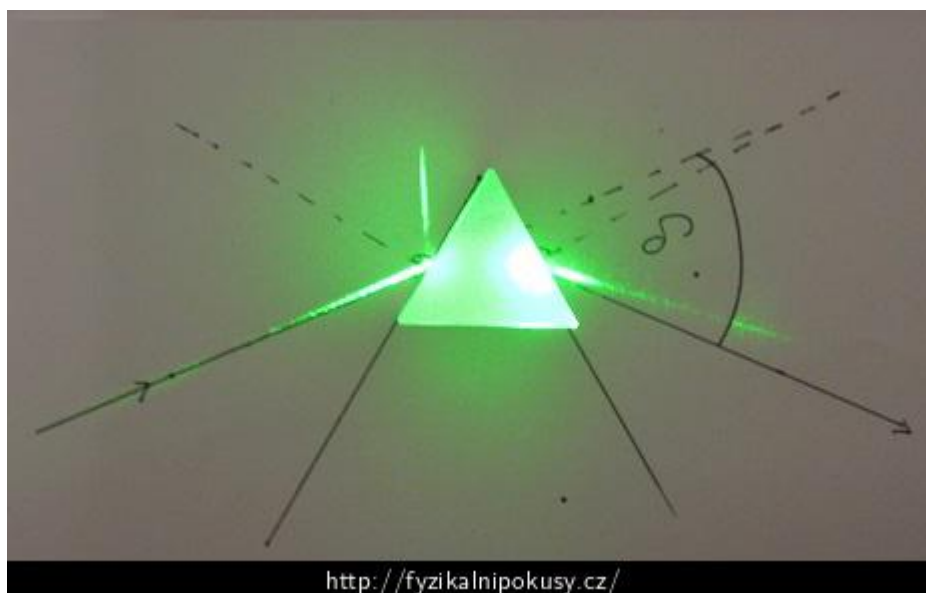
Laserové ukazovátko, optický hranol, papír, tužka, úhloměr.

Postup

1. Do středu papíru položíme hranol a tužkou ho obtáhneme.
2. Laserem posvítíme na hranol a tužkou si naznačíme směr vstupujícího i vystupujícího paprsku.
3. Vstupující i vystupující paprsek protáhneme a změříme úhel mezi nimi.
4. Tento postup můžeme opakovat pro různé úhly dopadu s krokem po 10° a zaznamenat si jednotlivé hodnoty deviace.
5. Z naměřených hodnot přibližně odhadneme, při jakém úhlu dopadu nastává minimální deviace.
6. Pokud známe index lomu materiálu, ze kterého je hranol vyroben, a jeho lámavý úhel, můžeme si pomocí výše uvedeného vztahu zkontrolovat přesnost odhadu.

Technické poznámky

- **Bezpečnostní upozornění:** Při práci s laserem je důležité dodržovat bezpečnostní pravidla. Při pokusu dochází i k odrazu paprsku od hranolu, pokus bychom tedy měli pozorovat shora, aby nedošlo k poškození očí.
- Pokus je náročný na přesnost, i malé odchylky při rýsování se mohou ve výsledku výrazně projevit. Tato nepřesnost je vidět i na fotografii níže.



Obrázek 24: K technickým poznámkám pokusu 4.3 Lom monochromatického světla hranolem. Obrázek je převzat ze stránek (Sbírka fyzikálních pokusů, a)

Metodické poznámky

- Při pokusu můžeme žákům vysvětlit, že světlo se na rozhraní částečně láme, částečně odráží, jak je vidět na fotografii výše.
- Dále můžeme ukázat pomocí hranolu zákon odrazu.
- Na pokus je možné navázat výkladem o využití optických hranolů k rozkladu bílého světla na barevné spektrum.

Zdroje

Převzato z elektronické sbírky (Sbírka fyzikálních pokusů, a)

4.4 Totální odraz ve vytékající vodě

Cíl pokusu

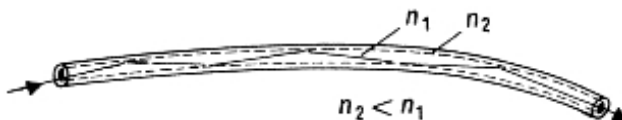
Tento pokus slouží k demonstraci totálního odrazu a znázornění principu optických vláken.

Teorie

Lom světla na rozhraní dvou optických prostředí se řídí Snellovým zákonem

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (13)$$

kde α je úhel dopadu, β úhel lomu a n_1 , n_2 jsou indexy lomu příslušejících prostředí. Aby mohl nastat totální odraz, musí světlo procházet z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího. Dochází k lomu od kolmice a s rostoucím úhlem dopadu se zvětšuje i úhel lomu. Při tzv. mezním úhlu dosáhne úhel lomu největší možné hodnoty, tedy 90° . Mezní úhel je tedy největším úhlem dopadu, při kterém ještě nastává lom světla. Při větších úhlech dopadu už k lomu světla nedochází a paprsek se jen odráží od rozhraní. Říkáme, že dochází k totálnímu odrazu. Právě na tomto jevu jsou založena optická vlákna. Průchod paprsku vláknem je viděn na Obrázku 25.



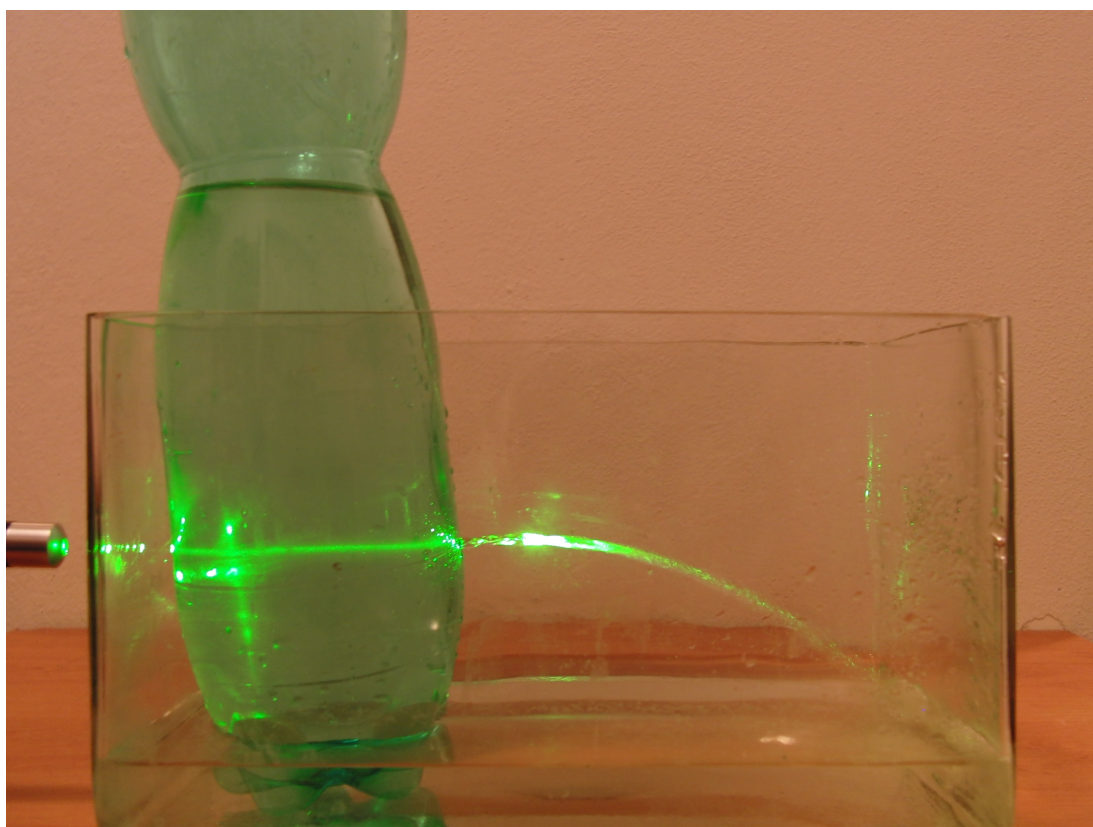
Obrázek 25: K teorii pokusu 4.4 Totální odraz ve vytékající vodě. Převzato z elektronické sbírky (Sbírka fyzikálních pokusů, f)

Pomůcky

Laserové ukazovátko, plastová láhev, nádoba na vytékající vodu, hřebík.

Postup

1. Pomocí hřebíku uděláme do láhve otvor zhruba 5 cm nad dnem.
2. Láhev postavíme na vyvýšené místo a naplníme vodou.
3. Nádobu umístíme do místa, kam bude dopadat vytékající voda z láhve.
4. Laserovým ukazovátkem posvítíme tak, aby paprsek procházel vodorovně skrz láhev a dopadal na výtokový otvor.
5. Pozorujeme chod paprsku ve vytékající vodě.



Obrázek 26: Vzorový výsledek k pokusu 4.4 Totální odraz ve vytékající vodě

Technické poznámky

- Pro snazší vytvoření otvoru je dobré hřebík napřed nahřát nad svíčkou.
- Otvor by měl být širší než laserový paprsek, aby nedocházelo k nechtěným odrazům. Navíc úzký paprsek bude procházet vodním proudem po lomené čáře, čímž se zviditelní demonstrováný jev.
- Při napouštění láhve vodou je dobré utěsnit vytvořený otvor a následně láhev uzavřít, aby voda zbytečně nevytékala, dokud nádoba nebude připravená na správném místě.

- Samotný efekt je možné zlepšit přidáním pár kapek mléka do vody, čímž dojde k jejímu zakalení a zviditelnění paprsku.
- **Bezpečnostní upozornění:** Dbejte zásad bezpečné práce se zdrojem laserového záření!

Metodické poznámky

- Při tomto pokusu nedochází jen k odrazu, ale světlo se láme i ven z vytékajícího proudu vody, jinak bychom paprsek neviděli.

Zdroje

Převzato z elektronické sbírky (Sbírka fyzikálních pokusů, f), kde je ke shlédnutí video ilustrující průběh pokusu.

4.5 Lom světla planparalelní deskou

Cíl pokusu

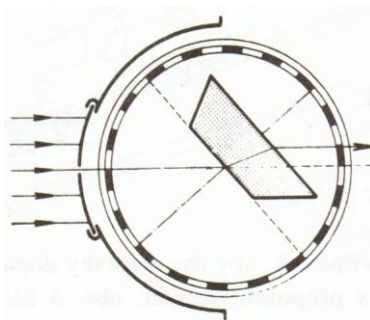
Pozorovat lom světla planparalelní deskou.

Teorie

Planparalelní deska je široká deska jejíž protilehlé strany tvoří rovnoběžné roviny. Při dopadu světla na tuto desku se světlo láme podle Snelliova zákona lomu

$$n_1 \sin \vartheta_1 = n_2 \sin \vartheta_2 \quad (14)$$

Ten platí i při výstupu světla z desky. Při vcházení světla do desky a při jeho vycházení zpět do vzduchu je optické rozhraní tvořeno stejnými prostředími, pouze v opačném pořadí. Úhel dopadu na prvním rozhraní je proto stejný jako úhel lomu na druhém rozhraní. Podobně úhel lomu na prvním rozhraní je stejný jako úhel dopadu na druhém rozhraní. To znamená, že paprsek dopadající na planparalelní desku je rovnoběžný s paprskem, který z ní vystupuje. Míra posunutí paprsku od původního směru záleží tedy nejen na indexu lomu a úhlu dopadu, ale také na šířce planparalelní desky.



Obrázek 27: K teorii pokusu 4.5 Lom světla planparalelní deskou. Obrázek převzat z (Hlavička a Kohout, 1989).

Pomůcky

- A) RODS: Laser Ray Box, planparalelní deska.
- B) RODS Plus: Laser Ray Box, dvě planparalelní desky.

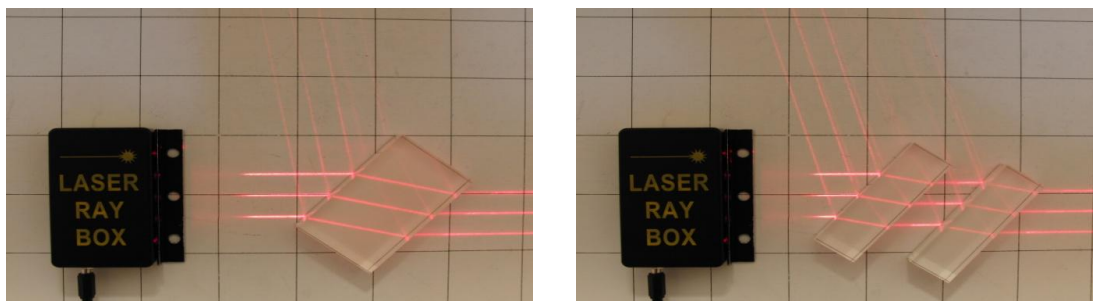
Postup

Varianta A:

1. Na magnetickou tabuli umístíme zdroj laserových paprsků bez clonění (tj. s pěti rovnoběžnými paprsky). Před něj dáme planparalelní desku natočenou tak, aby na ni paprsky nedopadaly kolmo.
2. Pozorujeme, že paprsky po průchodu deskou jsou rovnoběžné s těmi před průchodem, ale jsou posunuté.

Varianta B:

1. Na magnetickou tabuli umístíme zdroj laserových paprsků bez clonění (tj. s pěti rovnoběžnými paprsky). Před něj dáme dvě planparalelní desky natočené tak, aby na první nedopadaly paprsky kolmo a druhá bude rovnoběžná s tou první. Mezi deskami necháme mezeru (tato mezera představuje vlastně vzduchovou planparalelní desku).
2. Pozorujeme, že paprsky v deskách jsou rovnoběžné, ale posunuté.



Obrázek 28: Vzorový výsledek k pokusu 4.5 Lom světla planparalelní deskou - nalevo Varianta A, napravo B

Zdroje

- Tento pokus je popsán se starší aparaturou ve sbírkách pokusů: (Svoboda a kol., 1994), (Svoboda a kol., 2001)
- V manuálu (Holec) je tento pokus označen E7, E8.

5.1 Čočka jako soustava hranolů

Cíl pokusu

Cílem pokusu je ukázat si, jak se na soustavě hranolů láme světlo a tím si znázornit lámání světlo u čoček.

Teorie

Světlo se na rozhraní dvou prostředí láme podle Snellova zákona lomu

$$n_1 \sin \vartheta_1 = n_2 \sin \vartheta_2 \quad (15)$$

Tento zákon se nejčastěji znázorňuje tak, že na rovinu rozhraní dvou prostředí o indexech lomu n_1 a n_2 dopadá paprsek pod úhlem ϑ_1 a láme se pod úhlem ϑ_2 . Pokud paprsek dopadá na zakřivenou plochu, aplikujeme zákon lomu tak, že v místě průchodu paprsku plochou zkonstruujeme tečnou rovinu (v případě dvojrozměrného zobrazení ji znázorníme tečnou) k této ploše. U této myšlené roviny znovu rozeznáváme úhly dopadu a lomu a jsme tedy schopni určit další směr šíření paprsku.

Pomůcky

Zdroj laserového paprsku (např. Laser Ray Box nebo halogenová lampa z žákovské soupravy s clonkou na tři a více paprsků), dva hranoly, hranolek (v šuplících mají čísla 62, 63).

Postup

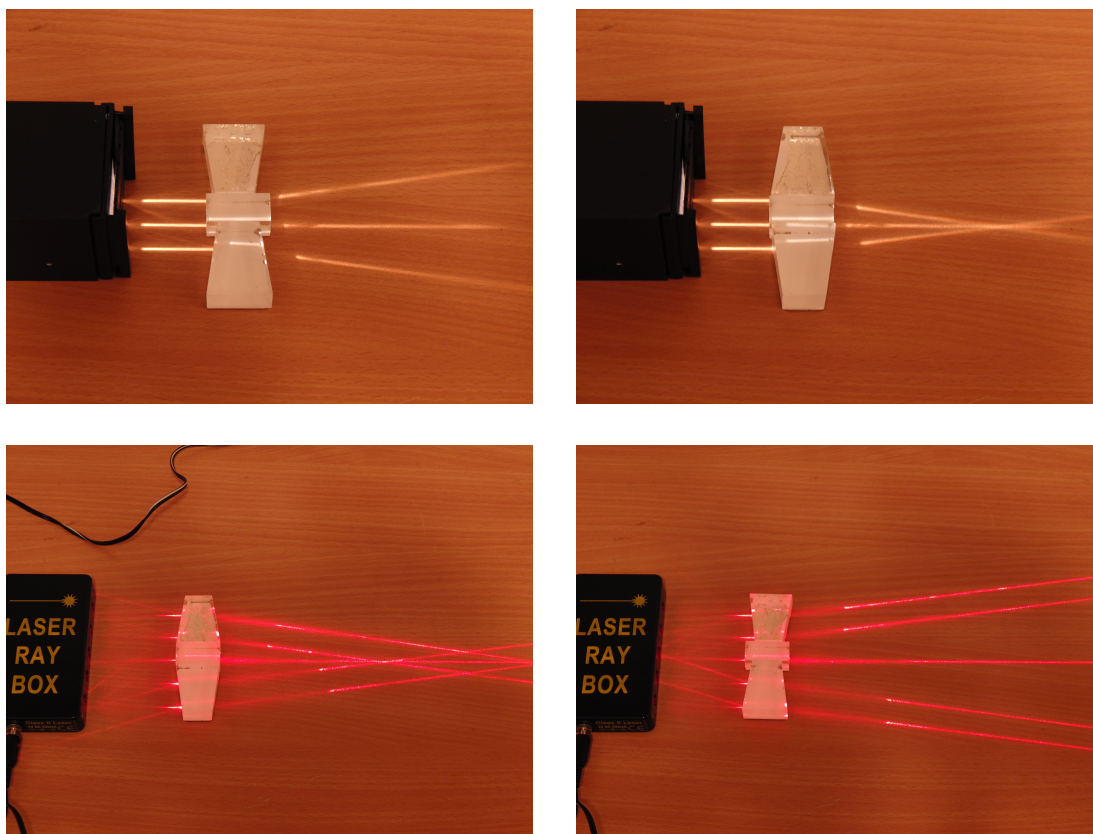
1. Na stole vytvoříme ze dvou hranolů a jednoho hranolku model tlusté spojky.
2. Kolmo na tento model posvítíme nejlépe třemi laserovými paprsky tak, aby každý procházel jednou jeho částí. Pozorujeme, že se paprsky sbíhají v jediném bodě, ohnisku.
3. Poté hranoly po stranách otočíme tak, že vytvoříme model rozptylky. Pozorujeme změnu chodu paprsku, které se po průchodu tímto modelem rozbíhají.

Technické poznámky

- Při použití Laser Ray Box se paprsky dál od středu čočky nesbíhají v jediném ohnisku, viz vzorový výsledek výše. To demonstrovuje otvorovou vadu čočky, viz pokus 5.6 Otvorová vada čočky.

Zdroje

Tento pokus je popsán se starší aparaturou ve sbírkách pokusů: (Svoboda a kol., 1994), (Svoboda a kol., 2001)



Obrázek 29: Vzorový výsledek k pokusu 5.1 Čočka jako soustava hranolů - nahoře varianta se žakovskou soupravou, dole varianta s Ray Optics Demonstration Set

5.2 Zobrazování předmětu spojkou

Cíl pokusu

Tento pokus ukáže, jak se může zobrazovat předmět v určitých vzdálenostech od spojky (vzhledem k její ohniskové vzdálenosti).

Teorie

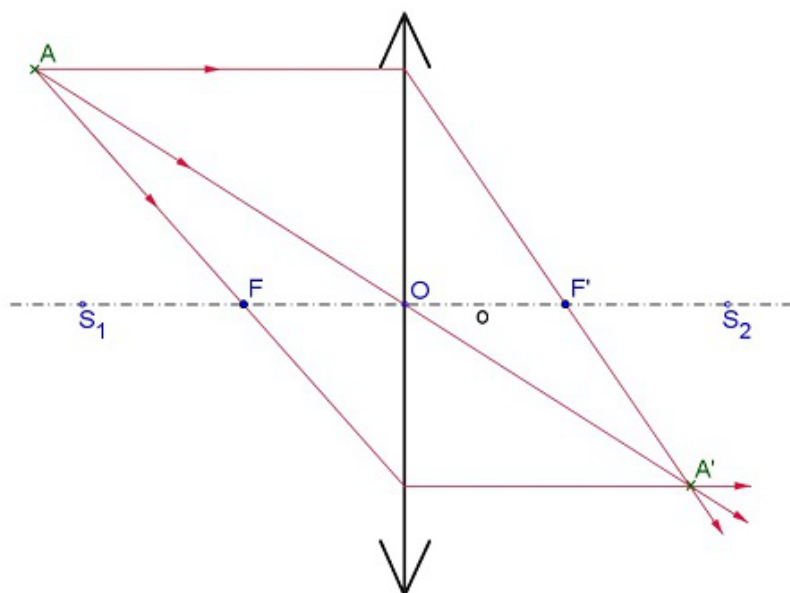
Čočky, které jsou základními zobrazovacími prvky ve většině optických přístrojů, využívají k zobrazení předmětu lom světla. Převážně se zhotovují ze skla s větším indexem lomu, než má okolní prostředí, obvykle vzduch. Spojná čočka, zkráceně spojka, láme příchozí rovnoběžné paprsky tak, že se po průchodu spojí v jednom bodě (toto platí v případě, že zanedbáme otvorovou vadu čočky; více o vadách čoček se můžete dočíst na stránkách (Encyklopedie fyziky, b)), zatímco po průchodu rozptylnou čočkou, zkráceně rozptylkou, se paprsky rozbíhají. Abychom zjistili, jak se zobrazí pomocí čočky nějaký předmět, budeme uvažovat jako idealizaci tenkou čočku a tři význačné paprsky (viz Obrázek 30):

1. Paprsek, který prochází optickým středem tenké spojné čočky O , nemění svůj směr.
2. Paprsek, který dopadá na spojku rovnoběžně s její optickou osou o , se láme do obrazového ohniska F' .

Vzdálenost		Vlastnosti obrazu
předmětu	obrazu	
$a > 2f$	$f < a' < f$	skutečný, převrácený, zmenšený
$a = 2f$	$a' = 2f$	skutečný, převrácený, stejně veliký
$2f < a < f$	$a' > 2f$	skutečný, převrácený, zvětšený
$a = f$	$a' \rightarrow \infty$	obraz vzniká v nekonečnu
$a < f$	$0 < a' < \infty$	zdánlivý, vzpřímený, zvětšený

Tabulka 2: Závislost vlastností obrazu vzniklého spojkou na vzdálenosti předmětu a ohniskové vzdálenosti spojky. Převzato z elektronické sbírky (Sbírka fyzikálních pokusů, d)

3. Paprsek, který projde nejdříve předmětovým ohniskem F , se po průchodu spojkou láme a dále pokračuje rovnoběžně s optickou osou spojky.



<http://fyzikalnipokusy.cz/>

Obrázek 30: K teorii pokusu 5.2 Zobrazování předmětu spojkou. Převzato z elektronické sbírky (Sbírka fyzikálních pokusů, d)

Vzdálenost ohniska od optického středu se nazývá ohnisková vzdálenost a značí se f . Vzdálenost předmětu od čočky značíme a , obrazu pak a' . Mezi veličinami a , a' a f platí vztah nazývaný zobrazovací rovnice čočky

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} \quad (16)$$

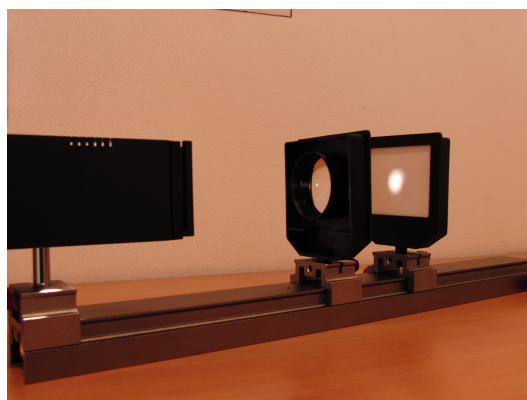
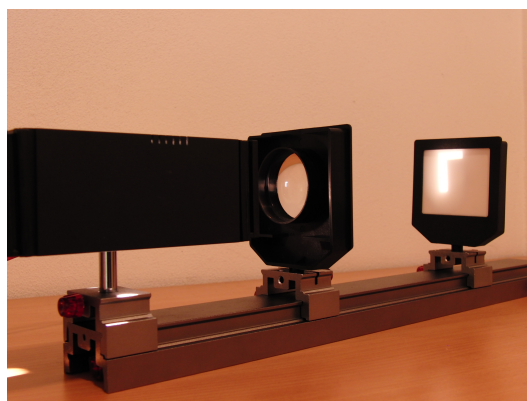
Při zobrazení předmětu spojkou může nastat několik případů, které jsou rozebrány v Tabulce 2. Všechny tyto situace je možné si načrtnout pomocí význačných paprsků.

Pomůcky

Optická lavice, spojka, čtveřka, nůžky, zdroj světla, stínítko.

Postup

1. Pomocí čtveřky si vyrobíme clonku, ve které vystříhneme jedničku.
2. Na optickou lavici umístíme zdroj světla, spojku a stínítko.
3. Vyrobenou clonku umístíme mezi zdroj světla a spojku tak, aby byla od spojky dál, než je dvojnásobek její ohniskové vzdálenosti.
4. Stínítkem posouváme, dokud na něm nezachytíme ostrý obraz.
5. Totéž opakujeme s clonkou ve vzdálenosti rovné dvojnásobku ohniskové vzdálenosti spojky a ve vzdálenosti větší jak ohnisková vzdálenost, ale menší než její dvojnásobek.
6. Uspořádání pokusu můžeme využít k výpočtu ohniskové vzdálenosti čočky. Pro různé předmětové vzdálenosti si budeme zaznamenávat vzdálenosti ostřejšího obrazu a pomocí rovnice (16) vypočítáme ohniskovou vzdálenost čočky.



Obrázek 31: Vzorový výsledek k pokusu 5.2 Zobrazování předmětu spojkou

Technické poznámky

- Jako clonku můžeme do čtvrtky vystříhnout jakýkoliv nesymetrický obrazec, abychom viděli, kdy je obraz převrácený.
- Místo stínítka můžeme využít např. stěnu a ostrý obraz hledat pomocí pohybu spojky a clonky zároveň.
- Pokus je lepší provádět v zatemněné místnosti, aby byl obraz co nejlépe vidět.

Metodické poznámky

- Po každé části, kdy je clonka vůči spojce v jiné pozici, bychom měli s žáky vyjmenovat vlastnosti obrazu.
- Můžeme ukázat, že pokud umístíme clonku ke spojce blíže, než je její ohnisková vzdálenost, nezachytíme na stínítku ostrý obraz.
- Pokud bychom vyměnili spojku za rozptylku, opět nezachytíme na stínítku ostrý obraz, a to při žádné vzdálenosti clonky od rozptylky. Můžeme ho však pozorovat okem při pohledu do rozptylky proti směru dopadajících paprsků.
- Ať bude clonka v jakékoliv pozici mezi zdrojem světla a rozptylkou, obraz bude vždy zdánlivý, přímý a zmenšený.

Zdroje

Převzato z elektronické sbírky (Sbírka fyzikálních pokusů, d), kde je ke shlédnutí video ilustrující průběh pokusu

5.3 Určení ohniskové vzdálenosti rozptylky

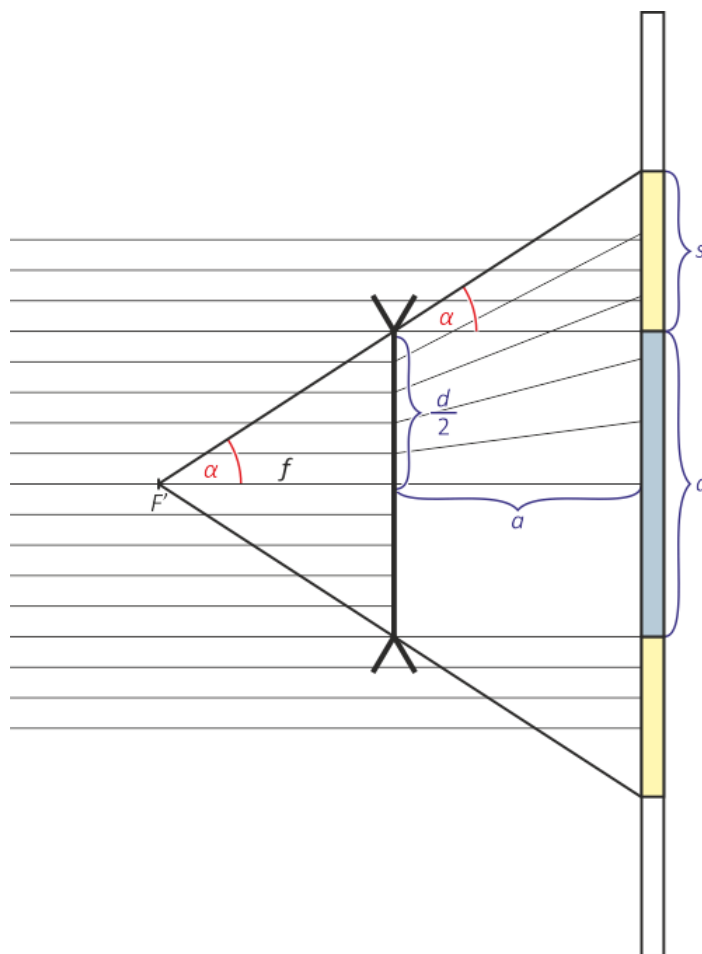
Cíl pokusu

Cílem pokusu je určit ohniskovou vzdálenost rozptylky.

Teorie

Obraz rozptylky je zdánlivý, přímý, zmenšený a nemůžeme jej zachytit na stínítku. Jak název napovídá, rozptylka světelné paprsky odchyluje z původního směru tak, aby se neprotnuly. Nemůžeme proto pozorovat skutečný obraz, a proto nemůžeme určit ohniskovou vzdálenost přímo. Avšak přestože nemůžeme pozorovat obraz, můžeme pozorovat alespoň polostín. Necháme-li dopadat na rozptylku svazek rovnoběžných paprsků, budou se tyto odchylovat od optické osy. Za rozptylkou vznikne tmavší oblast, neboť do této oblasti dopadá méně světelných paprsků (viz Obrázek 32).

Naopak kolem tmavší plochy můžeme na stínítku pozorovat světlejší oblast, neboť ji osvětlují jak paprsky dopadající ze zdroje světla rovnoběžně s optickou osou, tak paprsky rozptylkou odchýlené do této oblasti. Jelikož stín má stejný průměr, jako je průměr rozptylky d , víme z podobnosti trojúhelníků, že délky stran f



Obrázek 32: K teorii pokusu 5.3 Určení ohniskové vzdálenosti rozptylky

a $\frac{d}{2}$ musí být ve stejném poměru jako délky stran s (poloměr mezikruží světlé oblasti) a a (vzdálenost rozptylky od stínítka). Z toho lze již snadno odvodit vzorec, pro výpočet ohniskové vzdálenosti rozptylky

$$f = \frac{a \cdot d}{2s} \quad (17)$$

Pomůcky

Halogenová lampa, clona bez štěrbiny, optická lavice, stativová tyč, matnice, spojka, běžec pro optickou lavici, stativový běžec s otvorem, objímka s čočkou $f = -100$ mm, papír

Postup

1. Na jednu stranu optické lavice umístíme halogenovou lampu na stativovou tyč. Na druhou stranu dáme do stojanu objímku s rozptylkou. Za optickou lavici opřeme o stěnu prázdný papír.
2. Zapneme zdroj světla a snažíme se jej a rozptylku umístit do takové polohy, abychom na papíru rozpoznali okraj světlého mezikruží a zároveň v tmavé oblasti tmavší kruh.

3. Poznačíme si tři libovolné body na světlé kružnici. Pak si označíme jeden bod na obvodu tmavého kruhu. Zdroj světla vypneme a papír si dáme na stůl.
4. Pomocí tří bodů na světlé kružnici nalezneme střed kružnice (spojíme dvě dvojice bodů, uděláme osu těchto úseček a kde se protnou, tam bude hledaný střed).
5. Teď už si můžeme změřit poloměr (případně průměr) světlého mezikruží a tmavého kruhu. Na optické lavici si ještě změříme vzdálenost stínítka od rozptylky. Naměřené hodnoty dosadíme do vzorce výše a vypočteme ohniskovou vzdálenost rozptylky.



Obrázek 33: Vzorový výsledek k pokusu 5.3 Určení ohniskové vzdálenosti rozptylky

Zdroje

Tento pokus je převzat z přednášky (Dvořák, 2017)

5.4 Vzduchové čočky

Cíl pokusu

Cílem pokusu je ukázat průchod paprsků vzduchovou čočkou.

Teorie

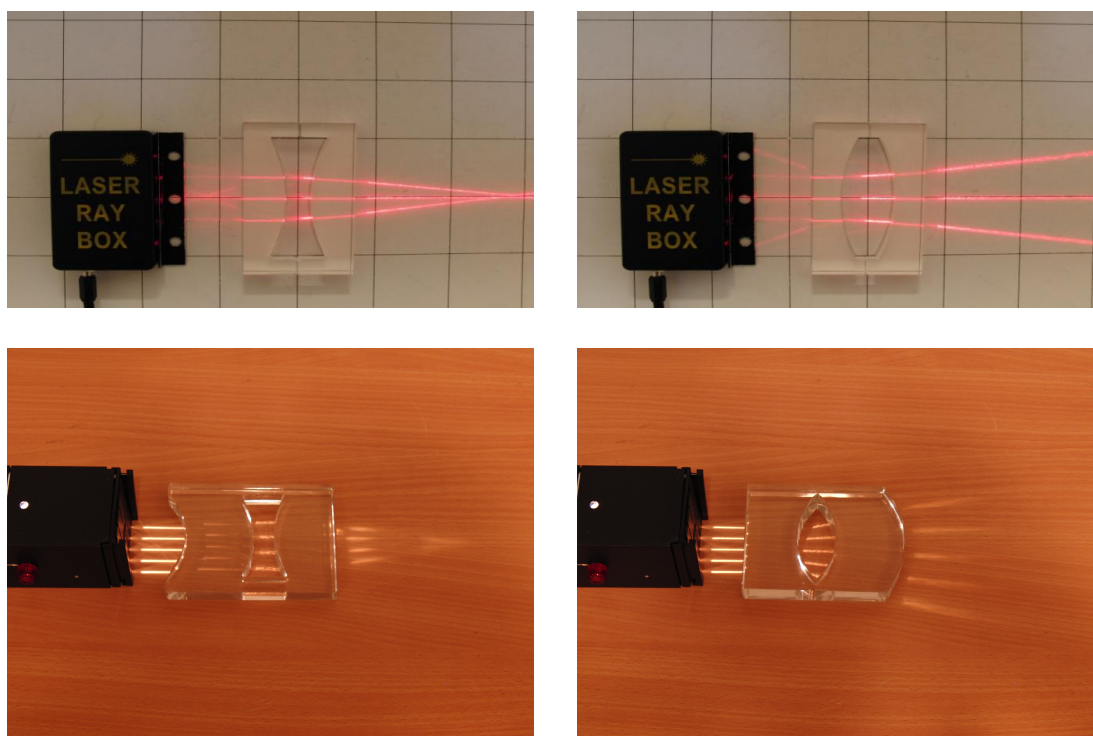
Vzduchová čočka není čočkou v pravém slova smyslu. Jedná se o skleněnou desku, ve které je prázdný prostor ve tvaru spojky nebo rozptylky. Světelné paprsky se tak lámou nejprve na rozhraní sklo-vzduch, kde sklo má tvar čočky opačné než té, která ve skleněné desce „chybí“. Z toho důvodu se paprsky lámou přesně opačně než u běžné čočky: u vzduchové čočky s dutinou tvaru spojky se paprsky rozptylují, u čočky, v níž je prázdný prostor tvaru rozptylky, se naopak zase sbíhají. Aby nedocházelo k dalšímu lomu v momentě, kdy světelné paprsky opouští skleněnou desku zpět do vzduchu, bývá tato zadní strana vzduchové čočky vyrobena tak, aby na ní paprsky dopadaly kolmo (viz Obrázek 34)

Pomůcky

Zdroj laserového paprsku (např. Laser Ray Box nebo halogenová lampa z žákovské soupravy s clonkou na tři a více paprsků), vzduchové čočky s dutinou ve tvaru spojky a rozptylky

Postup

1. Zdrojem posvítíme několika laserovými paprsky na vzduchovou čočku s dutinou tvaru rozptylky. Pozorujeme, že paprsky se chovají jako po průchodu spojkou.
2. Zopakujeme totéž pro vzduchovou čočku s dutinou tvaru spojky. Paprsky se tentokrát budou chovat jako po průchodu rozptylkou.



Obrázek 34: Vzorový výsledek k pokusu 5.4 Vzduchové čočky – nahoře varianta s Ray Optics Demonstration Set, dole se žákovskou soupravou

Zdroje

- Tento pokus je popsán se starší aparaturou ve sbírce pokusů (Svoboda a kol., 2001)
- V manuálu (Holec) je tento pokus označen E19a,b, E20a,b.

5.5 Vodní lupa

Cíl pokusu

V tomto experimentu budeme pozorovat předměty za lupou tvořenou kulatou sklenicí plnou vody.

Pomůcky

Válcová sklenice, papír, fixy nebo pastelky.

Postup

Na rovnou podložku ve výši očí dětí položíme válcovou sklenici. Za sklenici umístíme obrázek, který chceme zvětšit, a nastavíme ho do předem vyzkoušené vzdálenosti tak, aby nebyl extrémně deformovaný a zároveň, aby bylo patrné jeho pozdější zvětšení.

Do sklenice poté nalijeme vodu a sledujeme, jak se obrázek za vrstvou vody zvětší.

Vysvětlení

Sklenice s vodou funguje jako válcová (ta se mimo jiné používá ke korekci některých očních vad). Díky lomu paprsků světla na rozhraní skla a vody vidíme obraz zvětšený, stranově převrácený a na stranách deformovaný (viz Obrázek 35).



Obrázek 35: K vysvětlení pokusu 5.5 Vodní lupa. Převzato z elektronické sbírky (Sbírka fyzikálních pokusů, b)

Vysvětlení pro děti

Sklenice s vodou tvoří „zvětšovací sklo“. Můžeme dětem ukázat a vysvětlit pojem „čočka“. Pokud nemáme přímo samostatnou skleněnou čočku, můžeme ukázat čočku v brýlích na blízko, lupě nebo připomenout, že čočky jsou také součástí dalekohledu.

A protože se sklenice chová jako čočka, obrázek se zvětšil. V čem se liší sklenice od čočky, která je v lupě, je tvar, ale to nám tady nevádí.

Technické poznámky

- Pro větší efekt při předvádění dětem na místě připravíme jen sklenici a obrázek. Vodu nalijeme do sklenice až ve chvíli, kdy se budou děti dívat. Uvidí tak zvětšení „v přímém přenosu“.
- Pokud obrázek bude veliký nebo bude moc daleko od sklenice, deformace nám zničí celý obraz (viz Obrázek 36).



Obrázek 36: Důsledek nevhodného umístění obrázku za vodní čočkou. Převzato z elektronické sbírky (Sbírka fyzikálních pokusů, b)

Metodické poznámky

- Je potřeba dbát na to, aby se děti srovnaly nebo vystřídaly přímo před sklenicí. Pokud stojí jen trochu ve špatném úhlu, neuvidí nic, jen zdeformovaný obraz předmětů za sklenicí. Dobré je se dětí klidně i vícekrát ptát, co viděly. Často se děti soustředí na jiný jev nebo se bojí říci, že nic nevidí.
- Se zařazením tohoto pokusu do pohádky o Dlouhém, Širokém a Bystrozrakém se můžeme setkat v tomto materiálu.

Zdroje

Převzato z elektronické sbírky (Sbírka fyzikálních pokusů, b)

5.6 Otvorová vada čočky

Cíl pokusu

Cílem pokusu je poznat a pozorovat otvorovou a barevnou vadu čočky.

Teorie

Čočky ve skutečnosti nejsou tak ideální, jak obvykle uvažujeme. Nedokonalostmi jsou např. tloušťka čočky, index lomu závislý na frekvenci světla a jiné. Zobrazovací vady čoček se projevují např. tak, že se paprsky po průchodu čočkou neprotínají v jediném bodě (další vady a odchylky jsou k nalezení v (Brož a Wolf, 2017) nebo (Encyklopedie fyziky, b)). Otvorová vada znamená, že paprsek vzdálenější od optické osy ji protíná blíže k čočce než paprsek bližší optické ose. Lomené paprsky obalují tzv. diakaustickou plochu. Tato vada se dá omezit zúžením svazku paprsků (např. kruhovou clonou) nebo kombinací spojky s rozptylkou vhodných ohniskových vzdáleností a z různých typů skel.

Pomůcky

- A) RODS: Laser Ray Box, spojka z RODS nebo ze soupravy Phywe.
- B) ŽES 1, 2, 3: Halogenová lampa, clona bez štěrbiny, optická lavice, stativová tyč, matnice, spojka, dva běžce pro optickou lavici, stativový běžec s otvorem, běžec pro stupnici, matnici a ukazovatele, tři držáky čočky a clony, držák diapozitivu, držák s čočkou $f = 50$ mm, objímka s čočkou $f = 100$ mm, diapozitiv s čtvercovou sítí, clona o průměru $d = 20$ mm

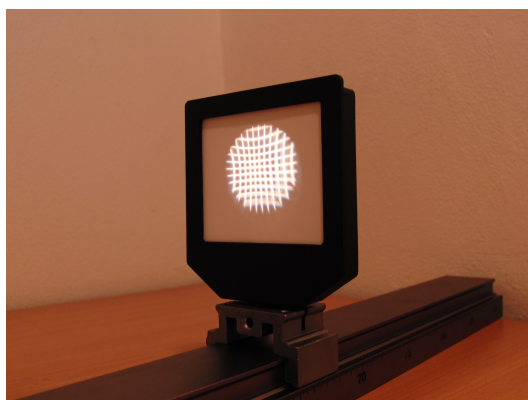
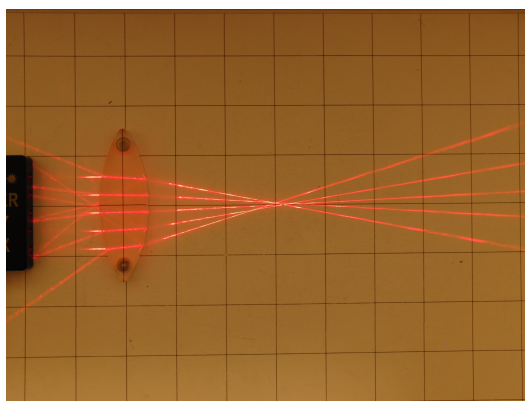
Postup

Varianta A:

1. Na magnetickou tabuli umístíme zdroj laserových paprsků. Před něj umístíme spojku.
2. Po průchodu svazku pěti rovnoběžných paprsků spojkou pozorujeme, že se neprotínají v jediném ohnisku.

Varianta B:

1. Pokus uspořádáme podle nákresu. Použijeme halogenovou lampu s kruhovou clonou. Čočku $f = 50$ mm postavíme před světlo a nasadíme na ni diapozitiv s čtvercovou sítí. Čočku $f = 100$ mm umístíme asi 15 cm před předmět (diapozitiv). Matnici posuneme asi o 20 cm dále. Obraz mřížky není zcela ostrý.
2. Na čočku $f = 100$ mm nasuneme clonu. Pozorujeme zlepšení ostrosti obrazu.



Obrázek 37: Vzorový výsledek k pokusu 5.6 Otvorová vada čočky – nahoře Varianta A, dole B

Technické poznámky

- Na spojce ze soupravy Phywe je otvorová vada více viditelná než na spojkách ze soupravy RODS.
- Otvorovou vadu demonstruje také pokus 5.1 Čočka jako soustava hranolů
- Pokus lze provést rovněž z rozptylkou, viz např. (Pilát, 1965).
- Varianta B pokusu demonstruje ještě jednu optickou vadu – zkreslení. Při zobrazování rovinných předmětů kolmých na optickou osu čočky jsou totiž vnější části obrazu zvětšeny více než vnitřní. Stupeň zkreslení závisí na poloze čočky a matnice. Pokud by se čočka matnice dotýkala, zkreslení nevzniká. V našem pokusu se zkreslení projevuje tak, že v obrazu čtvercové sítě nejsou přímky rovnými čarami.

Zdroje

Varianta B pokusu je popsána v návodu k soupravě na stránkách (Didaktik s.r.o., f) a se starší soupravou ve sbírce pokusů (Svoboda a kol., 1994)

5.7 Barevná vada čočky

Cíl pokusu

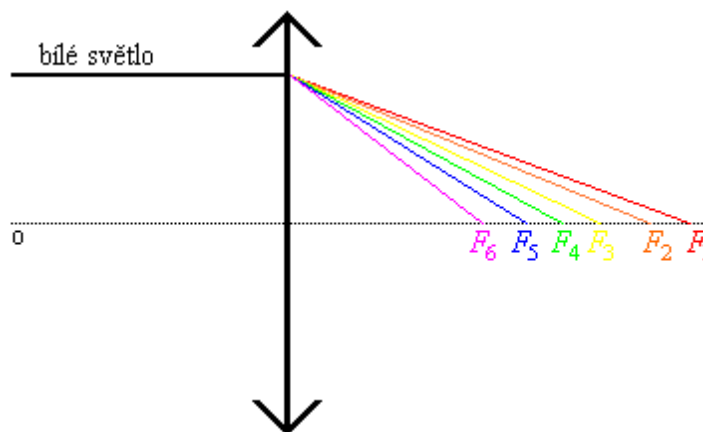
Cílem pokusu je poznat a pozorovat otvorovou a barevnou vadu čočky.

Teorie

Čočky ve skutečnosti nejsou tak ideální, jak obvykle uvažujeme. Nedokonalostmi jsou např. tloušťka čočky, index lomu závislý na frekvenci světla a jiné. Zobrazovací vady čoček se projevují např. tak, že se paprsky po průchodu čočkou neprotínají v jediném bodě (další vady a odchylky jsou k nalezení v (Brož a Wolf, 2017) nebo (Encyklopedie fyziky, b)). Barevná vada vzniká kvůli tomu, že index lomu závisí na frekvenci světla. Při dopadu na čočku se bílé světlo rozkládá na paprsky základních barev, který se každý láme pod jiným úhlem (viz Obrázek 38). K odstranění těchto vad se používá několik dohromady spojených čoček vyrobených ze speciálních materiálů.

Pomůcky

ŽES 1, 2, 3: Halogenová lampa, clona bez štěrbin, optická lavice, stativová tyč, matnice, spojka, dva běžce pro optickou lavici, stativový běžec s otvorem, běžec pro stupnici, matnici a ukazovatele, tři držáky čočky a clony, držák diapozitivu, držák s čočkou $f = 50$ mm, objímka s čočkou $f = 100$ mm, sada barevných filtrů aditivních, diapozitiv s číslicemi (obrázky)

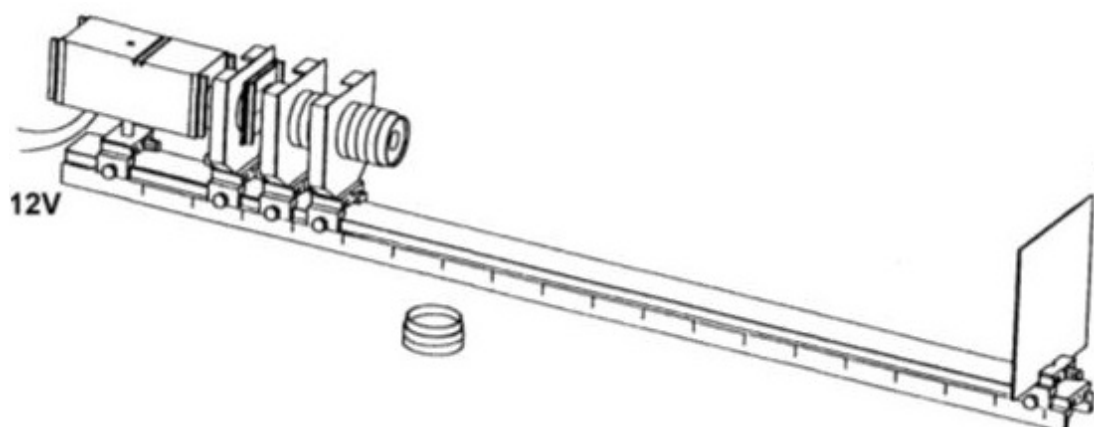


Obrázek 38: K teorii pokusu 5.7 Barevná vada čočky. Obrázek je převzat ze stránek (Encyklopedie fyziky, b)

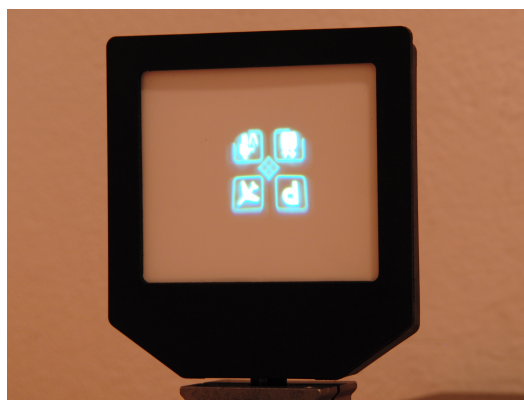
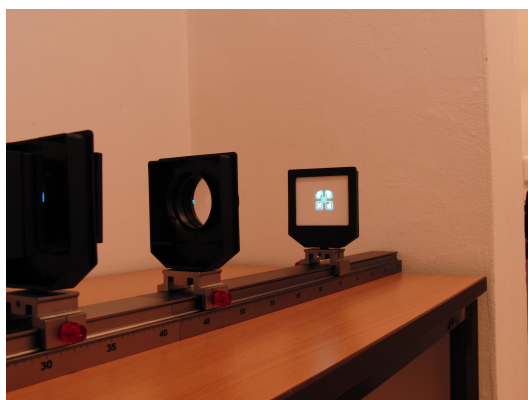
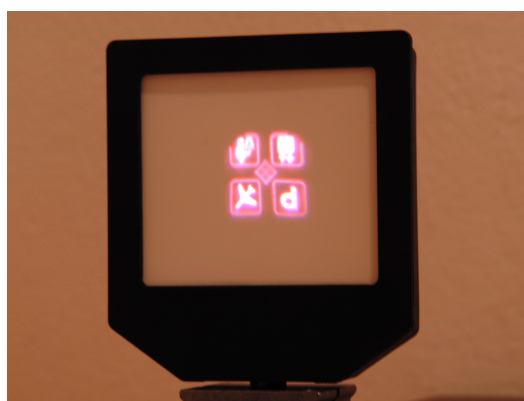
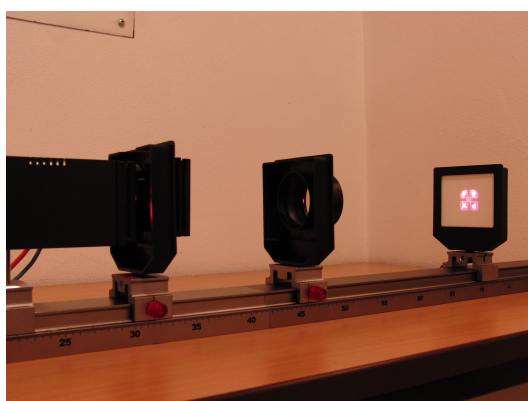
Postup

1. Pokus uspořádáme podle nákresu. Použijeme halogenovou lampu s kruhovou clonou. Čočku $f = 50$ mm postavíme před světlo a nasadíme na ni diapozitiv. Čočku $f = 100$ mm umístíme nejdříve 15 cm před předmět (diapozitiv). Matnici posuneme téměř na konec lavice.
2. Držák čočky a clony umístíme přímo za čočku $f = 50$ mm. Na něj nasadíme červený filtr. Zaostríme obraz.

3. Nahradíme červený filtr modrým. Modrý obraz se nezobrazí tak ostře jako předchozí. Pro zaostření pohybujeme matnicí blíž k čočce. Modré světlo se tedy láme silněji než červené.



Obrázek 39: K postupu pokusu 5.7 Barevná vada čočky. Obrázek je převzat ze stránek (Didaktik s.r.o., f)



Obrázek 40: Vzorový výsledek k pokusu 5.7 Barevná vada čočky – nahoře je provedení s červeným filtrem, dole s modrým

Technické poznámky

- Barevnou vadu čočky demonstruje také pokus 7.2 Lom barevného světla hranolem

Zdroje

- Teorie je popsána na stránkách (Encyklopedie fyziky, b).
- Varianta B pokusu je popsána v návodu k soupravě na stránkách (Didaktik s.r.o., f)

6.1 Oko – Krátkozrakost a dalekozrakost

Cíl pokusu

Tento pokus žákům ukáže, jak lze korigovat krátkozrakost a dalekozrakost.

Teorie

Oko, jeden ze smyslových orgánů, je pro člověka nejdůležitějším optickým přístrojem. Z hlediska paprskové optiky můžeme oko považovat za spojnou optickou soustavu s měnitelnou ohniskovou vzdáleností. Na sítnici uvnitř oka se pomocí oční čočky zaostří obraz předmětů, které se nacházejí v různých vzdálenostech před okem. Tento obraz je skutečný, zmenšený a převrácený. Vznik ostrého obrazu na sítnici je umožněn akomodací oka, při které se dle potřeby mění ohnisková vzdálenost oční čočky. Rozsah vzdáleností, na které se může oko akomodovat, je určen dalekým a blízkým bodem. Při pohledu do dalekého bodu, který je v nekonečné vzdálenosti, je akomodace oka minimální. Naopak při pohledu do blízkého bodu, kdy ještě vidíme ostře, je akomodace maximální. Mezi nejčastější odchylky od vlastností normálního oka patří krátkozrakost a dalekozrakost. Krátkozraké oko má blízký bod posunutý blíže k oku a daleký bod v konečné vzdálenosti. Člověk s takovým okem tedy vidí špatně na dálku. Obraz předmětu vzniká před sítnicí. Tato oční vada se koriguje pomocí rozptylek, které sníží optickou mohutnost celé soustavy. Dalekozraké oko má daleký bod v nekonečnu a blízký bod ve větší vzdálenosti od oka. Dalekozraký člověk vidí špatně blízké předměty. Optická mohutnost oční čočky je příliš malá. Tuto oční vadu korigují spojky.

Pomůcky

- A) RODS: Laser Ray Box, pracovní list s průřezem oka, čočky 1 – 5.
- B) Funkční model lidského oka (červený kufřík)

Postup

Varianta A:

1. Na tabuli umístíme pracovní list s průřezem oka a zdroj laserových paprsků.
2. Na vyznačené místo umístíme nejprve spojku 1. Rovnoběžný svazek paprsků se protíná na sítnici.

3. Spojku 1 nahradíme spojkou 2. Paprsky se protínají před sítnicí. Hovoříme o krátkozrakém oku.
4. Abychom vadu zkorigovali, umístíme před spojku rozptylku 5. Paprsky se opět protnou na sítnici.
5. Rozptylku odstraníme a spojku 2 nahradíme spojkou 3. Nyní se paprsky sbíhají až za sítnicí – dalekozraké oko.
6. Korekci vady provedeme umístěním spojky 4 před spojkou 3. Paprsky se protnou na sítnici.

Varianta B:

1. Použijeme model lidského oka umístěný v červeném kufříku. Řídíme se návodnými obrázky. Pozorujeme funkci zornice, jak funguje akomodace oka, jak vidí normální, krátkozraké a dalekozraké oko a další.

Metodické poznámky

- V praxi se krátkozrakost i dalekozrakost koriguje brýlemi se správným typem čočky.
- U brýlí se míra korekce udává pomocí optické mohutnosti v dioptriích, což je převrácená hodnota ohniskové vzdálenosti uváděné v metrech.

Zdroje

- Teorie a metodické poznámky jsou převzaty z elektronické sbírky (Sbírka fyzikálních pokusů, c).
- Varianta B využívá Funkční model lidského oka (Cornelsen Experimenta).

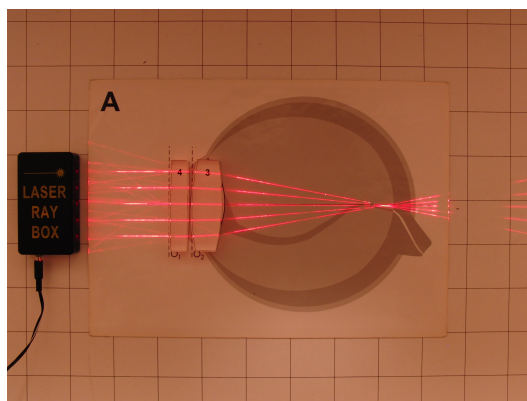
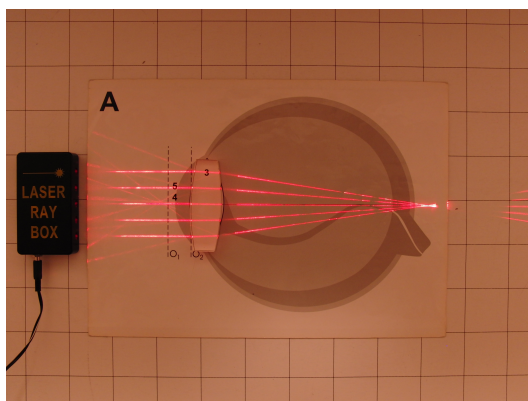
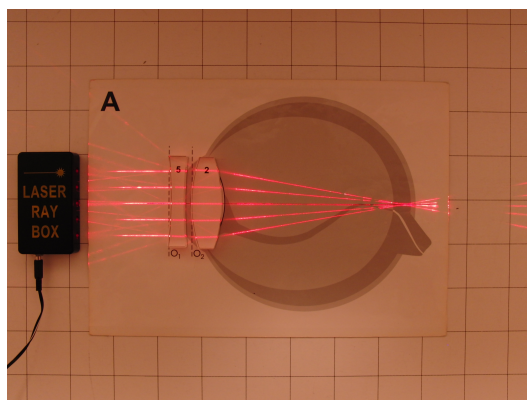
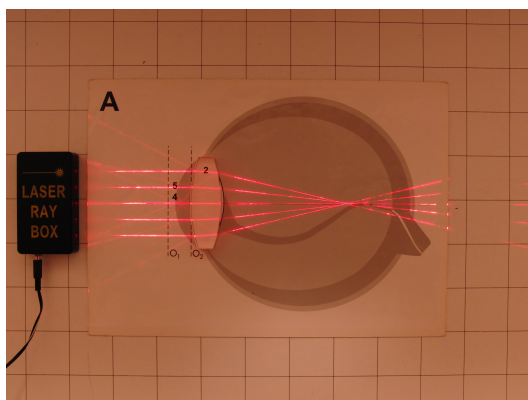
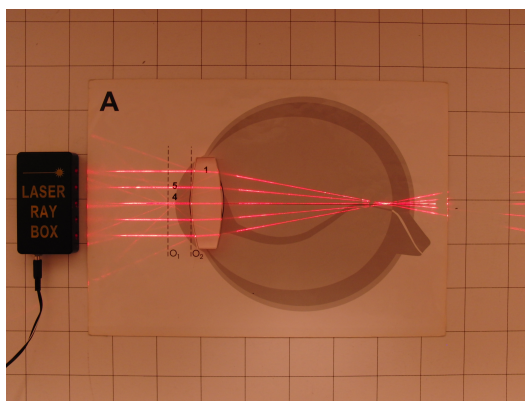
6.2 Refraktory – Keplerův a Galileův dalekohled

Cíl pokusu

Pozorovat princip, na jakém funguje Keplerův a Galileův dalekohled.

Teorie

Dalekohledy jsou optické přístroje, které zvětšují zorný úhel při pozorování vzdálených předmětů. Je-li objektiv dalekohledu složen z čoček, mluvíme o dalekohledu čočkovém (refraktor). Keplerův dalekohled je čočkový dalekohled, u něhož je objektiv i okulár tvořen spojnou optickou soustavou. Galileův dalekohled je čočkový dalekohled, u něhož je okulár tvořen rozptylnou soustavou a objektiv soustavou spojnou.



Obrázek 41: Vzorový výsledek k pokusu 6.1 Oko – Krátkozrakost a dalekozrakost

Pomůcky

- A) RODS: Laser Ray Box, pracovní list na Keplerův a Galileův dalekohled, čočky 1 a 2, ploskodutá rozptylka, půlkruhová čočka.
- B) ŽES 1, 2: Dráha optické lavice 2×50 cm, tři běžce pro optickou lavici, držák s čočkou $f = 50$ mm, objímka s čočkou $f = 300$ mm, držák čočky a clony.

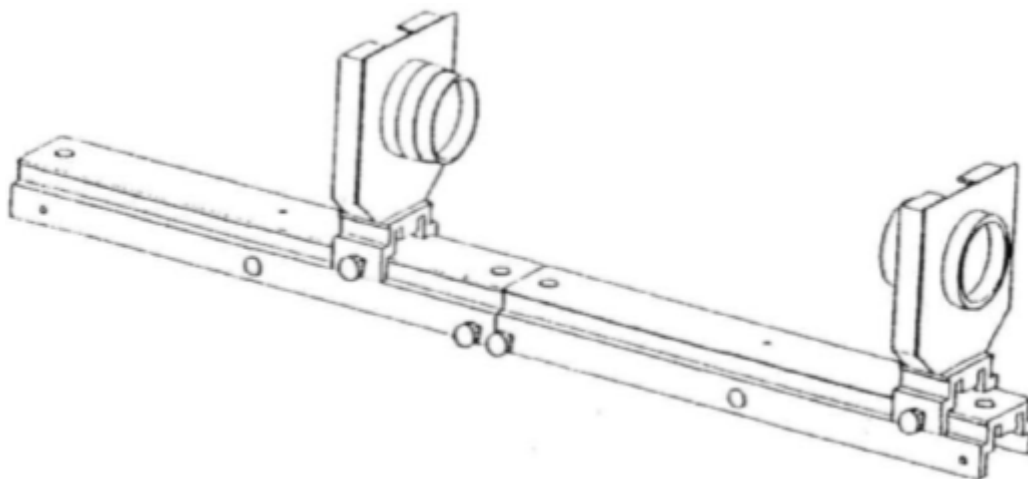
Postup

Varianta A:

1. Na magnetickou tabuli umístíme pracovní list se schématem Keplerova dalekohledu. Na list pak umístíme na příslušné místo čočku 2 a půlkruhovou čočku.
2. Zdroj laserových paprsků umístíme před čočku a pozorujeme, jak se paprsky chovají po průchodu čočkou.
3. Vyměníme pracovní list za schéma Galileova dalekohledu, umístíme tentokrát čočku 1 a ploskodutou rozptylku a pokus opakujeme.

Varianta B:

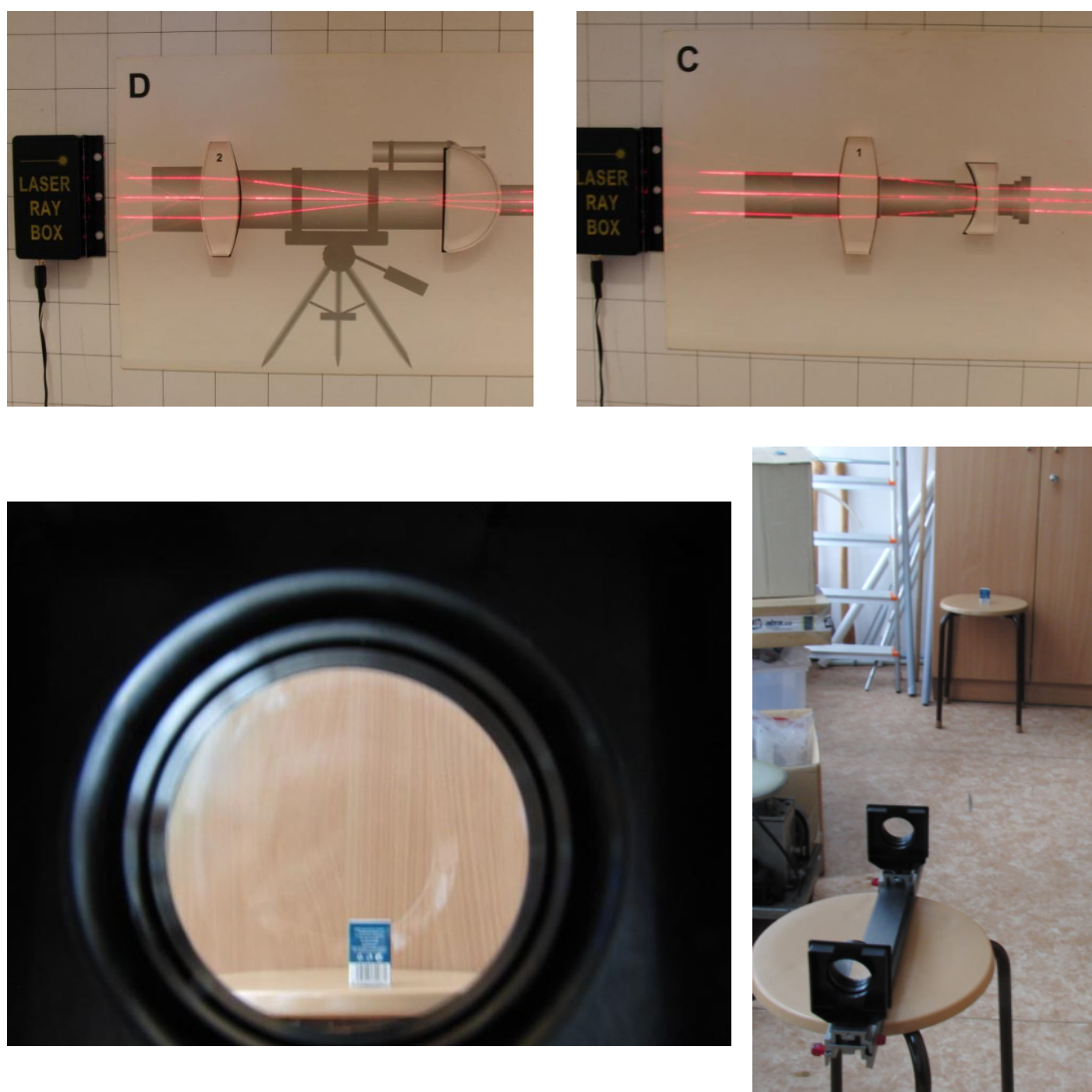
1. Pokus uspořádáme podle nákresu. Obě čočky připevníme na optickou lavici ve vzájemné vzdálenosti asi 33 cm. Čočka $f = 300$ mm tvoří objektiv dalekohledu, druhá čočka tvoří okulár.
2. Modelem dalekohledu pozorujeme vzdálený předmět. Čočkou objektivu posouváme tak dlouho, dokud není obraz ostře viditelný přes čočku okuláru.



Obrázek 42: K postupu pokusu 6.2 Refraktory – Keplerův a Galileův dalekohled – Varianta B. Obrázek je převzat ze stránek (Didaktik s.r.o., a)

Zdroje

- Tento pokus je popsán se starší aparaturou ve sbírkách pokusů (Svoboda a kol., 1994), (Svoboda a kol., 2001)
- Varianta B pokusu je popsána v návodu k soupravě na stránkách (Didaktik s.r.o., a)



Obrázek 43: Vzorový výsledek k pokusu 6.2 Refraktory – Keplerův a Galileův dalekohled – nahoře Varianta A, dole B

6.3 Reflektor – Newtonův dalekohled

Cíl pokusu

Pozorovat chod rovnoběžného svazku paprsku Newtonovým dalekohledem a posun obrazu při odchýlení rovnoběžného svazku od optické osy.

Teorie

Dalekohledy jsou optické přístroje, které zvětšují zorný úhel při pozorování vzdálených předmětů. Pokud jsou optickými prvky dalekohledu zrcadla, hovoříme o reflektorech. Jedním z nejjednodušších dalekohledů tohoto typu je Newtonův. Skládá se z dutého parabolického primárního zrcadla a rovinného sekundárního zrcadla, kterým vedeme paprsky mimo tubus dalekohledu. Rovnoběžný svazek paprsků se při dopadu na parabolické zrcadlo mění na sbíhavý. Tak zůstává i po odrazu od rovinného zrcadla a teprve, když paprsky projdou sekundárním ohniskem, mění se svazek na rozbíhavý. Vhodně umístěným okulárem (spojkou) jej ovšem

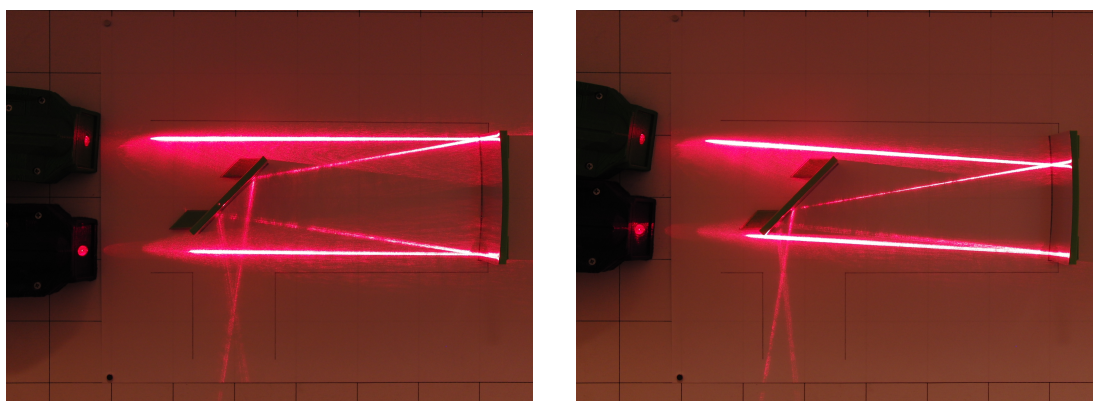
můžeme změnit na rovnoběžný, abychom jej naším okem mohli pohodlně pozorovat.

Pomůcky

Dva laserové zdroje z 3D optické soupravy, parabolické a rovinné zrcadlo vytisknuté na 3D tiskárně, náčrt Newtonova dalekohledu.

Postup

1. Na magnetickou tabuli umístíme náčrt Newtonova dalekohledu. Na připravená místa umístíme parabolické zrcadlo a rovinné zrcadlo.
2. Laserové zdroje dáme na magnetickou tabuli tak, aby jejich paprsky tvořily rovnoběžný svazek. Namíříme je na primární zrcadlo rovnoběžně s optickou osou. Pozorujeme, jak se paprsky v modelu odráží, a kde vzniká ohnisko. Také si všimneme, že sbíhavost svazku paprsků se po odrazu od sekundárního zrcadla nezměnila, ale paprsky nyní míří mimo tubus do sekundárního ohniska.
3. Svazek dvou rovnoběžných laserových paprsků mírně vychýlíme vzhledem k optické ose (asi o 1°). Pozorujeme změnu polohy sekundárního ohniska oproti původnímu svazku rovnoběžnému s optickou osou.



Obrázek 44: Vzorový výsledek k pokusu 6.3 Reflektor – Newtonův dalekohled

6.4 Reflektor – Cassegrainův dalekohled

Cíl pokusu

Pozorovat chod rovnoběžného svazku paprsku Cassegrainovým dalekohledem a posun obrazu při odchýlení rovnoběžného svazku od optické osy.

Teorie

Dalekohledy jsou optické přístroje, které zvětšují zorný úhel při pozorování vzdálených předmětů. Pokud jsou optickými prvky dalekohledu zrcadla, hovoříme o reflektorech. Cassegrainův dalekohled se skládá z dutého parabolického primárního

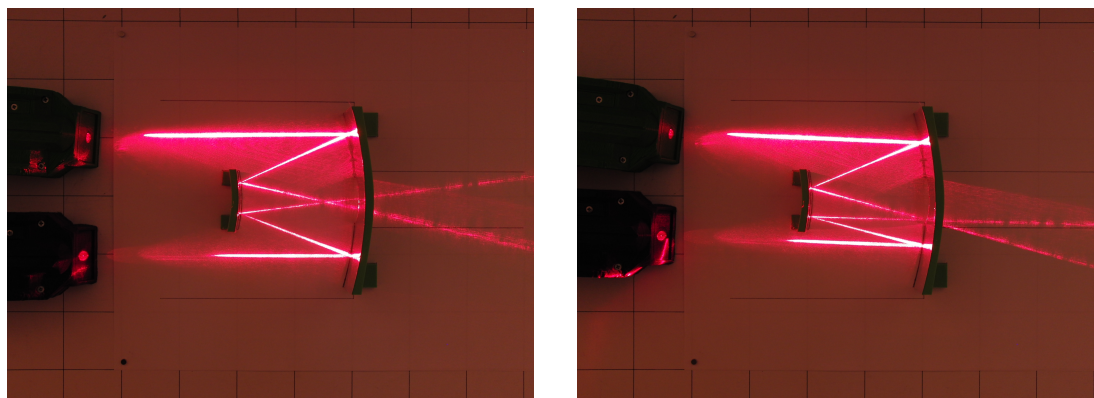
zrcadla a vypuklého hyperbolického sekundárního zrcadla. Uprostřed primáru je otvor, kterým prochází paprsky odražené od sekundáru za tubus. Rovnoběžný svazek paprsků se při dopadu na parabolické zrcadlo mění na sbíhavý. Po odrazu od hyperbolického zrcadla je svazek stále sbíhavý, ale už méně (dráha se oproti primárnímu prodlouží). Po průchodu sekundárním ohniskem se svazek mění na rozbíhavý. Vhodně umístěným okulárem (spojkou) jej ovšem můžeme změnit na rovnoběžný, abychom jej naším okem mohli pohodlně pozorovat.

Pomůcky

Dva laserové zdroje z 3D optické soupravy, parabolické zrcadlo s otvorem a hyperbolické zrcadlo vytisknuté na 3D tiskárně, nákres Cassegrainova dalekohledu.

Postup

1. Na magnetickou tabuli umístíme nákres Cassegrainova dalekohledu. Na připravená místa umístíme parabolické a hyperbolické zrcadlo.
2. Laserové zdroje dáme na magnetickou tabuli tak, aby jejich paprsky tvořily rovnoběžný svazek. Namíříme je na primární zrcadlo rovnoběžně s optickou osou. Pozorujeme, jak se paprsky v modelu odráží, a kde vzniká ohnisko. Také si všimneme, že sbíhavost svazku paprsků se po odrazu od sekundárního zrcadla zmenšila a že paprsky nyní míří za tubus.
3. Svazek dvou rovnoběžných laserových paprsků mírně vychýlíme vzhledem k optické ose (asi o 1°). Pozorujeme změnu polohy sekundárního ohniska oproti původnímu svazku rovnoběžnému s optickou osou.



Obrázek 45: Vzorový výsledek k pokusu 6.4 Reflektor – Cassegrainův dalekohled

6.5 Mikroskop

Cíl pokusu

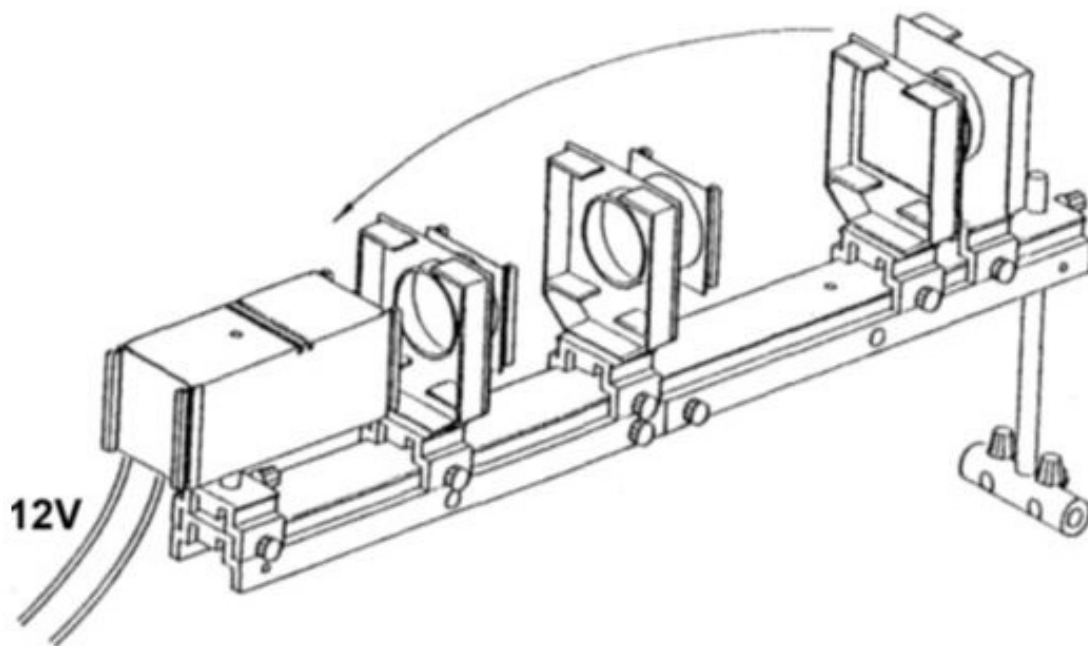
Cílem pokusu je předvést si princip mikroskopu.

Teorie

Mikroskopem nazýváme optický přístroj, který slouží k rozlišení blízkých předmětů zvětšením zorného úhlu. Skládá se ze dvou spojných soustav. První soustava je objektiv o velmi malé ohniskové vzdálenosti (několik mm), zadní soustava je okulár o větší ohniskové vzdálenosti (několik cm).

Pomůcky

ŽES 1, 2, 3: Dráha optické lavice 2×50 cm, halogenová lampa, stativová tyč, tři běžce pro optickou lavici, běžec pro matnici, držák s čočkou $f = 50$ mm, objímka s čočkou $f = 100$ mm, dva držáky pro čočku a clonu, dva držáky diapozitivů, sada otvorových clon, obrazový diapozitiv, držák s matnicí, matnice.



Obrázek 46: K postupu pokusu 6.5 Mikroskop. Převzato ze stránek (Didaktik s.r.o., e)

Postup

1. Diapozitiv (objekt) se zasune do držáku diapozitivů a pomocí držáku běžce a sedla se upevní na optickou lavici za zdroj světla. Do vzdálenosti asi 10 cm před něj připevníme na optickou lavici spojku $f = 50$ mm s nasazenou clonou s otvorem $d = 8$ mm.
2. Obraz diapozitivu zachytíme ostře na matnici asi ve vzdálenosti 20 cm od spojky. Je zvětšený, převrácený a skutečný.
3. Za matnicí umístíme čočku $f = 100$ mm a matnici odstraníme. Skrz spojku pozorujeme zdánlivý obraz, zvětšený a vůči předmětu obrácený.



Obrázek 47: Vzorový výsledek k pokusu 6.5 Mikroskop

Zdroje

- Tento pokus je popsán ve sbírce pokusů (Pilát, 1965)

6.6 Fotoaparát a dírková komora

Cíl pokusu

Cílem pokusu je pozorovat obraz vytvořený dírkovou komorou.

Teorie

Fotografický přístroj se skládá z:

1. objektivu: spojné soustavy čoček s korigovanými vadami zobrazení
2. matnice: mdlené skleněné desky, na které se objektivem vytváří skutečný obraz předmětu a která se pak nahradí fotografickou deskou nebo filmem pro trvalé zachycení obrazu
3. irisové clonky k řízení množství zobrazovacího světla
4. uzávěrky vymezující dobu osvitů
5. temnice s koženým výtahem nebo z pevné kovové komory, která zabraňuje vnikání rušivého světla na matnici

Pomůcky

- A) Dírková komora
- B) ŽES 1, 2, 3: Halogenová lampa, dráha optické lavice, spojka, stativová tyč, dva běžce pro optickou lavici a stativový běžec s otvorem, držák čočky a clony, držák diapositivu, držák s matnicí, clona ve tvaru L

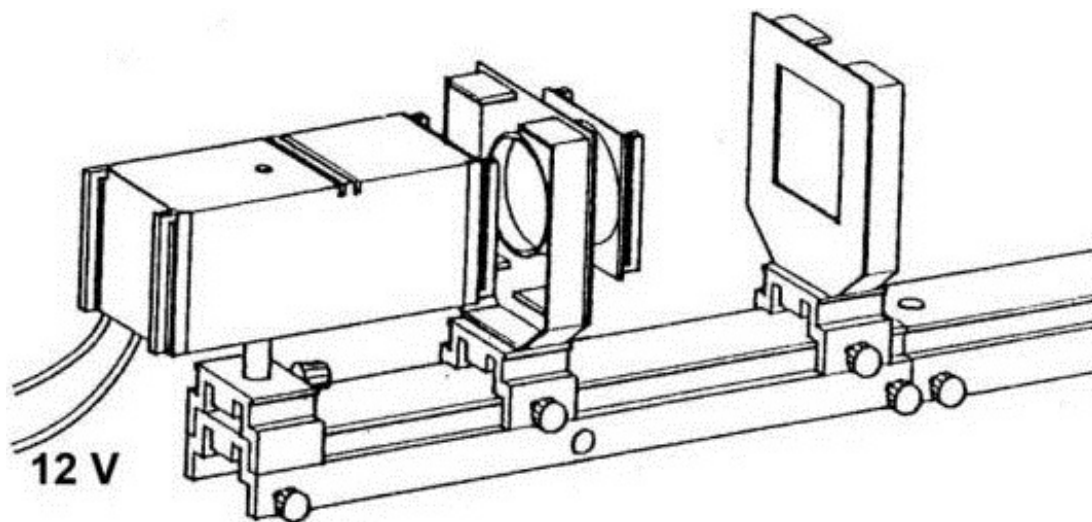
Postup

Varianta A:

1. Zaměříme se na nějaký dobře osvětlený objekt a podíváme se na něj dírkovou komorou.
2. Pozorujeme vlastnosti jejího obrazu.

Varianta B:

1. Pokus uspořádáme podle nákresu. Použijeme halogenovou lampu s kruhovou clonou. Na lampu upevníme clonu se štěrbinou ve tvaru L. Otvorovou clonu ($d = 3 \text{ mm}$) umístíme do držáku čočky a clony pomocí držáku.
2. Takto upevněný držák čočky a clony je umístěn na dráze a optické lavici (spojeným spojkou) pomocí běžce pro optickou lavici asi 6 cm před zdroj světla. Přibližně 10 cm před kruhovou otvorovou clonou nainstalujeme pomocí běžce na optickou lavici držák s matnicí.
3. Na matnici pozorujeme obraz osvětleného předmětu (clona L). Matnici posuneme co nejblíže ke kruhové otvorové cloně. Obraz se stává ostřejší a lépe viditelný.
4. Dalšího zlepšení obrazu dosáhneme použitím menší kruhové otvorové clony ($d = 1 \text{ mm}$).



Obrázek 48: K postupu pokusu 6.6 Fotoaparát a dírková komora – Varianta B. Obrázek je převzat ze stránek (Didaktik s.r.o., d)

Zdroje

- Návod na sestavení dírkové komory včetně vyvolání pořízené fotografie lze najít např. na (FyzWeb), (FotoAparát.cz)
- O fotoaparátu se lze dočíst na stránkách (Encyklopedie fyziky, a)



Obrázek 49: Vzorový výsledek k pokusu 6.6 Fotoaparát a dírková komora – Varianta B

- Obrázek je převzat z návodu k soupravě ŽES Optika ze stránek (Didaktik s.r.o., d)
- Teorie je převzata z knihy (Pilát, 1965)

7.1 Světlo odražené od bílých a od černých ploch

Cíl pokusu

Cílem pokusu je pozorovat, jak se světlo odráží od bílých lesklých a černých matných předmětů.

Teorie

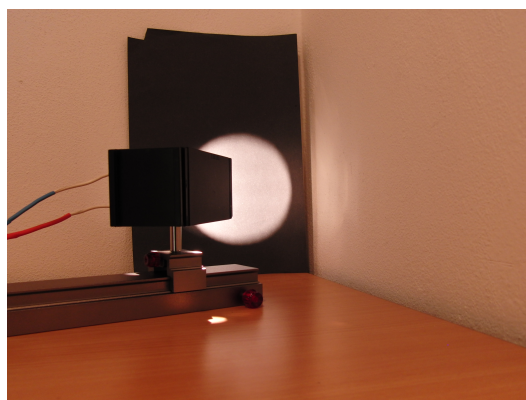
Proč se místnosti téměř výhradně malují světlými barvami? Černá barva světlo pohlcuje, zatímco bílá ho odráží. Barva stěn souvisí s tím, že chceme, aby v místnosti bylo co nejvíce světla, které nemusí přicházet jenom přímo od slunce nebo žárovky, ale i odrazem od stěn, které potom musí odrážet světla co nejvíce, a tak musí být co nejbělejší. V případě místnosti, kde naopak chceme světla co nejméně, musí stěny světlo co nejvíce pohlcovat a budou tedy černé. Podobně v parném létě nemůžeme stoupnout na černý asfalt, který je daleko teplejší než normální chodník. Když svítí sluníčko, schne černé prádlo rychleji, v tmavém oblečení je daleko větší horko než ve světlém atd.

Pomůcky

Zdroj světla, černá matná deska nebo papír, bílá stěna nebo bílý lesklý list papíru.

Postup

1. V zatemněné místnosti posvítte na bílý lesklý list papíru nebo na bílou stěnu. Pozorujeme, že místnost je světlejší, neboť je osvícena odraženým světlem.
2. Potom posvítte na černou matnou desku. V tomto případě je většina světla pohlcena deskou.



Obrázek 50: Vzorový výsledek k pokusu 7.1 Světlo odražené od bílých a od černých ploch

Zdroje

Teorie je převzata ze stránek (Krynicky.cz)

7.2 Lom barevného světla hranolem

Cíl pokusu

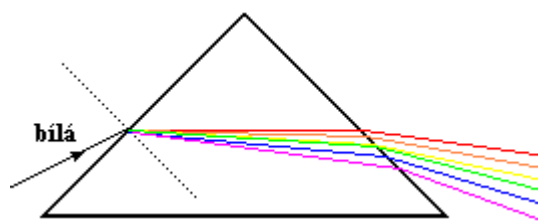
Pokus by měl žákům přiblížit, že se různé barvy světla lámou pod různými úhly.

Teorie

Světlo se na rozhraní dvou různých prostředí jednak odráží, jednak láme a prochází z jednoho prostředí do druhého. Lom světla se řídí Snellovým zákonem

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (18)$$

kde α je úhel dopadu, β úhel lomu a n_1 , n_2 jsou indexy lomu příslušejících prostředí. Index lomu závisí také na frekvenci světla. Při dopadu na rozhraní se bílé světlo rozkládá na paprsky základních barev, které se každý láme pod jiným úhlem (viz Obrázek 51). Nejvíce se láme fialové světlo, nejméně pak světlo červené.



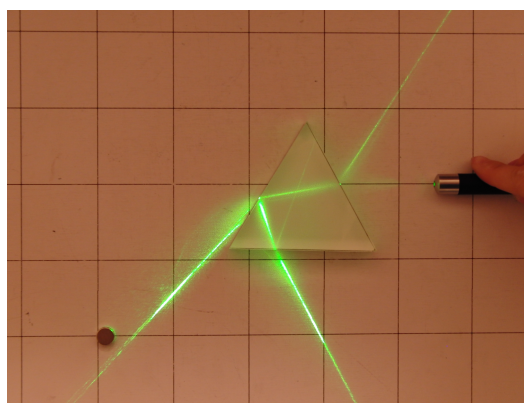
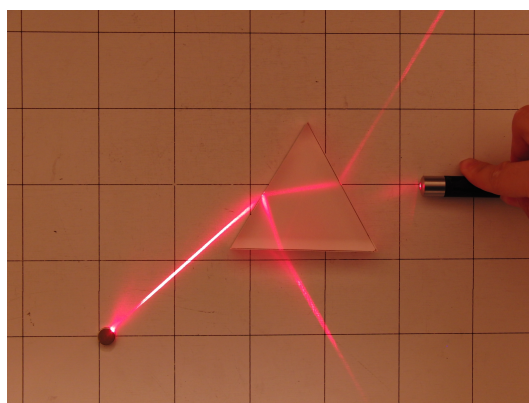
Obrázek 51: K teorii pokusu 7.2 Lom barevného světla hranolem. Obrázek převzat ze stránek (Encyklopedie fyziky, d)

Pomůcky

Červené a zelené laserové ukazovátko, optický hranol (např. z RODS).

Postup

1. Na magnetickou tabuli umístíme optický hranol.
2. Ze strany na hranol posvítíme nejprve červeným laserovým ukazátkem. To umístíme k tabuli tak, aby leželo, pokud možno na nějaké z rovných čar na tabuli. Tuto pozici si zapamatujeme. Vzdálené místo, kam se paprsek zlomil si označíme např. magnetem.
3. Nyní vyměníme červené ukazovátko za zelené. Umístíme ho na magnetické tabuli na stejné místo jako předtím červené. Opět pozorujeme, kam se paprsek láme. Vidíme, že teď se už do magnetu netrefí. Zelené světlo se láme jinak než červené.



Obrázek 52: Vzorový výsledek k pokusu 7.2 Lom barevného světla hranolem

Technické poznámky

- **Bezpečnostní upozornění:** Při práci s laserem je důležité dodržovat bezpečnostní pravidla. Při pokusu dochází i k odrazu paprsku od hranolu, pokus bychom tedy měli pozorovat shora, aby nedošlo k poškození očí.

Zdroje

Obrázek byl převzat ze stránek (Encyklopedie fyziky, d)

Seznam použité literatury

- BAUMRUK, V. Učební text k přednášce UFY102. [online]. Dostupné z: http://fu.mff.cuni.cz/biomolecules/media/files/courses/Lom_hranolem.pdf. [Cit. 2018-12-02].
- BROŽ, M. a WOLF, M. (2017). *Astronomická měření*. MatfyzPress, Praha.
- CORNELSEN EXPERIMENTA. Funktionsmodell menschliches auge. [online]. Dostupné z: <https://cornelsen-experimenta.de/shop/de/Weiterf%C3%BChrende%20Schulen/Physik/Demo-Sets/47030-Funktionsmodell+Menschliches+Auge.html>. [Cit. 2018-12-01].
- DIDAKTIK S.R.O. Dalekohled. [online]. Dostupné z: https://www.didaktik.cz/navody/p9160_4lhk/files/assets/basic-html/page67.html. [Cit. 2018-12-02].
- DIDAKTIK S.R.O. Vznik obrazu na dutém zrcadle. [online]. Dostupné z: http://www.didaktik.cz/navody/p9160_4lhk/files/assets/basic-html/page22.html. [Cit. 2018-12-01].
- DIDAKTIK S.R.O. Měsíční fáze. [online]. Dostupné z: http://www.didaktik.cz/navody/p9160_4lhk/files/assets/basic-html/page13.html. [Cit. 2018-12-02].
- DIDAKTIK S.R.O. Fotoaparát. [online]. Dostupné z: https://www.didaktik.cz/navody/p9160_4lhk/files/assets/basic-html/page68.html. [Cit. 2018-12-02].
- DIDAKTIK S.R.O. Mikroskop. [online]. Dostupné z: https://www.didaktik.cz/navody/p9160_4lhk/files/assets/basic-html/page66.html. [Cit. 2018-12-02].
- DIDAKTIK S.R.O. Odchylky barevných čoček. [online]. Dostupné z: http://www.didaktik.cz/navody/p9160_4lhk/files/assets/basic-html/page52.html. [Cit. 2018-12-02].
- DIDAKTIK S.R.O. Šíření světla. [online]. Dostupné z: http://www.didaktik.cz/navody/p9160_4lhk/files/assets/basic-html/page9.html. [Cit. 2018-12-02].
- DIDAKTIK S.R.O. Vznik stínu. [online]. Dostupné z: http://www.didaktik.cz/navody/p9160_4lhk/files/assets/basic-html/page10.html. [Cit. 2018-12-02].
- DIDAKTIK S.R.O. Vznik obrazu na vypuklém zrcadle. [online]. Dostupné z: http://www.didaktik.cz/navody/p9160_4lhk/files/assets/basic-html/page27.html. [Cit. 2018-12-01].
- DVOŘÁK, L. (2017). *Střípky z mozaiky jednoduchých pokusů*. Sborník z konference Co dává žákům fyzika? [DVD].

- ENCYKLOPEDIA FYZIKY. Fotografický přístroj. [online]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/507-fotograficky-pristroj>. [Cit. 2018-12-01].
- ENCYKLOPEDIA FYZIKY. Zobrazovací vady čoček. [online]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/482-zobrazovaci-vady-cocek>. [Cit. 2018-12-02].
- ENCYKLOPEDIA FYZIKY. Zobrazení rovinným zrcadlem. [online]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/473-zobrazeni-rovinnym-zrcadlem>. [Cit. 2018-12-01].
- ENCYKLOPEDIA FYZIKY. Optické hranoly. [online]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/442-opticke-hranoly>. [Cit. 2018-12-02].
- FOTOAPARÁT.CZ. [online]. Dostupné z: <https://www.fotoaparatus.cz/clanek/320/dirkova-komora-snadno-a-rychle-7190/>. [Cit. 2018-12-02].
- FYZWEB. [online]. Dostupné z: http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=107&id_casti=42. [Cit. 2018-11-29].
- HLAVIČKA, A. a KOHOUT, V. (1989). *Pokusy z optiky*. Komenium, Praha.
- HOLEC, S. *Laser Ray Optics Demonstration Set User's Guide*. Kvant Ltd.
- KRYNICKÝ.CZ. [online]. Dostupné z: http://www.krynicky.cz/martin/Uceni/Souvislosti/02_Fyzika.htm. [Cit. 2018-11-29].
- MIKULČÁK, J., KLIMEŠ, B., ŠIROKÝ, J., ŠŮLA, V. a ZEMÁNEK, F. (2004). *Matematické fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Prometheus, Praha.
- PILÁT, V. (1965). *Pokusy z optiky*. SPN - pedagogické nakladatelství a.s., Praha.
- SBÍRKA FYZIKÁLNÍCH POKUSŮ. Lom monochromatického světla optickým hranolem. [online]. Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/1667/lom-monochromatickeho-svetla-optickym-hranolem>. [Cit. 2018-12-01].
- SBÍRKA FYZIKÁLNÍCH POKUSŮ. Vodní lupa. [online]. Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/1903/vodni-lupa>. [Cit. 2018-12-01].
- SBÍRKA FYZIKÁLNÍCH POKUSŮ. Krátkozrakost a dalekozrakost. [online]. Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/1685/kratkozrakost-a-dalekozrakost>. [Cit. 2018-12-01].
- SBÍRKA FYZIKÁLNÍCH POKUSŮ. Zobrazování předmětu spojkou. [online]. Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/1683/zobrazovani-predmetu-spojku>. [Cit. 2018-12-01].
- SBÍRKA FYZIKÁLNÍCH POKUSŮ. Plný stín a polostín. [online]. Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/1630/plny-stin-a-polostin>. [Cit. 2018-12-01].

- SBÍRKA FYZIKÁLNÍCH POKUSŮ. Totální odraz ve vytékající vodě. [online]. Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/1594/totalni-odraz-ve-vytekajici-vode>. [Cit. 2018-12-01].
- SVOBODA, E., HOUDEK, V. a SVOBODA, M. (2001). *Pokusy z fyziky na střední škole 4*. Prometheus, Praha.
- SVOBODA, M., ALEXA, R., HOUDEK, V., SVOBODA, E. a ŠVECOVÁ, H. (1994). *Praktikum školních pokusů II*. Karolinum, Praha.
- TESAŘ, J. a JÁCHIM, F. (2009). *Fyzika 3 pro základní školu*. SPN - pedagogické nakladatelství a.s., Praha.
- TOLAR, J. (2014). Vlnění, optika a atomová fyzika. Dostupné z: <https://physics.fjfi.cvut.cz/files/predmety/02VOAF/VOAF2014.pdf>.
- VOCHOZKA, V. (2011). Inovovaná souprava pro demonstrační pokusy z optiky. Master's thesis, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.