

**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ
FAKULTA**
Univerzita Karlova

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Jana Machalická

**Experimentální sady z optiky pro Interaktivní fyzikální
laboratoř**

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Petr Kácovský, Ph.D.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Učitelství fyziky – Učitelství matematiky

Praha 2017

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu RNDr. Petru Kácovskému, Ph.D. a konzultantce RNDr. Marii Snětinové, Ph.D. za jejich cenné rady a připomínky, které napomohly k dokončení práce. Poděkování jim patří také za to, že mi ukázali nové možnosti a nedovolili mi tuto dlouhou cestu vzdát.

Děkuji vyučujícím, kteří se svými studenty spolupracovali na pilotáži připravených stanovišť a při výzkumné části této práce. Děkuji Mgr. Matěju Rystonovi za čas, který věnoval výrobě pomůcek pro účely této práce.

Velký dík patří rodičům, kteří mi po celou dobu mého studia pomáhali a podporovali mě, jak se jen dalo. Poslední poděkování patří mému partnerovi za podporu a především trpělivost, kterou se mnou při psaní této práce měl.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze dne

Jana Machalická

Název práce: Experimentální sady z optiky pro Interaktivní fyzikální laboratoř

Autor: Jana Machalická

Katedra: Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Petr Kácovský, Ph.D., Katedra didaktiky fyziky

Abstrakt: V rámci této diplomové práce byla provedena rešerše a byl podán přehled některých dostupných materiálů zabývajících se experimenty z optiky. Na základě toho byla pro potřeby Interaktivní fyzikální laboratoře spravované Katedrou didaktiky fyziky MFF UK vytvořena čtyři stanoviště, zahrnující kvantitativní i kvalitativní experimenty, a k nim příslušející pracovní listy pro studenty, kteří na daném stanovišti pracují. Jednotlivé experimenty, zaměřené na geometrickou a vlnovou optiku, jsou v této práci podrobně rozebrány, doplněny o návody k jejich přípravě a metodické poznámky. Na spuštění experimentální sady *Optika* navázal doplňující kvalitativní výzkum vlivu návštěvy IFL na pochopení vybraných fyzikálních konceptů, který byl proveden pomocí krátkého dotazníku na malém vzorku respondentů. Některé závěry tohoto výzkumu budou předmětem dalšího zkoumání.

Klíčová slova: fyzikální experimenty, laboratorní práce, optika, střední škola

Title: Experimental sets in optics for Interactive Physics Laboratory

Author: Jana Machalická

Department: Department of Physics Education

Supervisor: RNDr. Petr Kácovský, Ph.D., Department of Physics Education

Abstract: As part of this thesis, a literature review focused on the topic of optics experiments was conducted. Building on the results of this review, four experimental stations were designed and realized based on the needs of the Interactive Physics Laboratory (IPL), operated by the Faculty of Mathematics and Physics, Charles University. Corresponding worksheets have also been created and provided to the students participating in each given experiment. The individual experiments, which are focused on the fields of geometrical and wave optics, are described in detail and accompanied by instructions on setting up the stations, as well as important notes on teaching methodology. Following the launch of this Optics experimental suite, a qualitative study exploring the effect of visiting the IPL on the understanding of the related physics concepts was performed by means of a short questionnaire on a small number of respondents. Several conclusions drawn from this study remain as interesting areas of future work.

Keywords: physics experiments, labs, optics, secondary school

Obsah

Úvod	3
1. Přehled vybraných materiálů dostupných učitelům fyziky	4
1.1 Elektronické materiály	4
1.1.1 Souhrnný sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky	4
1.1.2 FyzWeb – iQpark.....	5
1.1.3 Techmania Science Center	5
1.2 Tištěné materiály	6
1.2.1 Kupka Z., Hála J.: Pokusy s laserem	6
1.2.2 Svoboda E. a kol.: Pokusy z fyziky na střední škole 4	6
1.2.3 Rakušan Z., Votrubcová Š., Havlíček J.: Experimentář	7
1.3 Tištěné materiály v anglickém jazyce.....	7
1.3.1 Sutton R. M.: Demonstration Experiments in Physics	7
1.3.2 Freier G. D., Anderson F. J.: A Demonstration Handbook for Physics.....	7
1.3.3 Sprott J. S.: Physics demonstrations	8
2. Interaktivní fyzikální laboratoř	9
3. Seznámení se stanovišti	11
3.1 Zákon odrazu a lomu světla.....	11
3.1.1 Charakteristika stanoviště	11
3.1.2 Část 1: Odraz světla.....	12
3.1.3 Část 2: Lom světla	12
3.1.4 Část 3: Disperze světla aneb kde se vzala duha.....	14
3.2 Totální odraz.....	15
3.2.1 Charakteristika stanoviště	15
3.2.2 Část 1: Totální odraz.....	15
3.2.3 Část 2: Optické vlákno.....	16
3.2.4 Část 3: Fata morgána	18
3.2.5 Teoretický přesah.....	20
3.3 Interference a difrakce světla	20
3.3.1 Charakteristika stanoviště	20
3.3.2 Část 1: Youngův experiment	21
3.3.3 Část 2: Difrakce světla na tenkém drátku	22
3.3.4 Část 3: Difrakce světla na optické mřížce.....	23

3.4 Polarizace světla	25
3.4.1 Charakteristika stanoviště	25
3.4.2 Část 1: Polarizované světlo	26
3.4.3 Část 2: Fotoelasticimetrie.....	27
3.4.4 Část 3: Stáčení roviny polarizace.....	28
3.4.5 Teoretický přesah	30
3.5 Zavedení optiky do IFL.....	31
4. Výzkum vlivu návštěvy Interaktivní fyzikální laboratoře	32
4.1 Cíle výzkumu	32
4.2 Metodologie výzkumu.....	32
4.3 Průběh návštěvy IFL	32
4.4 Kódování.....	34
4.5 Shrnutí poznatků z výzkumu.....	34
Závěr	37
Seznam použité literatury.....	39
Seznam obrázků	41
Přílohy.....	42
Příloha 1: Pracovní listy	43
Příloha 2: Dotazník vlivu návštěvy IFL.....	73

Úvod

Ačkoliv se zdá fyzika pro studenty středních škol jako nepřilíš atraktivní téma, existují možnosti, jak alespoň část takových studentů přesvědčit o tom, že tomu tak úplně není. O to by se mohli učitelé fyziky minimálně pokoušet. Jednou z možností, jak toho dosáhnout, je připravit studentům vhodné pomůcky a nechat je experimentovat vlastníma rukama. Ne každý učitel má však možnost takto svou výuku postavit. A i z toho důvodu může takový učitel na dvě hodiny přijít se svými studenty do Interaktivní fyzikální laboratoře na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy, kde se mohou přesně tímto způsobem seznámit s různými fyzikálními experimenty.

Cílem této práce je na základě provedené rešerše dostupných materiálů vytvořit pro účely zmiňované laboratoře novou experimentální sadu čtyř stanovišť, zabývající se experimenty z optiky. Součástí toho je i tvorba pracovních listů, které mají studenti na stanovištích k dispozici. Experimenty zařazené na jednotlivá stanoviště jsou v této práci podrobně rozebrány. Pro případné zájemce, kteří by chtěli z tohoto textu čerpat inspiraci, jsou zde uvedeny i návody k jejich přípravě a metodické poznámky, které byly zaznamenány v průběhu samotného experimentování studentů.

Téma optika bylo pro práci zvoleno z mnoha důvodů. První z nich je ten, že je autorce blízké, jelikož se tímto fyzikálním odvětvím zabývala už ve své bakalářské práci. Dalším důvodem je průběh výuky na středních školách. Optika je jedno z posledních témat, které se vyučuje, a není mu většinou věnováno příliš mnoho času.

Během října a listopadu 2016 proběhla pilotáž vzniklých stanovišť, na jejímž základě byly některé úkoly a formulace v pracovních listech pozměněny, popř. vyřazeny. Po ukončení pilotáže se *Optika* zařadila do nabídky pro veřejnost, a vybrat si ji tak v současnosti může libovolná skupina, která chce IFL navštívit. Díky tomu mohl být začátkem roku 2017 pomocí dotazníků uskutečněn krátký výzkum vlivu návštěvy IFL na porozumění vybraným fyzikálním konceptům.

1. Přehled vybraných materiálů dostupných učitelům fyziky

Těžištěm této práce jsou experimenty z optiky, proto je na místě, aby se zde objevil přehled některých materiálů zabývajících se fyzikálními pokusy z optiky na úrovni střední školy, se kterými se můžeme setkat a již ověřené experimenty z nich čerpat. Je technicky nemožné podat zde kompletní přehled všech materiálů, jelikož jich je k dispozici nepřeberné množství. Po společném zvážení s vedoucím práce jsme vybrali takové materiály, které nabízí velkou zásobu různých experimentů, jsou snadno dostupné nebo často využívané středoškolskými učiteli, popř. splňují více z těchto podmínek. Tyto materiály jsou rozděleny do tří skupin: elektronické materiály, tištěné materiály v českém jazyce a tištěné materiály v anglickém jazyce.

1.1 Elektronické materiály

V dnešní době jsou elektronické materiály běžně dostupné a často využívané. Jejich výhodou je možnost aktualizování již vzniklých verzí. Na druhou stranu uživatel v některých případech vůbec neví, jestli jsou vybrané příspěvky kontrolované a kdo je jejich autorem. Do následujícího přehledu byly vybrány materiály, které jistě nějakou korekturou prošly, a fyzikální chyby by se v nich tedy neměly vyskytovat

1.1.1 Souhrnný sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky

V tomto sborníku můžeme najít vybrané příspěvky z jednotlivých ročníků konference *Veletrh nápadů učitelů fyziky*. Často jsou tu příspěvky, které jsou něčím nové a inspirativní, nebo například využívají jednoduše dostupné pomůcky. Výhodou je, že bývají přispívajícími učiteli vyzkoušené. Příspěvky lze vyhledávat podle několika kritérií, kterými jsou např. klíčová slova v textu, autoři článků, ročník konference, téma příspěvku, ale i použité pomůcky a stupeň školy, pro který je příspěvek určen.

V sekci optika se nachází přibližně 70 příspěvků, v každém z nich je pak rozebrán jeden či více pokusů. Tematicky bychom je mohli dělit do skupin geometrická optika, zobrazování optickými soustavami, vlnová optika a elektromagnetické záření a jeho energie. Ke každé z této skupin můžeme přiřadit desítky příspěvků, konkrétně ke geometrické optice i elektromagnetickému záření a jeho energii přes 20 příspěvků, k zobrazování optickými soustavami i vlnové optice

něco přes 10 příspěvků, můžeme však najít i takové, které nelze takto jednoznačně kategorizovat.

Většina příspěvků je velice detailně zpracována a nechybí zde doprovodné obrázky či fotografie. Narazit můžeme i na metodické komentáře a náměty k otázkám, nad kterými by se mohli žáci při demonstraci zamýšlet. Některé příspěvky jsou strukturovány přehledněji než jiné, což je způsobeno širokým spektrem autorů. Právě to vede i k různým variantám některých pokusů, jejich zjednodušení, vylepšování či metodické různorodosti.

1.1.2 FyzWeb - iQpark

Prostřednictvím této stránky si můžeme prohlédnout vybrané fyzikální exponáty z iQparku. Vhodné jsou především pro učitele, kteří plánují se svými žáky jeho návštěvu a chtějí se na ni buď předem připravit, nebo se k ní při výuce později vrátit. Ale i učitel, který návštěvu iQparku neplánuje, zde může najít spoustu inspirace pro své hodiny. Exponáty jsou zde rozděleny podle kapitol, podkapitol a ročníku, ve kterém se předpokládá probrání příslušné teorie.

Název podkapitoly	Počet exponátů
Elektromagnetické záření a jeho energie	7
Vlnová optika	2
Základní pojmy	4
Zobrazování optickými soustavami	12

Tabulka 1: Četnost exponátů v iQparku týkajících se optiky

Z kapitoly optika zde můžeme najít 25 exponátů, které jsou rozděleny do čtyř podkapitol. Četnost exponátů v jednotlivých podkapitolách zachycuje tabulka 1. Na stránce každého z exponátů můžeme nalézt jeho umístění v iQparku, stručný popis, fotografie a originální text, který ho doprovází přímo v iQparku. U vybraných pokusů je k dispozici video zachycující jeho průběh či inspirace pro diskusi ve formě různých otázek.

1.1.3 Techmania Science Center

Techmania nabízí několik tematických expozic věnovaných vědě a technice. Každá z těchto expozic obsahuje interaktivní exponáty, které jsou rozebrány na těchto stránkách. Exponáty týkající se středoškolské optiky můžeme najít

v expozicích Edutorium, Vodní svět a Expozice Vesmír. Celkem jich je 20 a jsou rozděleny do kapitol optické zobrazování, vlnové vlastnosti světla a elektromagnetické záření. Vyhledání požadovaných exponátů je však poměrně náročné.

Každý z popisů obsahuje stručnou anotaci, poznámku o vědě či technice „v pozadí“, detailní teorii a několik doprovodných obrázků či fotografií. Někdy můžeme najít i videa a různé zajímavosti, které se hodí k danému exponátu.

1.2 Tištěné materiály v českém jazyce

Oproti elektronickým materiálům se u těch tištěných vždy dělá korektura. Při jejich použití se tedy nemusíme příliš obávat fyzikálních nesrovnalostí. Tištěné materiály však nelze dále rozšiřovat a po nějaké době se tak mohou být neaktuální.

1.2.1 Kupka Z., Hála J.: Pokusy s laserem

Jak samotný název napovídá, zabývá se tato kniha lasery. V první části knihy je dopodrobna rozebrána stavba laseru a princip, na kterém pracuje. Několik slov je věnováno i zásadám bezpečnosti práce s lasery. Větší část knihy je věnována demonstracím s využitím laseru. Dvanáct pokusů je věnováno paprskové optice, jedenáct vlnové optice. Na to navazují čtyři stručně rozebrané náměty na laboratorní úlohy. V poslední části je rozebráno devatenáct pokusů s dnes běžně používaným a dostupným laserovým ukazovátkem.

Vzhledem k omezenému rozsahu knihy nejsou pokusy příliš přehledně strukturovány. U většiny z nich je jen stručně popsán postup.

1.2.2 Svoboda E. a kol.: Pokusy z fyziky na střední škole 4

Poslední z dílů publikace *Pokusy z fyziky na střední škole* obsahuje pokusy z optiky a fyziky mikrosvěta. V části věnované optice se nachází 75 pokusů a jsou členěny do čtyř kapitol, které se věnují přímočarému šíření, odrazu a lomu světla, zobrazování optickými soustavami, vlnové optice a elektromagnetickému záření. Svým členěním odpovídá tato kniha současným učebnicím fyziky pro gymnázia a jiné typy středních škol.

Každý z pokusů je přehledně strukturován. Nechybí zde seznam pomůcek, podrobně rozepsaná příprava i samotné provedení pokusu. Často můžeme najít doprovodný obrázek a fotografii sestaveného pokusu. Někdy je uvedeno i stručné vysvětlení demonstrovaného jevu či děje, nebo vysloven závěr vyplývající z daného pokusu. Součástí mohou být i technické a metodické poznámky, které mají za úkol

usnadnit přípravu i provedení pokusu, případně inspirovat učitele k jiným variantám jeho provedení.

1.2.3 Rakušan Z., Votrubcová Š., Havlíček J.: Experimentář

Tato kniha obsahuje velké množství pokusů nejen z fyziky, ale i s chemickou a biologickou tematikou. Pokusů z optiky se zde nachází okolo pětadvaceti. Všechny pokusy jsou svou úrovní koncipovány spíše pro druhý stupeň základní školy. Zabývají se základními poznatky o světle, paprskovou optikou a zobrazování optickými soustavami. Součástí každého z detailně rozepsaných pokusů jsou teoretická vysvětlení s didaktickým komentářem, údaje o časové náročnosti i cílové skupině a soupis použitých pomůcek. Ty bývají často velmi jednoduché.

Můžeme zde najít jak demonstrační pokusy, které často slouží k uvedení probíraného učiva, i žákovské pokusy, které slouží například ke skupinové práci.

1.3 Tištěné materiály v anglickém jazyce

1.3.1 Sutton R. M.: Demonstration Experiments in Physics

V této knize můžeme najít jak pokusy z různých oblastí fyziky, tak i kapitoly o tom, jak by se při samotných demonstracích mělo postupovat. Samotná část optika obsahuje okolo 125 pokusů, které jsou rozděleny do několika podkapitol věnujících se fotometrii, zákonům odrazu a lomu, zobrazování optickými soustavami, modelům oka, interferenci a difrakci, barvám a záření, spektrům a polarizaci. Dvě kapitoly jsou věnovány popisu několika pomůcek a světelných zdrojů, které se mohou při demonstracích využívat. Některé popisy k pokusům jsou stručné, jiné naopak obsáhlejší, žádný z nich ale není přehledně strukturovaný a jen zřídkakdy je některý doplněn o doprovodný obrázek.

1.3.2 Freier G. D., Anderson F. J.: A Demonstration Handbook for Physics

Tato příručka je plná demonstračních pokusů z různých oblastí fyziky. Kvůli velkému množství jsou všechny pokusy rozebrány jen velice stručně, každý z nich je ale doplněn o doprovodný nákres. V sekci optika je popsáno celkem 136 pokusů, které jsou rozděleny do mnoha kapitol. Velká část pokusů je věnována demonstracím základních poznatků o světle, především zákonu odrazu a lomu. Další kapitoly jsou věnovány zobrazování optickými soustavami, vlnové optice i elektromagnetickému záření a jeho energii.

1.3.3 Sprott J. S.: Physics demonstrations

Tato kniha obsahuje mnoho demonstračních pokusů z různých oblastí fyziky, které jsou vystavěny tak, aby nadchly a zaujaly diváka. Každý z nich obsahuje stručnou charakteristiku, seznam pomůcek, detailně rozpracovaný postup, diskuzi fyzikálních principů a zmínku o bezpečnosti. V sekci, která je věnována optice, je těchto pokusů 13. Velkou výhodou této knihy je přiložené DVD, obsahující záznamy z demonstračních show samotného autora knihy.

2. Interaktivní fyzikální laboratoř

Interaktivní fyzikální laboratoř (zkráceně IFL) zřizovaná od prosince roku 2008 Matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy je místo, kde si středoškolští studenti se svými učiteli mohou vyzkoušet připravené fyzikální experimenty. Vznik IFL byl inspirován především stockholmským House of Science (Vetenskapens Hus, 2017), které je zaměřené oproti naší laboratoři o něco obecněji na experimentování v přírodních vědách.

IFL je dimenzován na návštěvu skupiny o velikosti maximálně 16 studentů, kteří většinou pracují po dobu 120 minut ve čtyřčlenných skupinkách. Některé sady experimentů jsou koncipovány tak, že se skupinky postupně střídají na několika stanovištích, u jiných tráví celou dobu na jednom stanovišti, kde se detailně seznámí s daným fyzikálním jevem.

V každém semestru je vypsáno na internetových stránkách laboratoře přibližně 25 až 30 termínů, na které se mohou učitelé se svými studenty přihlásit. Během jednoho dne probíhají vždy dva běhy po sobě, ale z důvodu přípravy vždy jen na jedno téma. Učitelé tak mohou přivést celou třídu, každou polovinu na jeden běh. V současné době (květen 2017) je možné vybírat z následujících experimentálních sad:

- Mechanika – vrhy
- Mechanika – rotační pohyb
- Mechanické kmitání a mechanika tuhého tělesa
- Termodynamika 1 – kvantitativní pojetí
- Termodynamika 2 – kvalitativní pojetí
- Elektrostatika
- Magnetické pole solenoidu
- Optika

Po celou dobu experimentování jsou přítomni lektori z řad vysokoškolských studentů učitelství matematiky-fyziky nebo současní i minulí doktorandi z Katedry didaktiky fyziky. Studenti jsou však vedeni co nejvíce k samostatné práci a lektori během experimentování plní převážně jen podpůrnou roli, popř. dohlíží na bezpečnost a hladký průběh celého běhu. Před samotným experimentováním lektori přivítají studenty v IFL a seznámí je s průběhem jejich návštěvy. Na konci vyhrazeného času se všichni sesednou do kroužku a každá skupinka má za úkol formou krátké ústní prezentace shrnout experimentování na posledním dokončeném stanovišti.

Studenti mají ke své práci k dispozici pracovní listy, do kterých si zaznamenávají své poznatky, hypotézy a závěry. Tento pracovní list nemusí při odchodu odevzdávat, ale odnášejí si ho s sebou. Další využití pracovních listů ve výuce je už jen na jejich vyučujících.

Kromě výše popisovaných návštěv středoškoláků se odehrávají v IFL i jiné akce. Již tradičně zde probíhají exkurze na Jeden den s fyzikou či Den otevřených dveří na MFF UK. Často je IFL využíván i pro některé semináře vyučované na Katedře didaktiky fyziky a slouží tak budoucím učitelům fyziky. Detailnější informace o IFL jsou k dispozici v disertační práci RNDr. Zdeňka Šabatky, Ph.D. (Šabatka, 2016).

3. Seznámení se stanovišti

Hlavním výstupem této práce je sestavení 4 tematicky ucelených stanovišť s experimenty a tvorba k nim příslušejících pracovních listů, které provádí studenty daným stanovištěm. V této kapitole budou jednotlivá stanoviště důkladně představena, bude popsána jejich příprava i samotný průběh. Pracovní listy, které využívají studenti i k zaznamenání svých hypotéz a formulování závěrů, jsou spolu s autorským řešením obsahem příloh.

Jednotlivá stanoviště jsou koncipovaná na cca 35 minut, studenti tak stihnou během své návštěvy v závislosti na jejich rychlosti projít dvě až tři. Jednotlivé experimenty byly vybírány především z dříve zmiňovaných materiálů po domluvě s vedoucím práce. Některé z nich jsou zařazeny na základě zjištěných miskonceptů objevujících se v optice (Mandíková, a další, 2011). Všechny experimenty jsou voleny tak, aby odpovídaly jevům probíraným na střední škole, logicky na sebe navazovaly a byly pro studenty názorné a atraktivní. Proto nebyly zařazeny experimenty, které byly časově náročné a využívaly příliš složité pomůcky.

3.1 Zákon odrazu a lomu světla

3.1.1 Charakteristika stanoviště

Cílem tohoto stanoviště je seznámit studenty se základními zákony geometrické optiky a principem disperze světla. V případě, že návštěvníci IFL už zákony odrazu a lomu světla znají, ověří si jednoduchou formou jejich platnost.



Obrázek 3.1: Připravené stanoviště

Stanoviště je rozdělené do tří částí se společným teoretickým úvodem. Ke každé části náleží závěrečné shrnutí důležitých poznatků o zkoumaném fyzikálním jevu.

3.1.2 Část 1: Odraz světla

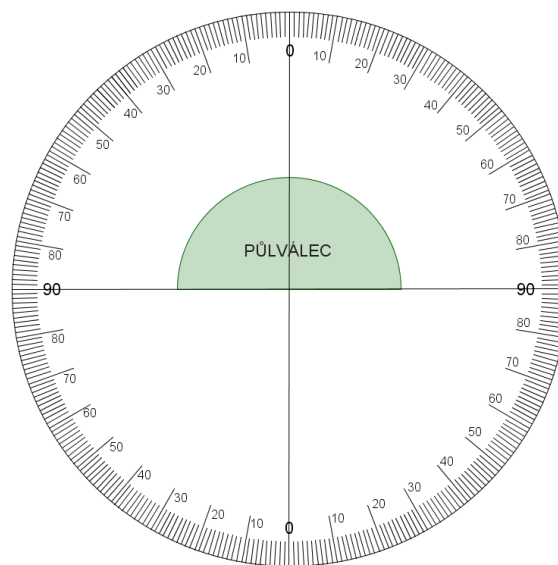
Pomůcky: Zelené laserové ukazovátko s vlnovou délkou 532 nm a výkonem 5 mW, zrcátko.

V první části stanoviště se studenti zabývají ověřováním zákona odrazu světla, který většinou již znají ze školy. V první fázi studenti odhadují chod laserového paprsku po odražení od zrcátka a zakreslují ho do připraveného obrázku. Experimentálně si pak ověří svou hypotézu pomocí zeleného laserového ukazovátko, proměří zákon odrazu pro několik dalších samostatně zvolených úhlů dopadu a na závěr vlastními slovy zformulují zákon odrazu světla.

3.1.3 Část 2: Lom světla

Pomůcky: Zelené laserové ukazovátko s vlnovou délkou 532 nm a výkonem 5 mW, skleněný půlválec o poloměru 3,5 cm s indexem lomu 1,5; papírový úhloměr (obrázek 3.2).

Druhá část se týká lomu světla. Pro odvození tohoto zákona se zde využívá skleněný půlválec. Laserovým ukazovátkem studenti svítí podle instrukcí na střed půlválce položeného na papírovém úhloměru pod zvoleným úhlem dopadu a měří úhel lomu. Naměřené hodnoty vyplňují do připravené tabulky, která je dále navádí na výpočet poměru sinů úhlu dopadu a úhlu lomu (poslední sloupec tabulky).



Obrázek 3.2: Úhloměr vytvořený pro tuto úlohu

Studenti si sami volí úhly dopadu, pod kterými svítí na střed půlválce. Jediná podmínka na ně kladená je, aby se vždy lišily minimálně o 10°.

U posledního sloupce se studenti zamýšlí, jestli naměřené hodnoty odhalují nějakou zákonitost. Většinou společně diskutujeme, proč nevychází poměr vždy stejně a jaké nepřesnosti mohou výsledek ovlivnit.

V další úloze by měli studenti na základě naměřených hodnot určit průměrnou hodnotu pro poměr sinů úhlů dopadu a lomu, kterou dále využijí pro dopočítání úhlu dopadu ze zadaného úhlu lomu. Svůj výsledek poté experimentálně ověří. Tato úloha je zde zařazena, aby studenti dále využili naměřené hodnoty, sami si stanovili postup pro splnění úkolu a uvědomili si možnost ověřování nejen svých hypotéz, ale i konkrétních výpočtů pomocí experimentu.

Další otázky vedou studenty k zamyšlení nad tím, z jakého důvodu mají svítit na střed půlválce, proč se paprsek neláme při výstupu z půlválce apod.

Poznámky: Problém u této úlohy by mohl nastat ve chvíli, kdy si jako jeden z úhlů dopadu studenti zvolí 0° , jelikož poměr sinů úhlů dopadu a lomu pak nelze určit. To se ale většinou nestává.

V tabulce 2 jsou uvedené hodnoty, které byly naměřeny se stejným půlválcem, jaký používají pro toto měření studenti. Ze Snellova zákona

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta, \quad (3.1)$$

kde n_1 je v našem případě index lomu vzduchu, který je roven přibližně jedné, a n_2 index lomu půlválce, je patrné, že poslední sloupec tabulky, tedy poměr sinů úhlu dopadu a úhlu lomu, nám udává naměřený index lomu půlválce pro jednotlivé úhly. Zprůměrováním těchto hodnot získáme index lomu půlválce $n_2 = (1,52 \pm 0,01)$, což odpovídá tabulkovým hodnotám indexu lomu skla. Takto malá chyba vyjde z naměřených hodnot při opravdu přesném měření. Studenti ale většinou tak pěkné výsledky nenaměří především pro to, že nemohou úloze věnovat tolik času a ani se na měření tolik nesoústředí. Největším zdrojem chyby je pak nepřesné odečítání úhlů dopadu i lomu a nedokonalé vycentrování půlválce.

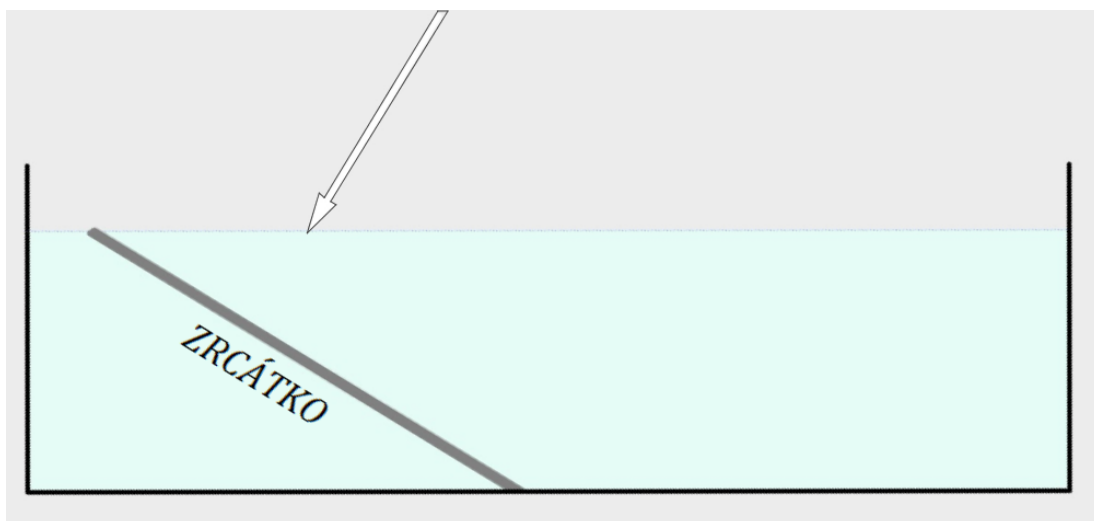
úhel dopadu α ($^\circ$)	úhel lomu β ($^\circ$)	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$
20	13	1,52
30	19	1,54
40	25	1,52
50	30	1,53
60	35	1,51
70	39	1,49

Tabulka 2: Naměřená data pro výpočet indexu lomu půlválce

3.1.4 Část 3: Disperze světla aneb kde se vzala duha

Pomůcky: Zelené laserové ukazovátko s vlnovou délkou 532 nm a výkonem 5 mW, červené s vlnovou délkou 650 nm a výkonem 5 mW, fialové s vlnovou délkou 405 nm a výkonem 19 mW, zrcátko, skleněný půlválec, kulové akvárium, lampička s žárovkou o výkonu 60 W, hranol, pastelky.

Třetí a zároveň poslední část tohoto stanoviště se zabývá disperzí světla. V první fázi studenti zkusí pomocí laserových ukazovátek o různých vlnových délkách, jestli záleží úhel lomu na barvě paprsku. Tento experiment pro ně nemusí být přesvědčivý, protože odchylky nejsou u lomu půlválcem na používaném úhloměru příliš patrné. I přesto zde má tento experiment svoje místo, mimo jiné i proto, že si díky němu studenti uvědomí, jak záleží na podmínkách a přesnosti měření.



Obrázek 3.3: Obrázek na zakreslení hypotézy o chodu bílého světla

Další úkol vede studenty k vytvoření hypotézy o chodu paprsku bílého světla skrz nádobu s vodou a zrcátkem při daném uspořádání. Svoji hypotézu zakreslují do připraveného obrázku (obrázek 3.3), kde většinou správně odhadnou, jak se bude paprsek lámat a odrážet, ale málokdy znázorní rozložení bílého paprsku na barevné složky. Přestože navazující experiment se provádí s kulovým akváriem, v tomto obrázku je nádoba tvaru kvádrů. Důvodem je zjednodušení daného problému, jelikož by pro studenty mohlo být mnohem náročnější vzít v potaz i tvar nádoby.

Svou hypotézu si studenti ověřují dalším experimentem. Na zrcátko ponořené v kulovém akváriu svítí lampičkou tak, aby se světlo z lampičky s bíle svítící žárovkou odrazilo na bílou stěnu. V závislosti na vzdálenosti akvária s lampičkou a náklonu

zrcátka se na stěně zobrazí hůře či lépe viditelná duha, tedy dochází k rozkladu světla (obrázek 3.4).

Kulové akvárium je zde zvoleno z toho důvodu, aby došlo ke spojení tohoto experimentu se skutečným jevem v přírodě, kde duha vzniká díky lomu na hranicích kapky, disperzi světla a totálnímu odrazu uvnitř.

Poznámky: Při zjišťování, jestli úhel lomu závisí na vlnové délce použitého laserového ukazovátka, by opět mohl nastat problém ve chvíli, kdy by si studenti zvolili úhel dopadu 0° . Úhel lomu by pak byl pro všechny barvy stejný, tedy také 0° , s tímto případem se ale nesetkáváme.



Obrázek 3.4: Vznik duhy

Při zakreslování chodu paprsku do obrázku 3.3 byl zvolen chod dopadající paprsku zprava, což nebývá příliš obvyklé a studenti na to nejsou zvyklí. Tuto drobnou změnu je vhodné občas zařadit i ve výuce, aby si studenti neautomatizovali pouze jeden směr a s ostatními si pak nedokázali poradit.

3.2 Totální odraz

3.2.1 Charakteristika stanoviště

Stanoviště, tvořené třemi částmi, které se zabývají jak teoretickými znalostmi, tak praktickým využitím tohoto jevu, si klade za cíl seznámit studenty s principem totálního odrazu.

3.2.2 Část 1: Totální odraz

Pomůcky: Malá skleněná nádoba na vodu ve tvaru kvádru, papírový úhloměr, zelené laserové ukazovátko s výkonem 5 mW a vlnovou délkou 532 nm.

První část tohoto stanoviště se zabývá ověřením fyzikální teorie totálního odrazu. Studenti nejdříve sledují chování paprsku při různých úhlech dopadu na rozhraní při přechodu z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí. Pro tuto úlohu je připravena nízká nádoba na vodu ve tvaru kvádru a papírový úhloměr. Ten si studenti sami podle konkrétní úlohy umístí pod nádobu a shora sledují chod paprsku.

Ve dvou bodech postupu mají zadané konkrétní úhly dopadu, při kterých zaznamenávají rozdíly v chování paprsku na rozhraní.

V dalším kroku hledají studenti konkrétní hodnotu mezního úhlu na rozhraní voda-vzduch. V tuto chvíli musí papírový úhloměr přesunout k okraji nádoby, aby se mezní úhel lépe hledal. Pokud by ho nechali uprostřed nádoby jako v předchozích krocích, vycházel by dopadající paprsek z rohu nádoby, což je pro měření velmi nepraktické. To studenti obvykle rychle odhalí a experiment tomu přizpůsobí.

Poslední otázka v této části zjišťuje, zda si studenti uvědomují, jak záleží totální odraz na směru chodu paprsku – kromě slovní formulace rovněž ověřují, že jimi určený mezní úhel platí pouze pro paprsek jdoucí z opticky hustšího prostředí do opticky řidšího prostředí.

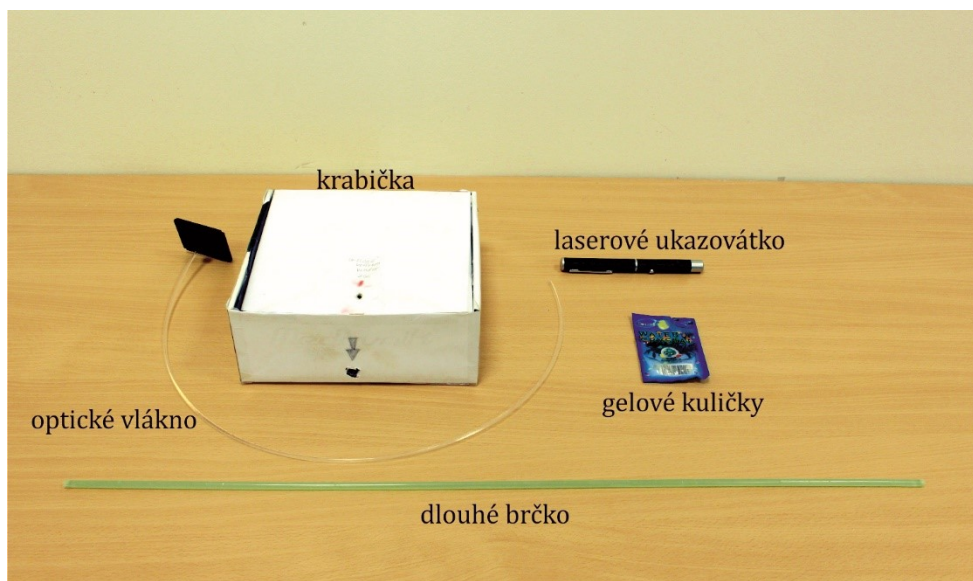
Poznámky: V jedné z prvních verzí pracovních listů byla zařazena úloha zaměřená na hledání mezního úhlu na rozhraní olej-voda, olej-vzduch. Tyto úlohy byly vyřazeny hned z několika důvodů. U rozhraní olej-vzduch se kvůli tvaru používané nádoby těžko hledal mezní úhel a úloha se stávala pro studenty časově velice náročnou. Vzhledem k podobnostem úlohy s hledáním mezního úhlu na rozhraní voda-vzduch nebyl tedy důvod tuto úlohu zanechat.

Rozhraní olej-voda jsme původně zařadili hlavně proto, aby studenti viděli, že pojmy optická hustota a objemová hustota látky nelze zaměňovat. Tedy, i když má voda větší objemovou hustotu než olej, u optických hustot těchto látek je to přesně naopak. Na rozhraní těchto dvou kapalin se ale po pár dnech opakovaně vytvořil povlak (jehož původ si zatím nedokážeme vysvětlit), který nepropouštěl laserový paprsek. Úloha by se tak musela chystat na každou návštěvu studentů znovu a stala by se vzhledem k množství použitého oleje (cca 0,5 litru) finančně i technicky náročnou. Pokud k tomu připočteme časovou náročnost přípravy i následné ekologické likvidace tohoto experimentu, začaly převažovat zápory této úlohy nad celkovou užitečností. Z tohoto důvodu byla nakonec úloha vyřazena.

3.2.3 Část 2: Optické vlákno

Pomůcky: Zelené laserové ukazovátko s výkonem 5 mW a vlnovou délkou 532 nm, metr dlouhé brčka, průhledné gelové kuličky, krabička, optické vlákno.

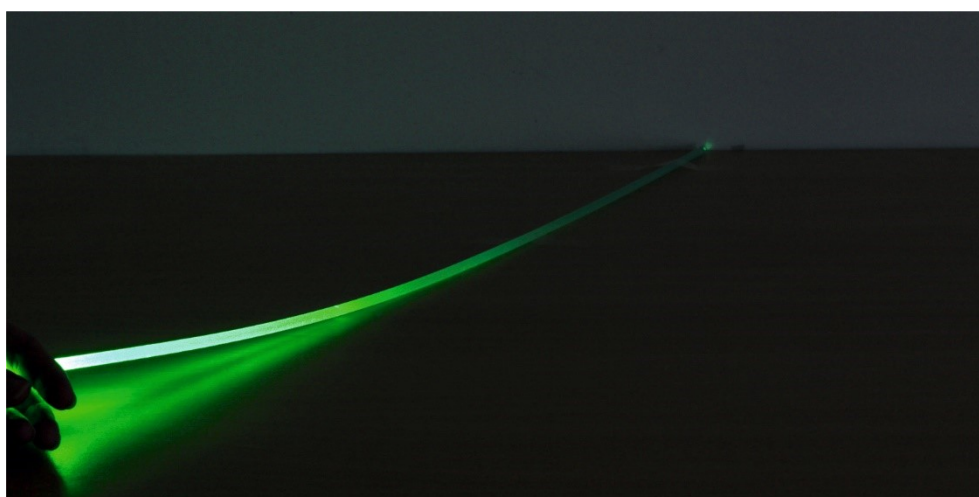
Ve druhé části se studenti seznamují s praktickým využitím totálního odrazu v optických vláknech. Nejdříve zkoumají model optického vlákna vyrobeného z dlouhého brčka, které nejprve naplníme vodou a zacpeme jednou gelovou kuličkou na jednom z konců. Kuličku několik málo minut (cca 2-5) přidržíme prstem, aby z brčka nevypadla a zároveň nám nevytekla voda. Když kulička dostatečně nabyde,



Obrázek 3.5: Pomůcky k druhé části stanoviště

vložíme další kuličku i na druhý konec brčka a opět necháme nabobtnat. Zabráníme tak postupnému tvoření vzduchových bublin a zajistíme si tím, že voda z brčka opravdu nevyteče, a to ani po několika dnech či týdnech.

Studenti mají na stanovišti tento model již připravený, jelikož příprava by jim zabrala příliš mnoho času. Laserovým ukazovátkem posvítí dovnitř a sledují chod paprsku rovným i mírně zahnutým brčkem. Jak je vidět na fotografii (obrázek 3.6), světlo prochází brčkem na druhý konec, ale intenzita světla vystupujícího z brčka je velmi malá.



Obrázek 3.6: Model optického vlákna z brčka

Tento experiment slouží ke znázornění chodu paprsku optickým vláknem. Studenti si většinou uvědomují, že jde o velice nedokonalý model, a to především z toho důvodu, že pokud by v brčku docházelo pouze k totálnímu odrazu, nemohli by paprsek z boku vidět.

Ve chvíli, kdy už mají studenti představu o tom, co se děje uvnitř optického vlákna, přichází na řadu experiment se skutečným optickým vláknem. Zatímco modelem z brčka by si studenti jen těžko posvítili do nějakého tmavého prostoru, skutečným vláknem to možné je. Aby se přesvědčili, je pro ně připravena krabice dlouhá přibližně 20 cm vyplněná černým neprůsvitným igelitem. Uvnitř krabice je na jedné vnitřní stěně přidělán nápis, na protilehlé stěně je vyříznut otvor pro oko a na vrchu otvor na optické vlákno. Optické vlákno studenti prostrčí správným otvorem do krabice, posvítí do něj laserovým ukazovátkem a zamíří na nápis. Tímto způsobem mohou přečíst nápis uvnitř krabice. U této úlohy je důležitá spolupráce studentů ve skupince, kdy jeden opatrně svítí do optického vlákna a další čte text uvnitř. Provést experiment je pro jednoho člověka bez spolupráce s ostatními velice náročné. Inspirace pro tento experiment byla čerpána ve sborníku *Veletrhu nápadů učitelů fyziky* (Horváthová, 2013).

Na závěr této části je studentům položena otázka: jak by se chovalo ideální optické vlákno. V tuto chvíli jsou studenti (i ti, kteří si u experimentu s brčkem neuvědomili jeho nedokonalost) schopni zformulovat správnou odpověď především díky porovnání předešlých dvou experimentů.

Poznámky: Používané gelové kuličky, tzv. vodní perly, slouží jako dekorace či náhrada za vodu pro řezané květiny, dají se tedy sehnat ve vybraných květinářstvích, obchodech s dekoracemi či na internetu.

V prvních verzích pracovního listu si studenti tvořili model optického vlákna sami. Konce brčka naplněného vodou utěsnili pomocí čtverce vystřiženého z igelitového sáčku a gumičky. Velikým nedostatkem při tomto experimentu bylo, že laserový paprsek se při průchodu igelitovým sáčkem výrazně rozptyloval a za něj už prošla jen velice malá část intenzity. Sáčky se také často nepodařilo správně utěsnit a voda vytékala z brčka ven.

3.2.4 Část 3: Fata morgána

Pomůcky: Velká a malá skleněná nádoba tvaru kvádru, zelené laserové ukazovátko s výkonem 5 mW a vlnovou délkou 532 nm, svíčka, zápalky, cukr.

Třetí část se zaměřuje na totální odraz, jak ho známe z přírody. V prvním experimentu, který je hrubým přiblížením principu fata morgany, studenti sledují zesponu vodní hladinu v nádobě tak, aby viděli hořící svíčku umístěnou za nádobou (Svoboda a kol. 2001, s. 24). Převrácený obraz svíčky pak zakreslují do připraveného obrázku. Náš mozek předpokládá přímočarý chod paprsků, proto se zdá, že se svíčka vznáší vzhůru nohama nad hladinou.



Obrázek 3.7: Pomůcky ke třetí části stanoviště

Lepší znázornění fata morgány umožňuje další experiment pomocí velké nádoby ve tvaru kvádru. Do této nádoby nalijeme přibližně 2,5 l vody. Do kádinky si připravíme cca 50 g cukru, zalijeme 50 ml horké vody a pořádně promícháme. Takto vytvořený cukerný roztok pomalu vlijeme do nádoby s vodou. Nejlepší je vlévat roztok po stěně nádoby, aby se roztok s vodou příliš nepromíchaly. Získáme tak prostředí, jehož optická hustota je největší u dna a nejmenší u hladiny. S nádobou už bychom neměli dále hýbat, ani kapalinu uvnitř nijak míchat, jinak by se experiment nepovedl (Boxan, 2015).

Laserovým paprskem svítí studenti mírně nahoru skrz boční stěnu nádoby a pozorují trajektorii paprsku, která se díky různým optickým hustotám v kapalině postupně zakřivuje směrem dolů, následně zakreslují chod paprsku do připraveného



Obrázek 3.8: Mírné zakřivení laserového paprsku

obrázku. V pracovním listu se nachází informace o tom, že v nádobě je voda s cukerným roztokem, není zde však nic o přípravě experimentu. Na základě pozorování a teoretického úvodu v této části jsou studenti i přesto schopni vlastními slovy v dalším úkolu zformulovat, proč se laserový paprsek zakřivuje.

Poznámky: Často se v této části stávalo, že studenti dělali experiment se svíčkou pomocí nádoby s vodou a cukerným roztokem a nabývali tak špatného dojmu, že odraz svíčky vidí také jen díky cukernému roztoku. Tomu se ale podařilo předejít díky úpravě obrázků v pracovním listě a přidáním popisků s číslem úkolu na jednotlivé nádoby.

V literatuře se často setkáváme s nákresem totálního odrazu nějakého předmětu od vodní hladiny. Většina autorů však zanedbává lom světla při průchodu stěnou nádoby, jelikož pro samotný experiment není tak podstatný. Pokud bychom ale chtěli využít celý potenciál tohoto experimentu, můžeme se o tom se studenty pobavit. Z tohoto důvodu se podrobný náčrt objevuje i v autorském řešení pracovních listů.

3.2.5 Teoretický přesah

Pracovní list je orientován na středoškolské studenty, proto se zde neuvažují některé jevy spojené s totálním odrazem. Při uvažování okrajových podmínek pro vektory elektromagnetického pole bychom získali i v případě totálního odrazu vlnu, která se šíří podél rozhraní a jejíž amplituda se vzdáleností od rozhraní exponenciálně klesá. Tato vlna je utlumena přibližně ve vzdálenosti odpovídající její vlnové délce a lze ukázat, že energetický tok spojený s touto vlnou je nulový ve směru kolmém k rozhraní. Tento jev se nazývá evanescentní vlna (Malý 2014, s. 61-62).

3.3 Interference a difrakce světla

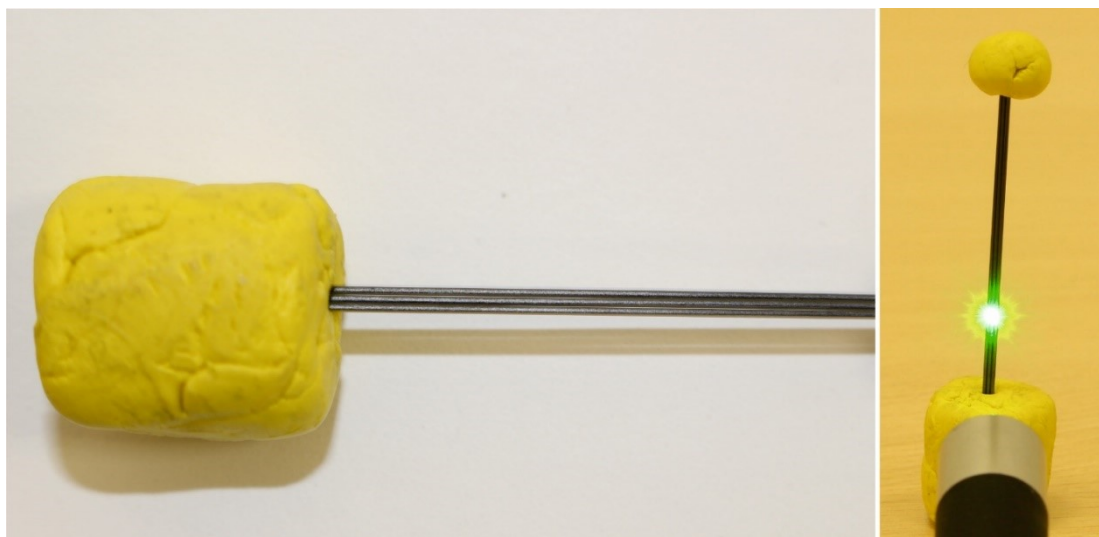
3.3.1 Charakteristika stanoviště

Cílem tohoto stanoviště je seznámit studenty s interferencí a difrakcí světla. V první části se setkají s jednoduchým ztvárněním historického Youngova experimentu. Další dvě části se týkají difrakce světla na tenkém drátku a optické mřížce.

3.3.2 Část 1: Youngův experiment

Pomůcky: Modelína, tuhy do mikrotužky, zelené laserové ukazovátko s vlnovou délkou 532 nm a výkonem 5 mW, červené laserové ukazovátko s vlnovou délkou 650 nm a výkonem 5 mW.

Během první části tohoto stanoviště si studenti vyzkouší napodobit historicky významný Youngův experiment, kterým v roce 1801 Thomas Young prokázal, že má světlo povahu elektromagnetického vlnění. V našem případě používáme pro experiment laserové ukazovátko a tři tuhy do mikrotužky. Pomocí modelíny jsou tuhy zafixovány tak, aby byly všechny rovnoběžné a těsně vedle sebe (obrázek 3.9 vlevo). Při posvícení laserovým ukazovátkem na tuhy proti stěně (obrázek 3.9 vpravo), jak to vyžaduje první úkol této části, nám nepatrné mezery mezi tuhami nahrazují dva zdroje koherentních vlnění, která spolu budou interferovat a na stěně vznikne interferenční obrazec složený ze světlých a tmavých proužků.

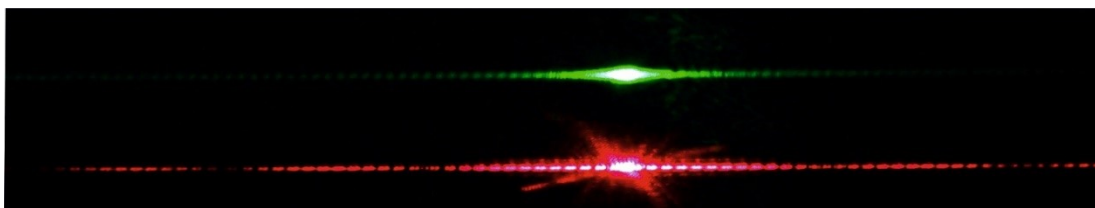


Obrázek 3.9: Vlevo detail tuh zafixovaných modelínou, vpravo uspořádání experimentu

V dalším úkolu studenti zjišťují, jak závisí podoba interferenčního obrazce na vlnové délce použitého laseru při zachování vzdálenosti tuh od stěny. Pro tento případ je na stanovišti k dispozici laserové ukazovátko červené barvy. Jelikož vzdálenost sousedních maxim Δy závisí na vlnové délce λ přímo úměrně podle vztahu

$$\Delta y = \lambda \frac{l}{d}, \quad (3.2)$$

kde d je vzdálenost štěrbin mezi tuhami a l vzdálenost tuh od stěny, maxima interferenčního obrazce se při použití červeného laseru oproti zelenému od sebe více vzdálí (obrázek 3.10).



Obrázek 3.10: Interferenční obrazce při použití zeleného a červeného laseru

Poznámky: V prvním úkolu se často stává, že si studenti umístí tuhy pouze několik centimetrů od stěny. Jelikož vzdálenost maxim interferenčního obrazce závisí na vzdálenosti od stínítka přímo úměrně, není obrazec v takovém případě téměř vidět. V tomto případě jim poradíme, že by mohlo být vhodné zkusit i vzdálenější stěny.

Pro tyto experimenty není vhodné používat zdroje laserového záření s větším výkonem, jelikož tuhy příliš přesvítí a obrazec na stěně pak zaniká. Stejně tak zdroje s malým výkonem nejsou vhodné, jelikož obrazec je pak vidět pouze slabě.

V jedné z prvních verzí pracovního listu byl zařazen experiment s interferencí na mýdlové bublině, tedy tenké vrstvě, s čímž je možné se v životě běžně setkat. Tento experiment se studentům často nedařil a docházelo i ke špatnému výkladu tohoto jevu, kdy si ho mnohdy chybně vysvětlovali pouze jako disperzi světla. Z těchto důvodů byl experiment pro naše účely označen jako nepřínosný a následně z pracovních listů vyřazen. Na jeho místo byl pak zařazen experiment s porovnáváním interferenčních obrazců v závislosti na vlnové délce použitého laserového ukazovátka.

3.3.3 Část 2: Difrakce světla na tenkém drátku

Pomůcky: Zelené laserové ukazovátka s vlnovou délkou 532 nm a výkonem 5 mW, dva drátky různé tloušťky, držák na drátek (vytištěný na 3D tiskárně), stativ na uchycení laserového ukazovátka, stativ na uchycení držáku s drátkem.



Obrázek 3.11: Pomůcky k druhé části stanoviště

Další část tohoto stanoviště se zabývá pouze difrakcí světla na tenkém drátku. Pro tento účel jsme nechali na 3D tiskárně vytisknout speciální rámeček na uchycení drátku, který lze snadno přichytit do stativu.

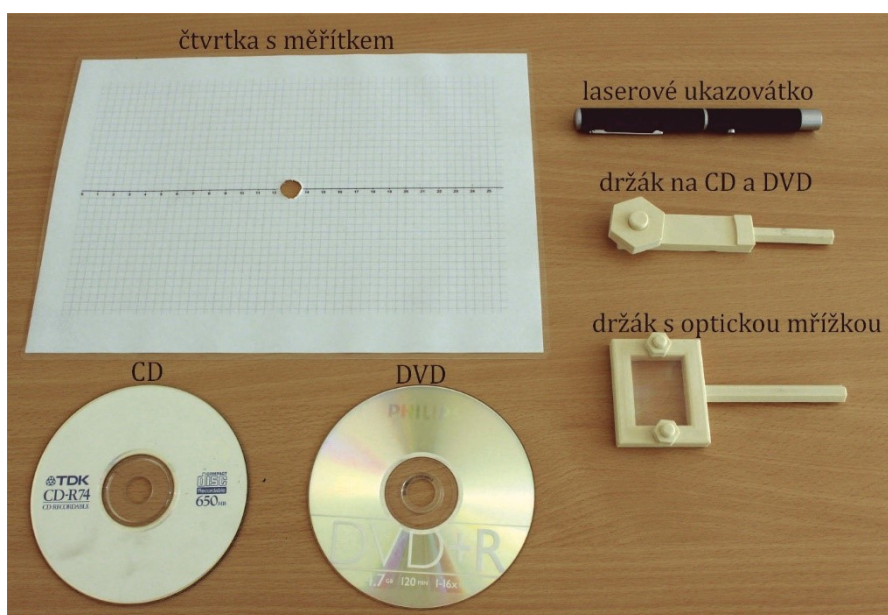
Experiment začíná s tenkým drátkem umístěným v držáku zhruba 2 metry od zdi, která slouží jako stínítko. Na tento drátek posvítí studenti laserem uchyceným ve stativu. Jejich úkolem je popsat obrazec na stěně. V dalších úkolech zkoumají, jak se obrazec změní oproti původnímu, pokud přisunou držák s drátkem blíže ke stěně nebo vymění drátek za širší.

3.3.4 Část 3: Difrakce světla na optické mřížce

Pomůcky: Zelené laserové ukazovátko s vlnovou délkou 532 nm a výkonem 5 mW, optická mřížka v držáku (vytištěno na 3D tiskárně), zalaminovaná čtvrtka s měřítkem, CD, DVD, držák na CD a DVD (vytištěno na 3D tiskárně), stativ na uchycení laserového ukazovátko, stativ na uchycení držáku na CD a DVD.

V poslední části se studenti setkají s difrakcí světla na optické mřížce. Nejdříve zkoumají tento jev kvalitativně, kdy dostanou do ruky optickou mřížku ve vytisknutém držáku a svítí skrz ni laserovým ukazovátkem na stěnu. Obrazec na stěně se oproti předchozím částem výrazně změní, interferenční maxima jsou velice úzká a se zmenšující se mřížkovou konstantou b použité optické mřížky se zvětšuje jejich vzdálenost.

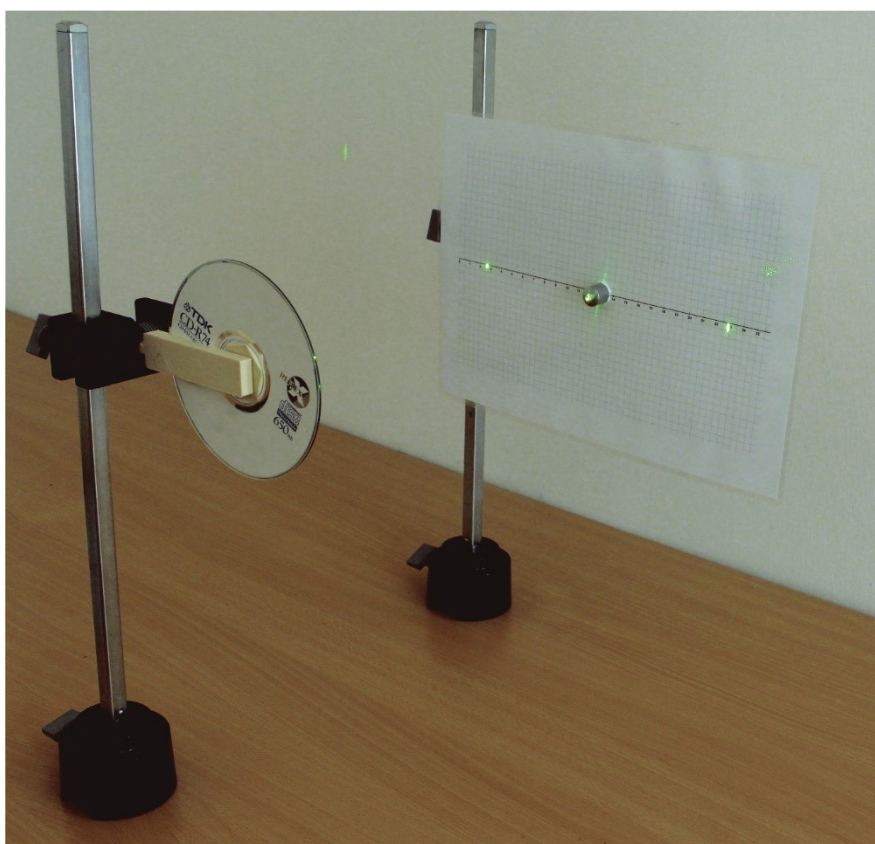
Studenti nejdřív zkoumají samotný obrazec při difrakci na optické mřížce, vliv vzdálenosti mřížky od stěny a vliv orientace optické mřížky na podobu vzniklého obrazce na stěně.



Obrázek 3.12: Pomůcky ke třetí části stanoviště

Po kvalitativním seznámení s difrakcí na optické mřížce následuje kvantitativní experiment. Úkolem studentů je v první řadě z experimentálních dat vypočítat mřížkovou konstantu CD a následně i DVD. Jako stínítko se tentokrát používá zalaminovaná čtvrtka rozměru A4 s připraveným měřítkem pro jednodušší měření a vystřiženým otvorem pro snadné nasazení na laserové ukazovátko.

Studenti si dle pokynů sestaví experiment tak, aby zalaminovaná čtvrtka na ukazovátku byla umístěna rovnoběžně s diskem, laserový paprsek mířil do středu záznamu na disku a maximum 0. řádu splývalo s paprskem vystupujícím z ukazovátka. Čtvrtku lze natočit tak, aby měřítko procházelo oběma maximy 1. řádu, a odečíst jejich vzdálenost (obrázek 3.13).

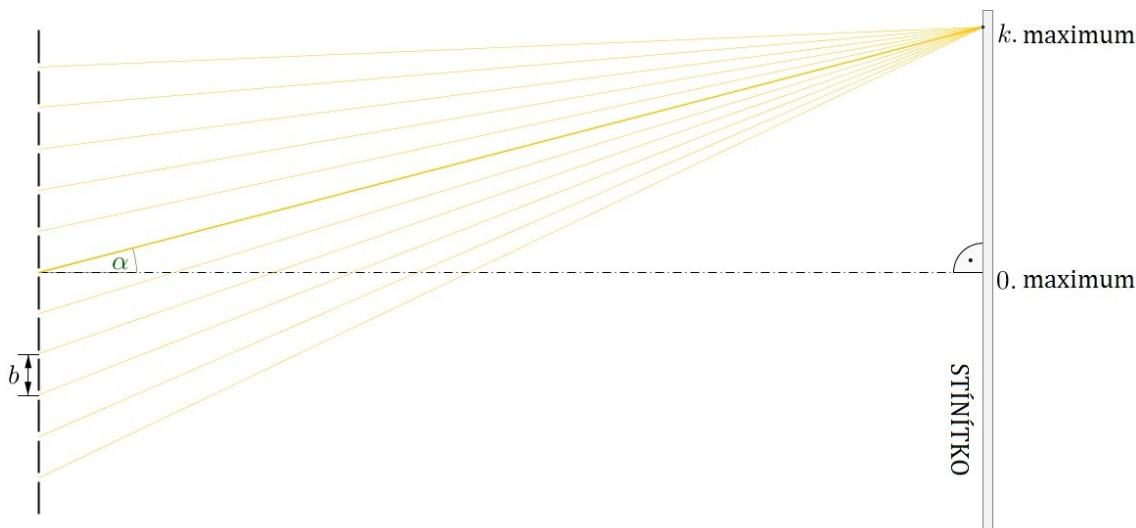


Obrázek 3.13: Uspořádání experimentu s laserem vystupujícím ze středu čtvrtky

Vzdálenost sousedních štěrbin b , nazývanou mřížková konstanta, lze určit ze vztahu

$$b \sin \alpha = k\lambda, \quad (3.3)$$

kde $k = 0, 1, 2, \dots$ je řád difrakce a λ vlnová délka použitého světla. K určení úhlu α slouží jako návod obrázek 3.14, na jehož základě studenti sami vyhodnotí, které vzdálenosti by měli proměřit, aby mohli pomocí vztahu (3.3) dopočítat mřížkovou



Obrázek 3.14: Difrakce světla na optické mřížce

konstantu CD a poté DVD. V závěru pak z těchto hodnot určí počet drážek, které připadají na jeden milimetr.

Poznámky: Pro zvolenou vzdálenost CD od stínítka $l = 22,5$ cm byla naměřena vzdálenost maxima 0. a 1. řádu $y = 8$ cm. Upravením vztahu (3.3) a dosazením těchto hodnot vychází mřížková konstanta CD $b \doteq 1588$ nm, na 1 mm tedy náleží přibližně 629 drážek.

Při měření mřížkové konstanty DVD musíme zvolit menší vzdálenost DVD od stínítka, abychom mohli maxima 1. řádu na toto stínítko zobrazit. Při zvolené vzdálenosti $l = 9$ cm byla vzdálenost maxima 0. a 1. řádu $y = 9,5$ cm. Po dosazení vychází mřížková konstanta pro DVD $b \doteq 733$ nm a na 1 mm tak připadá 1365 drážek.

Uváděná hodnota vzdálenosti drážek na CD je 1600 nm, na 1 mm tedy připadá 625 drážek. U DVD se uvádí vzdálenost drážek 740 nm, na 1 mm tedy připadá 1351 drážek. Při tomto uspořádání se dá experiment provést natolik přesně, že se vypočtená a naměřená hodnota mřížkové konstanty CD i DVD nelišila více jak o 1 % (viz uvedený výpočet výše), studenti ale často neměří potřebné údaje s takovou přesností a více při svých výpočtech zaokrouhlují. I tak je ale většinou odchylka jejich výsledku od uváděné hodnoty menší jak 5 %.

3.4 Polarizace světla

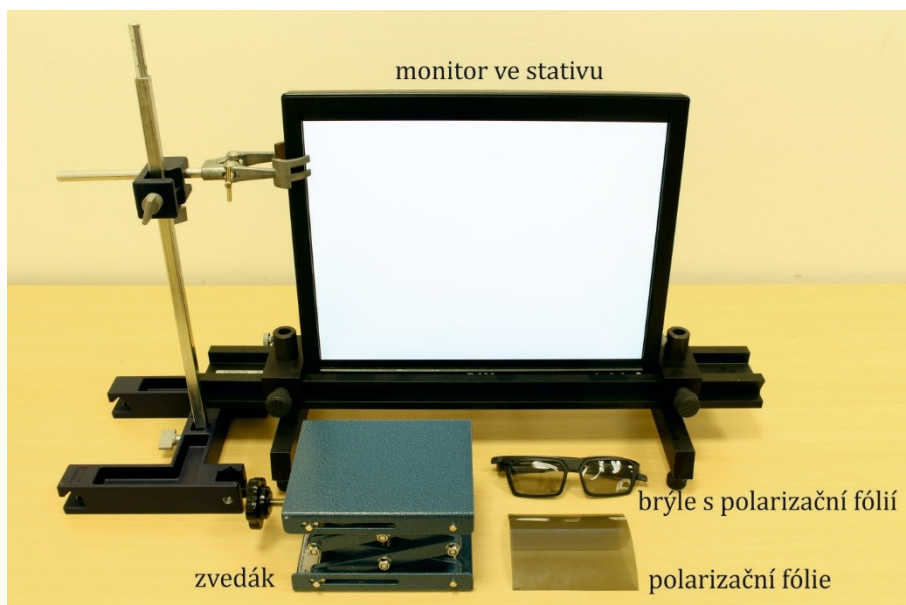
3.4.1 Charakteristika stanoviště

Poslední stanoviště si klade za cíl seznámit studenty s polarizací světla. Nejde zde ani tak o zvládnutí jevu po jeho teoretické stránce, ale o nastínění několika

možností praktického využití, se kterými se často nevědomky setkáváme v běžném životě.

3.4.2 Část 1: Polarizované světlo

Pomůcky: Tři kusy polarizační fólie, brýle s polarizačními fóliemi, monitor, zvedák.

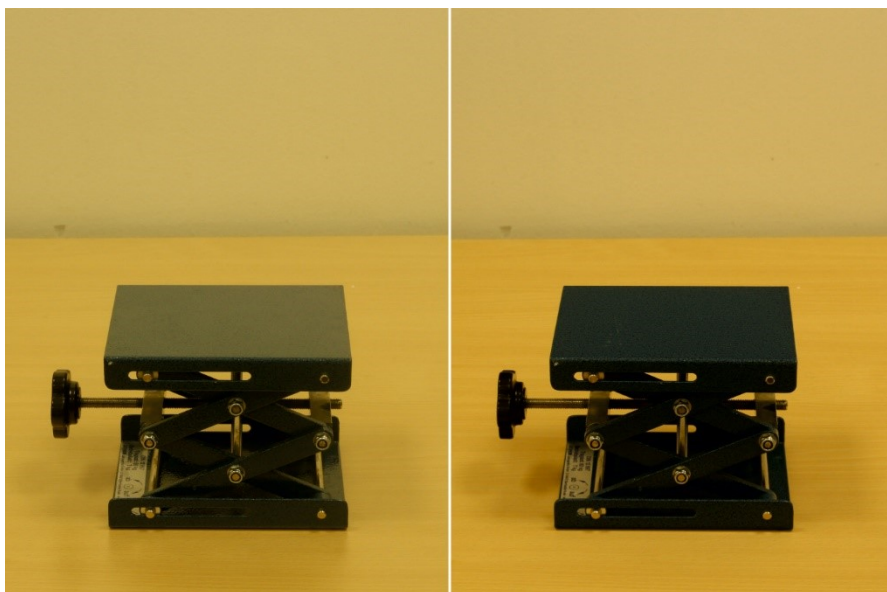


Obrázek 3.15: Pomůcky k první části stanoviště

Prvním úkolem studentů na tomto stanovišti je seznámit se s polarizačními fóliemi a naučit se s nimi rozeznat lineárně polarizované světlo. K tomu zde mají několik kusů těchto folií vystřižených do tvaru čtverce o délce strany 8 cm, u kterých nejdříve zjišťují, kdy jsou vůči sobě orientovány stejně a kdy jsou vůči sobě otočené o 90° . Dalším úkolem je zjistit, co se bude dít, pokud mezi dvě polarizační fólie, které jsou vůči sobě otočené o 90° , vložíme třetí fólii.

Pro další úkoly jsou na stanovišti připraveny čtyři speciálně upravené polarizační brýle. K tomu byly použity brýle, které se dají zakoupit v multiplexu Cinema City ke vstupence na film ve formátu 3D. Tato společnost využívá systém Master Image 3D, který funguje na bázi kruhové polarizace, čemuž odpovídají i folie v poskytovaných brýlích. Původní fólie byla proto z brýlí vyjmuta a nahrazena dvěma kusy lineární polarizační fólie, které byly vystřiženy tak, aby byly stejně orientované na pravém i levém oku. Studenti si nasadí brýle a nakloněním hlavy k rameni zjistí, které zdroje světla v jejich okolí vysílají lineárně polarizované světlo.

Mezi zkoumanými zdroji je i bílé svítící LCD monitor, což lze zařídít spuštěním prázdného snímku v PowerPointu. Zjištění, že monitor je zdrojem lineárně polarizovaného světla, je důležité pro další experimenty, kde se právě tento fakt



Obrázek 3.16: Fotografie zvedáku vlevo bez polarizačního filtru, vpravo s filtrem

využívá. Proto je vždy potřeba, aby někdo z dohlížejících lektorů včas ověřil, že si studenti tento fakt uvědomují, jinak by mohlo dojít k nepochopení navazujících úkolů.

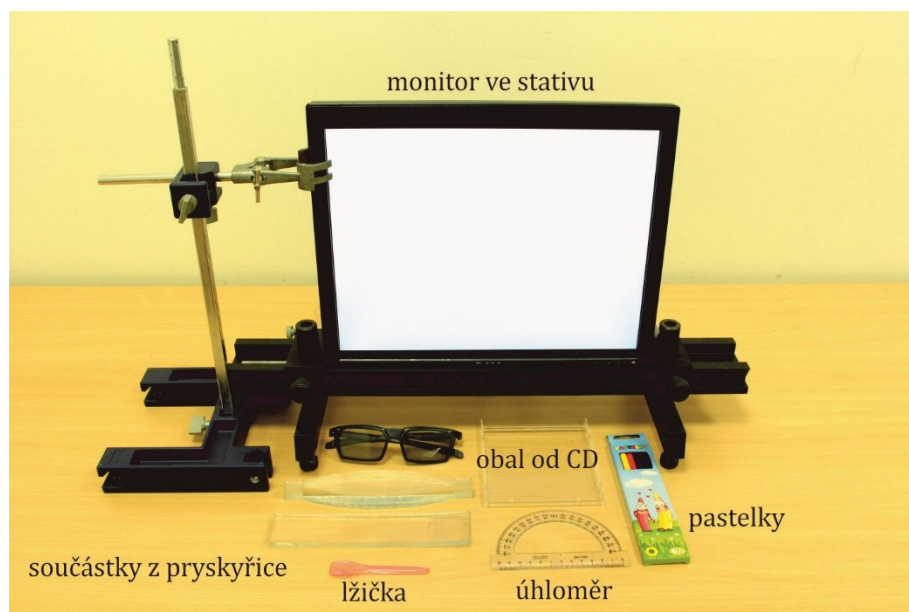
Cílem dalšího úkolu je objevit, že polarizace světla odrazem závisí na úhlu dopadu a povrchu, od kterého se světlo odráží. Poslední úkol této části ukazuje studentům praktické využití polarizačních filtrů při fotografování, kdy studenti zkouší udělat fotografii zvedáku přes polarizační fólii tak, aby na něm nebyly vidět odrazy světla (obrázek 3.16)

Poznámky: V dnešní době je v různých firmách velmi moderním trendem používání vlastních chytrých zařízení, označované jako BYOD (z anglického výrazu Bring your own device). V našem případě využívají studenti své mobilní telefony k fotografování zvedáku přes polarizační filtr, jelikož na stanovišti vždy pracuje skupinka tří nebo čtyř studentů, a proto se dá předpokládat, že se v každé skupince nějaký mobil s fotoaparátem najde.

3.4.3 Část 2: Fotoelasticimetrie

Pomůcky: Brýle s polarizačními fóliemi, monitor, průhledný obal od CD, úhломěr z průhledného plastu, průhledná plastová lžička, součástka z pryskyřice, eventuálně další průhledné plastové předměty.

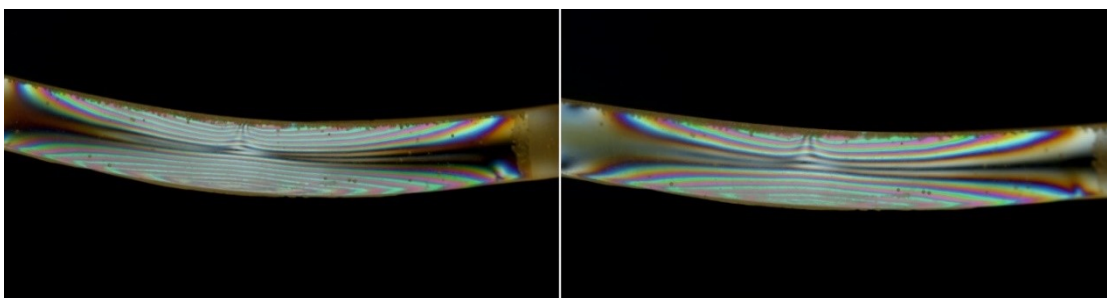
Druhá část tohoto stanoviště se zabývá fotoelasticitami – metodou, která zkoumá rozložení mechanického napětí v materiálu. Studenti nejprve sledují přes polarizační brýle různé pomůcky z průhledného plastu proti bílé svítícímu monitoru. Ten zde vystupuje jako zdroj lineárně polarizovaného světla, což si studenti ověřili



Obrázek 3.17: Pomůcky k druhému stanovišti

v první části stanoviště. Na základě teoretického úvodu vyhodnocují, v kterých místech jsou jednotlivé pomůcky nejvíce namáhány, a zakreslují tato místa do připravených obrázků.

Následující úkol zkoumá změnu mechanického napětí v pružné součástce z pryskyřice, která byla původně určena jako spojná čočka do demonstrační sady pro výuku optiky (Havlíček, Ryston, 2016). Studenti opět sledují přes brýle proti monitoru tuto součástku, tentokrát ji ale různě namáhají a ohýbají. Tato součástka má tendenci vracet se do původního tvaru, přičemž se mění mechanické napětí a s tím spojené obrazce z interferenčních proužků uvnitř součástky (obrázek 3.18).

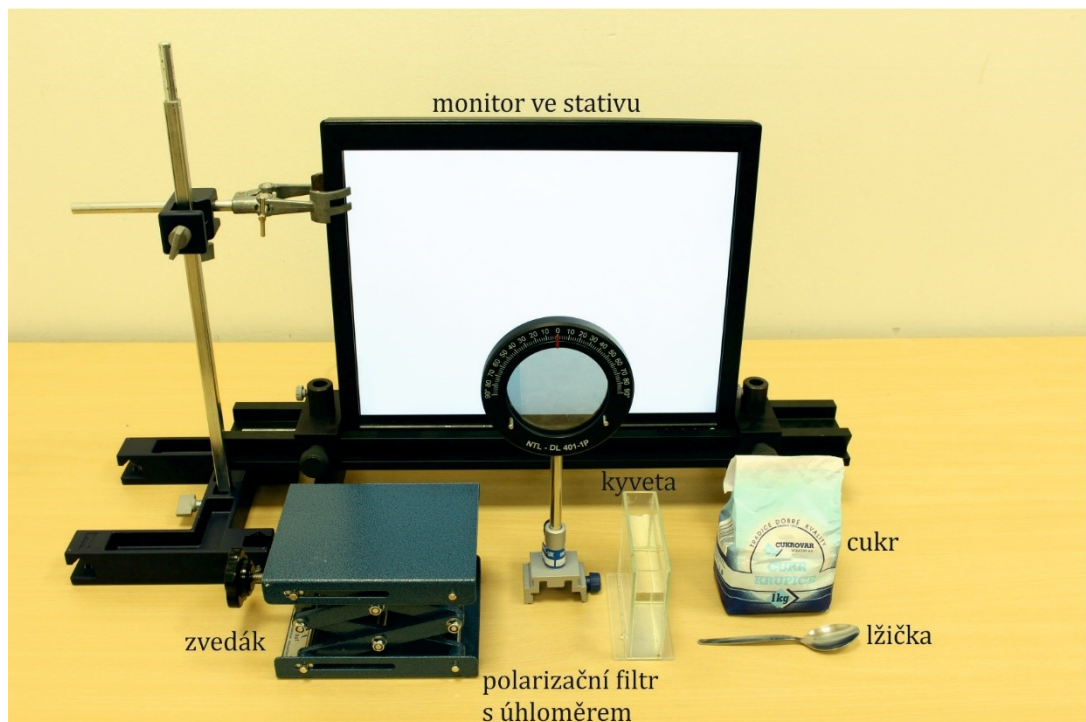


Obrázek 3.18: Mechanické napětí v součástce z pryskyřice při změně tvaru

3.4.4 Část 3: Stáčení roviny polarizace

Pomůcky: Polarizační fólie s úhломěrem, monitor, kyveta, cukr krupice.

V poslední části tohoto stanoviště studenti proměřují stáčení roviny polarizace v závislosti na množství přidaného cukru do kyvety s vodou. Jako zdroj polarizovaného světla se v tomto úkolu opět používá bíle svítící monitor. Pro měření úhlu stočení je zde k dispozici otočný polarizační filtr s úhломěrem. Mezi tento filtr



Obrázek 3.19: Pomůcky ke třetí části stanoviště

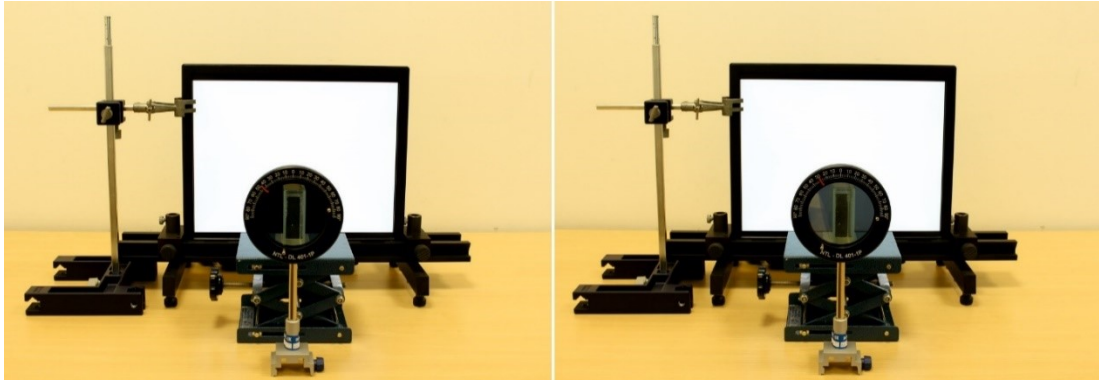
a monitor studenti umístí na zvedák kyvetu s vodou, filtr natočí tak, aby intenzita procházejícího světla byla minimální, a z úhlooměru odečtou aktuální hodnotu tohoto úhlu.

Do kyvety postupně přidávají lžičkou cukr a snaží se zachovávat stejné množství přidaného cukru. Po každé přidané lžičce filtr nastaví tak, aby intenzita prošlého světla byla opět minimální, odečtou úhel z úhlooměru a do připravené tabulky zaznamenají změnu úhlu od výchozí hodnoty, než do kyvety s vodou začali přidávat cukr. Tento postup je opakován až do přidání celkem šesti lžiček cukru. Z naměřených dat v tabulce zpracují graf závislosti úhlu stočení roviny polarizace na počtu lžiček přidaného cukru. Na základě grafu jsou schopni vyhodnotit tuto závislost jako lineární. Ve skutečnosti jde dokonce o přímou úměru, jelikož úhel stočení roviny polarizace α při průchodu opticky aktivním roztokem závisí na koncentraci tohoto roztoku c podle vztahu:

$$\alpha = \rho cd, \quad (3.4)$$

kde ρ je měrná stáčivost látky a d dráha, kterou světlo v látce urazí.

Poznámky: Velice se osvědčilo na tento úkol využívat teplou vodu, kterou si studenti podle potřeby můžou přehřát v rychlovarné konvici, aby se mohl cukr rychleji rozpustit. Experiment byl vyzkoušen ze stejného důvodu i s moučkovým cukrem, ale úhel stočení pak nebyl měřitelný, pravděpodobně z toho důvodu, že do



Obrázek 3.20: *Uspořádání experimentu – vlevo kyveta bez cukru, vpravo s 6 lžičkami cukru*

moučkového cukru se kvůli zachování jeho konzistence přidává značné množství škrobu.

Vzhledem k tomu, že nepoužíváme k měření polarimetr, nedařilo se při tomto jednoduchém uspořádání experimentu naměřit přesné výsledky, které by se blížily tabulkovým hodnotám měrné stáčivosti pro sacharózu. Měření ovlivňuje příliš mnoho faktorů, jako je např. teplota a stáří zkoumaného roztoku, vlnová délka použitého polarizovaného světla i typ rozpouštědla. K měření je navíc použit úhломěr, na kterém je velikost nejmenšího dílku 2° , chyba měřidla je tak opravdu veliká. Přestože naměřené měrná stáčivost neodpovídá tabulkovým hodnotám, lineární závislost úhlu stočení roviny polarizace na koncentraci roztoku vychází v každém případě velice pěkně, a to i studentům při nepřesném měření.

3.4.5 Teoretický přesah

Lineárně polarizované světlo můžeme získat pomocí polarizační fólie. Elektrickou složku intenzity dopadajícího světla můžeme rozložit do směru polarizace a do směru k ní kolmého (Strumienský, 2006). Intenzita bude v průběhu času v obou směrech stejná, fólie však propustí jen složku ve směru polarizace a kolmá složka bude pohlcena. V důsledku toho se při průchodu polarizační fólií nepolarizované světlo zeslabuje na polovinu původní intenzity.

V případě dvou fólií za sebou se intenzita prošlého světla I řídí Malusovým zákonem

$$I = I_0 \cos^2 \varphi, \quad (3.5)$$

kde I_0 je intenzita polarizovaného světla prošlého první fólií a φ je úhel vzájemného natočení fólií. Pokud tedy přidáme mezi dvě polarizační fólie, které jsou vůči sobě kolmé, třetí fólii, můžeme výslednou intenzitu získat pomocí dvojité aplikace Malusova zákona. Po dosažení různých úhlů zjistíme, že nejvíce světla projde, pokud

bude prostřední polarizační fólie s oběma svírat úhel 45° a nejméně, pokud bude orientovaná jako jedna z původních dvou (Strumienský, 2006).

Podle (3.5) by intenzita prošlého světla při průchodu dvěma kolmo natočenými polarizačními fóliemi měla být nulová, ve skutečnosti k tomu ale nedochází a část světla i v tomto případě projde. To se využívá k určení kvality polarizačních fólií.

3.5 Zavedení optiky do IFL

Pracovní listy pro novou sadu experimentů z optiky vznikaly v období od ledna do září roku 2016. Po jejich dokončení byli požádáni RNDr. Stanislav Gottwald a Mgr. Jaroslav Reichl, aby přišli se svými studenty navštívit IFL a pomohli odhalit nedostatky jednotlivých stanovišť.

Tyto pilotáže s účastí celkem 25 studentů proběhly během října a začátku listopadu roku 2016 za přítomnosti autorky a vedoucího práce. Bylo tak možné vyzorovat, které experimenty jsou náročné na provedení, či postrádají zamýšlený smysl. Na základě toho byly provedeny různé úpravy v pracovních listech, pozměněny některé nejasné formulace a vyřazeny experimenty, které nesplňovaly svůj účel. Některé zásadní změny byly zmíněny v popisech jednotlivých stanovišť výše.

Po těchto pilotážích byl tematický celek *Optika* nabídnut i veřejnosti. Do konce dubna 2017 prošlo touto experimentální sadou celkem 142 studentů z devíti různých škol. Ve většině případů byla přítomna autorka práce, aby bylo možné dále odhalovat drobné nedostatky především ve formulacích v pracovních listech. Tyto úpravy už však nebyly pro výslednou podobu pracovních listů nijak zásadní.

4. Výzkum vlivu návštěvy Interaktivní fyzikální laboratoře

4.1 Cíle výzkumu

Po spuštění nové experimentální sady složené ze čtyř stanovišť zaměřených na optiku přišlo na návštěvu této sady od října 2016 do dubna 2017 celkem 142 středoškolských studentů. Při tomto počtu návštěvníků je na místě zjistit, jaký přínos má samotné experimentování studentů v Interaktivní fyzikální laboratoři pro jejich porozumění vybraným konceptům, se kterými se při své návštěvě setkají.

4.2 Metodologie výzkumu

Pro potřeby výzkumu byl zvolen kvalitativní přístup s designem zakotvená teorie. Tento design má za cíl generovat novou teorii zakotvenou v datech (Švaříček, Šed'ová a kol., 2014). Metodou sběru dat byl dotazník s otevřenými otázkami (příloha 2), který byl vytvořen a následně vyhodnocen pomocí kódování tří nezávislých výzkumníků.

Výzkumu se účastnilo celkem 46 studentů ze dvou pražských gymnázií, z nichž 39 navštívilo IFL, a to ve třech různých skupinách.

4.3 Průběh návštěvy IFL

První skupina 15 studentů navštívila IFL 19. ledna 2017. Šlo o nestandardní návštěvu, která proběhla mimo klasický čas, ve který IFL obvykle funguje. Před návštěvou IFL byli studenti na *Fyzikálních pokusech pro střední školy z optiky* pořádaných Katedrou didaktiky fyziky na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy.

Studenti byli rozděleni do čtyř skupinek, z nichž dvě experimentovaly na stanovištích Zákon odrazu a lomu světla a Totální odraz, zbylé dvě na stanovištích Interference a difrakce světla a Polarizace světla. Díky tomuto rozdělení se vždy jedna část studentů setkala v naší laboratoři se dvěma ze čtyř fyzikálních konceptů, které dotazník zkoumal. Těmito koncepty jsou vznik duhy, princip funkce optického vlákna, dvojšterbinový experiment a stačení roviny polarizace pomocí opticky aktivních látek. Mohli jsme tak porovnávat odpovědi studentů, kteří se s daným konceptem v IFL setkali, s těmi, kteří se s ním v IFL nesetkali, nebo IFL nenavštívili vůbec.

Dotazník byl v této skupině zadán během jejich výuky s odstupem šesti týdnů, tj. 2. března 2017. Z důvodu různých akcí na škole, jako např. příprava maturitního plesu této třídy, nemohl být dotazník zadán dříve, jelikož by se nesešlo příliš mnoho studentů. Zadání se účastnilo všech 15 návštěvníků IFL a 6 dalších studentů z této třídy. Čas na vyplnění dotazníku nebyl nijak omezen, všichni studenti ho ale vyplnili do 25 minut.

Další dvě skupiny po 16 a 11 studentech přišly ve standardní čas 6. března 2017. Za účelem výzkumu jsme je opět rozdělili do čtyř skupinek, z nichž dvě experimentovaly na stanovištích Zákon odrazu a lomu světla a Totální odraz, zbylé dvě na stanovištích Interference a difrakce světla a Polarizace světla. Dotazník, který byl po prvním zadání zhodnocen jako vhodný nástroj pro tento výzkum, byl zadán během výuky tentokrát s odstupem jen tří týdnů, tj. 27. března 2017, a účastnilo se ho pouze 24 studentů z 27 příchozích a 1 student, který IFL nenavštívil.

Během zadávání a vyplňování dotazníků byla po celou dobu přítomna autorka práce. Studenti byli seznámeni s účelem výzkumu a několika pravidly pro vyplnění, jako je např. zákaz opisování.

Otázka	Kód	Odpověď
1.	A	Student popíše všechny jevy, ke kterým dochází ve vodní kapce při vzniku duhy, ve správném pořadí.
	B	Student zmíní odraz, lom i disperzi světla.
	C	Student uvede právě dva jevy potřebné pro vznik duhy.
	D1	Student zmíní disperzi/rozklad světla nebo ho vlastními slovy popíše.
	D2	Student zmíní lom světla.
	D3	Student zmíní odraz světla.
	E	Student uvede chybné nebo neuvede žádné vysvětlení.
2.	F	Student zmíní totální odraz.
	G	Student zmíní pouze odraz.
	H	Student uvede chybné nebo neuvede žádné vysvětlení.
3.	I	Student bezchybně popíše vznik a podobu interferenčního obrazce.
	J	Student bezchybně popíše podobu interferenčního obrazce, ale má špatné či žádné vysvětlení.
	K	Student vysvětlí vznik interferenčního obrazce, ale chybí popis obrazce.
	L	Student uvede chybné nebo neuvede žádné vysvětlení ani nepopíše interferenční obrazec.
4.	M	Student bezchybně popíše, že opticky aktivní látky stáčí rovinu polarizace.
	N	Student částečně popíše stáčení roviny polarizace
	O	Student uvede chybné nebo neuvede žádné vysvětlení.

Tabulka 3: Přehled kódů použitých při analýze dotazníků

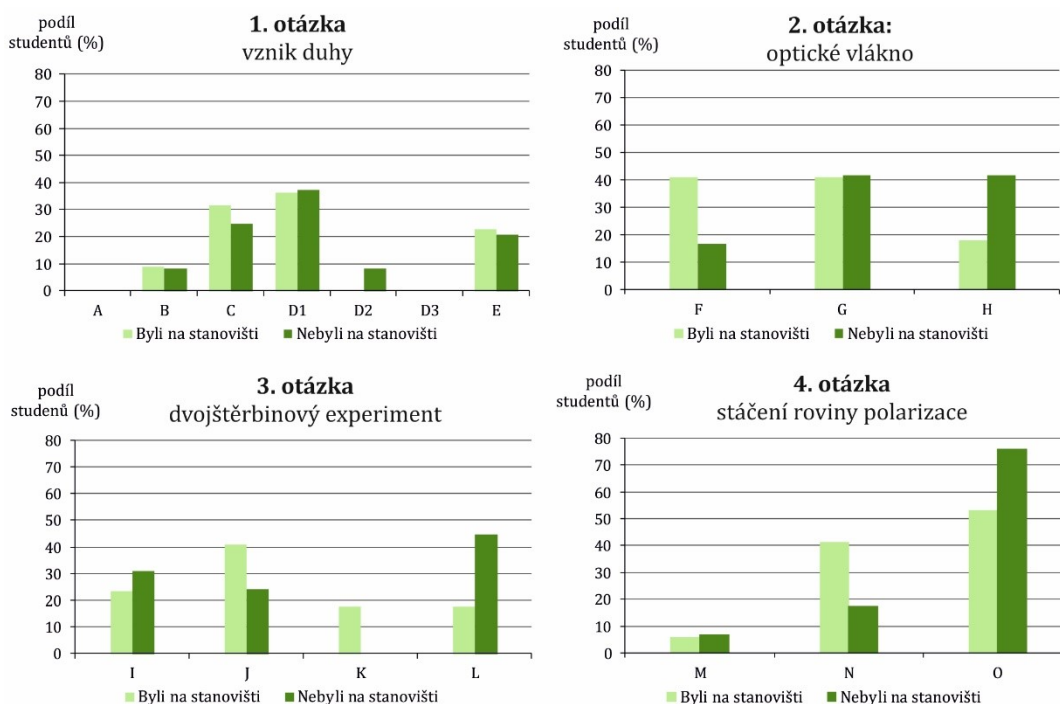
4.4 Kódování

Po zadání dotazníku v první skupině respondentů se sešli tři výzkumníci ve složení autorka, vedoucí a konzultantka práce a společně byla navržena tabulka používaných kódů pro analýzu dotazníků (tabulka 3). Při vyhodnocování byl vždy ke každé odpovědi přiřazen jediný kód.

Nezávisle na sobě byly zpracovány všechny dotazníky do tabulky, zaznamenány kódy a některé postřehy k jednotlivým odpovědím respondentů. Shoda v kódování všech tří výzkumníků byla 87 %. Případy, ve kterých nedošlo ke shodě, byly nakonec společně probrány a vyhodnoceny.

4.5 Shrnutí poznatků z výzkumu

Během pročitání a kódování odpovědí respondentů byly vyzorovány některé zajímavé skutečnosti. Pokud bychom se zaměřili pouze na porovnání počtu kódů pro studenty, kteří na stanovišti byli a nebyli, což zachycuje tabulka 4 a grafy níže (obrázek 4.1), můžeme konstatovat, že u první otázky nemělo vliv, jestli studenti stanovištěm prošli, či nikoliv. Nejvíce studentů v obou skupinách se u popisu vzniku duhy omezilo pouze na disperzi světla (popř. jiný popis rozkladu bílého světla na barevné složky), velká část k tomu zmínila i lom světla, málokdo pak přidal odraz ve vodní kapce. Nikdo ze studentů nezmínil dvojitý odraz uvnitř vodní kapky.



Obrázek 4.1: Procentuální zastoupení kódů pro jednotlivé otázky

Stanoviště	Počet studentů	
	na stanovišti	ostatních
Geometrická optika	22	24
Vlnová optika	17	29

Tabulka 4: Počty studentů pro vyhodnocení dotazníku

Mezi odpověďmi na první otázku se často objevovaly pojmy jako difrakce a rozptyl světla, z čehož můžeme vyvodit, že si studenti pletou názvosloví. To se dalo pozorovat i u dalších otázek.

Podle grafu k druhé otázce se zdá, že studenti, kteří prošli stanoviště Totální odraz, dokázali mnohem lépe popsat princip funkce optického vlákna, pouze 18 % z nich odpovědělo špatně nebo vůbec. V druhé skupině, která stanovištěm neprošla, odpovědělo špatně či vůbec 42 % studentů.

Co však ze samotného kódování vidět není, je fakt, že více než tři čtvrtiny studentů, kteří se setkali s optickým vláknem v IFL, nakreslilo ke svému vysvětlení i obrázek, který se nachází v pracovních listech. V druhé skupině volilo obrázek 56 % studentů, většinou byl ale výrazně odlišný od toho, který kreslili studenti první skupiny. Objevovalo se např. rovné vlákno, nebo naopak zahnuté tak, že by totální odraz nemohl nastat. V první skupině respondentů se také objevovalo spojení ideální vlákno, ideální případ, což stejně jako obrázek optického vlákna může pocházet z pracovních listů. Mnohem častěji tito studenti zmiňovali, že „světlo nemůže z vlákna ven“, „nevidíme, jak prochází vláknem, aby to mohl být ideální totální odraz“ atp.

Při porovnání kódů u třetí otázky, týkající se dvojtěrbinového experimentu, je patrné, že nějakým způsobem si s otázkou poradilo mnohem více studentů ze skupiny, která stanovištěm prošla. V obou skupinách se ale stejně často objevovaly obrázky experimentu a označení Youngův experiment. Po důkladném čtení odpovědí na tuto otázku se zdá, že je ve škole kladen velký důraz na zvládnutí interference světla, což potvrdila i vyučující jedné ze skupin. Samotné experimentování v IFL ale mohlo k pochopení zkoumaného jevu do značné míry přispět.

Podle kódování poslední otázky, která se dotazovala na stáčení roviny polarizace opticky aktivními látkami, se zdá, že tento jev je pro studenty velice špatně uchopitelný. S otázkou si vůbec neporadila asi polovina studentů, kteří daný experiment v IFL dělali, a tři čtvrtiny těch, kteří se s ním v IFL neselekali. Tento neúspěch může být způsobem nejen obtížností daného fyzikálního jevu, ale i nevhodnou formulací otázky.

Mnohem překvapivější u této otázky bylo zjištění, že polovina studentů, kteří v IFL navštívili stanoviště Totální odraz, popsali ve své odpovědi experiment se zakřivováním laserového paprsku pomocí cukerného roztoku. Často byla jejich odpověď doplněna o názorný obrázek. S největší pravděpodobností za to může právě formulace otázky, ve které se objevuje slovní spojení „různě **koncentrované** opticky aktivní roztoky“. To si studenti mohli spojit s faktem, že k pozorování fata morgány potřebují prostředí s měnícím se indexem lomu, které mohou získat v cukerném roztoku, jehož **koncentrace** se ode dna k hladině spojitě mění.

Ať už je tento problém způsoben čímkoliv, je nutné říct, že ve studentech nejpozději po vyplnění dotazníků vznikla poměrně zásadní miskoncepce, s kterou je nutné dále pracovat. Důležité je zjistit, jestli tato miskoncepce vzniká už při odchodu z IFL, kde se ale studenti s polarizací světla u stanoviště Totální odraz neseškávají, nebo až při vyplnění dotazníku. Pro další výzkum je naplánováno zvolit vhodnější formulaci otázky v dotazníku a zároveň namíchat studenty v IFL tak, aby jedna skupina prošla zároveň stanovišti Totální odraz a Polarizace světla.

Je zřejmé, že na takto malém vzorku studentů, se kterými byl výzkum proveden, není možné stavět kvantitativní výzkum a rozhodně by to tak nemělo z předchozích odstavců vyznít. Jde jen o popis odpovědí studentů, který by měl dokreslit celkovou situaci. Nezanedbatelný je však vliv experimentování dotazovaných studentů na stanovišti Totální odraz pro porozumění principu funkce optického vlákna. Za povšimnutí stojí také to, jak často si studenti pletou názvosloví používané v tomto odvětví fyziky. Nejdůležitějším výsledkem uskutečněného výzkumu je však ten, že si studenti mylně spojili experiment s fata morgánou a průchod polarizovaného světla skrz opticky aktivní látky. V tuto chvíli je to pro nás nejzávažnější závěr, který z výzkumu vyplynul, a chtěli bychom s ním nadále pracovat a případně provést další úpravu pracovních listů.

Závěr

V rámci této práce zabývající se experimenty z optiky byla provedena rešerše dostupných materiálů, zabývajících se stejným tématem, a podán stručný přehled zdrojů, ze kterých mohou nejen učitelé čerpat své experimenty.

Hlavním cílem práce byl pak vznik experimentální sady stanovišť zaměřených na optiku a její spuštění v Interaktivní fyzikální laboratoři. Tato laboratoř zřizována Matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy slouží studentům středních škol k experimentování v malých skupinkách na připravených stanovištích, které se vždy věnují jednomu vybranému fyzikálnímu tématu. Experimentální sada *Optika* byla pro veřejnost spuštěna v listopadu 2016.

Experimenty pro nově vzniklá stanoviště byly inspirovány především výše zmiňovanými materiály, miskoncepce, vyskytujícími se v optice, a experimenty, které autorka zpracovávala v rámci bakalářské práce do elektronické Sbírkky fyzikálních pokusů. Jednotlivá stanoviště se zabývají zákonem odrazu a lomu světla, totálním odrazem, interferencí a difrakcí světla a polarizací světla. Pro účely experimentování v IFL byly pro studenty vytvořeny čtyři pracovní listy, které je provází stanovištěm a mohou si do nich zapisovat své hypotézy, poznatky a závěry. Jednotlivá stanoviště jsou koncipována na cca 35 minut experimentování, studenti tak stihnou za dobu jejich návštěvy projít dvě až tři.

Doplňující výzkumná část práce zkoumá vliv návštěvy IFL na pochopení vybraných fyzikálních konceptů, s kterými se studenti mohou v rámci svého experimentování v IFL setkat. Provedený výzkum měl kvalitativní charakter a uskutečnil se na malém vzorku 46 studentů ze dvou pražských gymnázií. Jako výzkumný nástroj byl zvolen dotazník s otevřenými otázkami, ten byl studentům zadán autorkou práce přímo na jejich školách během běžné výuky.

Z výsledků je patrný především vliv experimentování na stanovišti Totální odraz pro pochopení principu funkce optického vlákna. Na základě odpovědí a pozdějším rozhovoru s jednou z vyučujících, jejíž studenti se účastnili výzkumu, bylo zřejmé, že ve výuce je kladen velký důraz na zvládnutí interference světla. Dále bylo pozorováno, že si studenti často pletou používané názvosloví.

Nejdůležitějším výstupem z uskutečněného výzkumu byl fakt, že si studenti mylně spojili experiment s fata morgánou, který dělali na stanovišti Totální odraz, s průchodem polarizovaného světla skrz opticky aktivní roztoky, na který se dotazník ptal. Tento poznatek bude předmětem dalšího výzkumu.

Po stručné rekapitulaci vzniklé diplomové práce se zdá, že všechny cíle uvedené v úvodu práce byly naplněny. Do budoucna by chtěla autorka vytvořit nad rámec této práce páté stanoviště, které by napomohlo plynulejšímu střídání studentů na stanovištích. Dále by autorka chtěla navázat na svou bakalářskou práci a vybrané experimenty z pracovních listů zpracovat i do elektronické Sbírký fyzikálních pokusů.

Seznam použité literatury

- Boxan, Matěj, 2015. Zakřivení paprsku světla. *Vím proč*. [Online] 2015. [Citace: 28. 12. 2016] Dostupné z: <https://www.vimproc.cz/?page=record&id=528>.
- Eduportál. *Techmania Science Center*. [Online] [Citace: 20. 2. 2016] Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/rvp/ss/fyzika>.
- Freier, G.D, 2002. *A Demonstration Handbook for Physics*. American Association of Physics Teachers. ISBN 0-917853-32-6.
- FyzWeb: iQpark - fyzikální exponáty. [Online] [Citace: 20. 2. 2016] Dostupné z: <http://fyzweb.cz/materialy/iqpark/index.php>.
- Havlíček, Karel a Ryston, Matěj, 2016. Demonstrační sada pro výuku optiky s pomocí 3D tiskárny. *Veletrh nápadů učitelů fyziky 21. Sborník z konference*. Brno: Masarykova univerzita, stránky 56-60. 978-80-210-8465-0.
- Horváthová, Martina. 2013. Horváthová M.: Jednoduché pokusy s optickými vlákny. *Souhrný sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky*. [Online] 2013. [Citace: 27. 12. 2016] Dostupné z: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/18-07-Horvathova.html>.
- Interaktivní fyzikální laboratoř: Interaktivní fyzikální laboratoř na MFF UK. [Online] [Citace: 22. 4. 2017] Dostupné z: <http://kdf.mff.cuni.cz/ifl/>.
- Kácovský, Petr. 2016. Experimenty podporující výuku termodynamiky na středoškolské úrovni. *Disertační práce*. Praha: Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova.
- Kupka, Zdeněk a Hála, Jiří. 1996. *Pokusy s laserem*. Praha: Prometheus. ISBN 80-7196-029-2.
- Lepil, Oldřich. 2009. *Fyzika pro gymnázia: Optika*. Praha: Prometheus, 2009. ISBN 978-80-7196-237-3.
- Machalická, Jana. 2015. Experimenty z optiky pro střední školu. *Bakalářská práce*. Praha: Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova.
- Malý, Petr. 2008. *Optika*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-1342-0.
- Mandíková, Dana a Trna, Josef. 2011. *Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky*. Brno: Paido. ISBN 978-80-7315-226-0.
- Matematicko-fyzikální fakulta: Katedra didaktiky fyziky. [Online] [Citace: 28. 4. 2017] Dostupné z: <http://kdf.mff.cuni.cz/>.

- Rakušan, Zdeněk, Votrubcová, Šárka a Havlíček, Jan. 2014. *Experimentář*. Liberec : iQlandia. ISBN 978-80-260-5292-0.
- Sbírka fyzikálních pokusů: Optika. [Online] [Citace: 3. 5. 2017] Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/cs/fyzika/optika>.
- Sprott, Julien Clinton. 2006. *Physics demonstrations: A Sourcebook for Teachers of Physics*. Madison: The University of Wisconsin Press. ISBN 0-299-21580-6.
- Strumienský, Jiří. 2006. Polarizace světla - výuka na střední škole. *Bakalářská práce*. Brno: Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita.
- Sutton, Richard Manliffe. 2003. *Demonstration Experiments in Physics*. New York: American Association of Physics Teachers. ISBN 1-931024-05-7.
- Svoboda, Emanuel a kol. 2001. *Pokusy z fyziky na střední škole 4*. Praha: Prometheus. ISBN 80-7196-010-1.
- Šabatka, Zdeněk. 2016. Experimenty pro interaktivní fyzikální laboratoř: pokusy a teorie. *Disertační práce*. Praha : Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova.
- Švaříček, Roman a Šed'ová, Klára a kol. 2014. *Kvalitativní výzkum v pedagogických vědách*. Praha : Portál, 2014. ISBN 978-80-262-0644-6.
- Veletrh nápadů učitelů fyziky: Souhrný sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky. [Online] [Citace: 22. 4. 2017] Dostupné z: <http://vnuf.cz/sbornik/>.
- Vetenskapens Hus. [Online] [Citace: 7. 5. 2017] Dostupné z: http://vetenskapenshus.se.loopiadns.com/science_for_school.

Seznam obrázků

Obrázek 3.1: Připravené stanoviště.....	11
Obrázek 3.2: Úhломěr vytvořený pro tuto úlohu	12
Obrázek 3.3: Obrázek na zakreslení hypotézy o chodu bílého světla.....	14
Obrázek 3.4: Vznik duhy.....	15
Obrázek 3.5: Pomůcky k druhé části stanoviště.....	17
Obrázek 3.6: Model optického vlákna z brčka.....	17
Obrázek 3.7: Pomůcky ke třetí části stanoviště.....	19
Obrázek 3.8: Mírné zakřivení laserového paprsku	19
Obrázek 3.9: Vlevo detail tuh zafixovaných modelínou, vpravo uspořádání experimentu	21
Obrázek 3.10: Interferenční obrazce při použití zeleného a červeného laseru	22
Obrázek 3.11: Pomůcky k druhé části stanoviště.....	22
Obrázek 3.12: Pomůcky ke třetí části stanoviště	23
Obrázek 3.13: Uspořádání experimentu s laserem vystupujícím z prostředka čtvrtky	24
Obrázek 3.14: Difrakce světla na optické mřížce.....	25
Obrázek 3.15: Pomůcky k první části stanoviště	26
Obrázek 3.16: Fotografie zvedáku vlevo bez polarizačního filtru, vpravo s filtrem	27
Obrázek 3.17: Pomůcky k druhému stanovišti.....	28
Obrázek 3.18: Mechanické napětí v součástce z pryskyřice při změně tvaru.....	28
Obrázek 3.19: Pomůcky ke třetí části stanoviště	29
Obrázek 3.20: Uspořádání experimentu – vlevo kyveta bez cukru, vpravo s 6 lžičkami cukru.....	30
Obrázek 4.1: Procentuální zastoupení kódů pro jednotlivé otázky	34

Přílohy

Příloha 1: Pracovní listy

Tato příloha čítá čtyři pracovní listy připravené pro sadu experimentů *Optika* v Interaktivní fyzikální laboratoři. Každý pracovní list je zde uveden jak v základní formě, tak i s autorským řešením, které je barevně odlišeno červeným fontem. U autorského řešení se již neobjevují znovu instrukce k experimentům, ale jen části, do kterých si studenti zaznamenávají své odhady, výsledky či závěry.

Obsah pracovních listů je kvůli formátu a tisku práce zmenšen, aby nedošlo k výrazné změně vzhledu oproti verzím, které jsou k dispozici v IFL. I přesto se může vzhled od aktuálně používané verze pracovních listů nepatrně lišit. Po obhajobě práce budou aktuální pracovní listy zveřejněny na webových stránkách IFL.

ZÁKON ODRAZU A LOMU SVĚTLA

Teoretický úvod

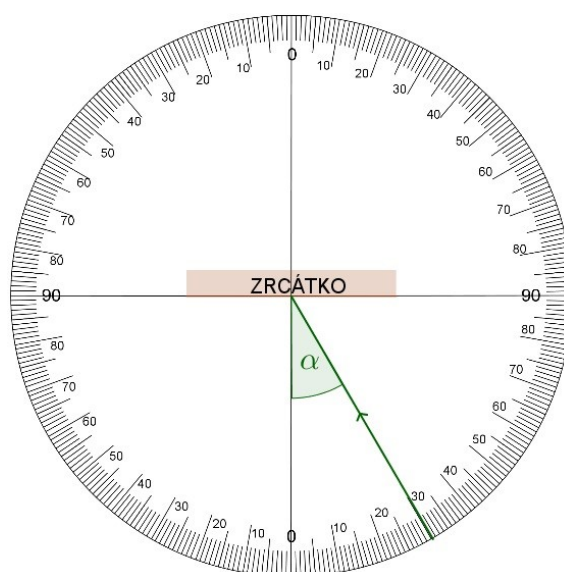
Ve stejnorodém optickém prostředí se světlo šíří přímočaře. Světlo dopadající na rozhraní dvou průhledných prostředí se může jednak odrážet, jednak lámat a procházet z jednoho prostředí do druhého. Tyto jevy nazývané odraz a lom světla se řídí základními zákony geometrické optiky.

Poznámka: Pozor, na tomto stanovišti budete pracovat s laserem. Nikdy jím na nikoho nemiřte a dávejte pozor, kam se paprsek odráží.

Část 1: Odraz světla

Postup

1. Pro vyznačený úhel dopadu α odhadněte velikost úhlu odrazu α' a zakreslete odhadovaný chod paprsku do obrázku.
2. Umístěte zrcátko na předtištěnou šablonu podle obrázku tak, aby zrcadlicí plocha byla kolmá na rovinu stolu.
3. Pomocí laserového ukazovátka experimentem ověřte váš odhad.
4. Experiment proveďte pro několik dalších úhlů dopadu a na základě měření zformulujte vlastními slovy zákon odrazu, kterým se řídí odražený paprsek.

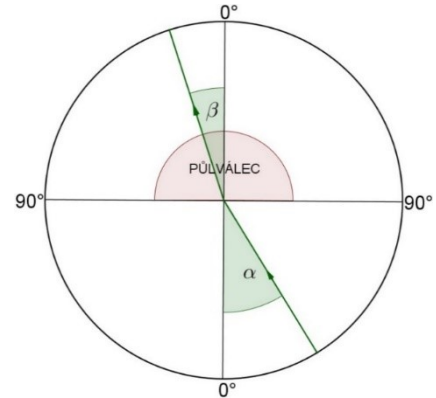


Závěr

Podle zákona odrazu se velikost úhlu odrazu α' velikosti úhlu dopadu α a odražený paprsek leží v rovině dopadu.

Část 2: Lom světla**Postup**

1. Umístěte půlválec na vyznačené místo.
2. Pro minimálně pět různých úhlů dopadu α s krokem alespoň 10° změřte úhly lomu β (viz obr. 1).
3. Pro naměřené úhly vyplňte následující tabulku se zaokrouhlením na dvě desetinná místa.
4. Zamyslete se nad hodnotami posledního sloupečku v tabulce.



Obr. 1: Lom laserového paprsku půlválcem

úhel dopadu α ($^\circ$)	úhel lomu β ($^\circ$)	$\sin \alpha$	$\sin \beta$	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$

5. Na základě měření vlastními slovy zformulujte, jak spolu souvisí úhel dopadu a úhel lomu:

6. Vypočítejte, pod jakým úhlem α by měl na půlválec dopadat paprsek, aby úhel lomu byl

$$\beta = 35,5^\circ.$$

$$\alpha =$$

Svou hypotézu ověřte experimentem.



7. Proč se paprsek neláme (tedy nemění svůj směr) v místě, kde vystupuje ze zaoblené části půlválce?

8. Kromě dopadajícího a lomeného paprsku jste při tomto uspořádání experimentu mohli pozorovat ještě jiný paprsek. Kde jste ho viděli a proč?

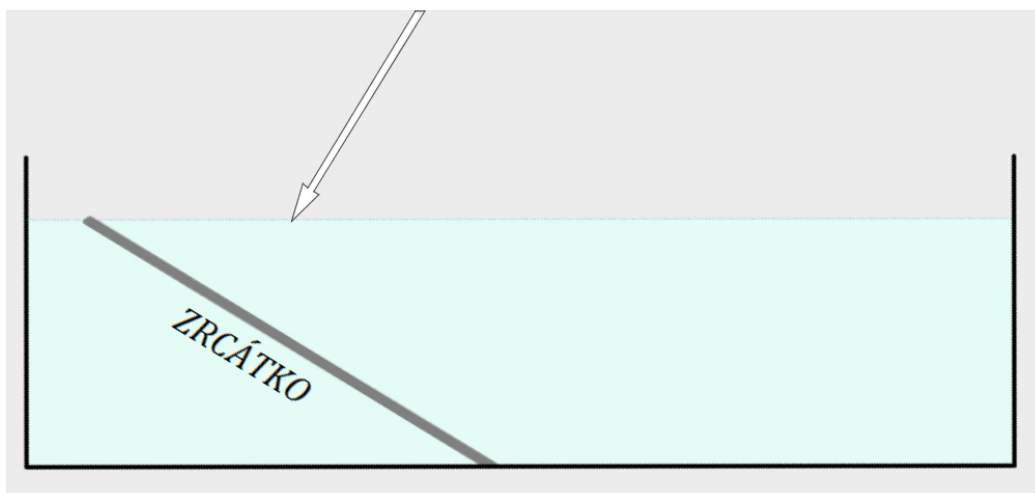
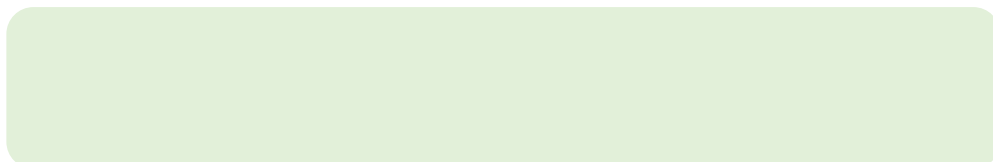
Závěr

Podle zákona lomu je poměr $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$, kde α je úhel dopadu a β úhel lomu, . Tento poměr bychom mohli vyjádřit jako poměr veličin, které charakterizují optické prostředí. Zmíněná veličina se nazývá index lomu n a udává, kolikrát je rychlost světla v daném prostředí menší než rychlost světla ve vakuu. Pro vzduch platí $n \approx 1$. Zákon lomu můžeme vyjádřit ve tvaru $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$, kde n_1 je index lomu prostředí, ze kterého paprsek vychází, a n_2 je index lomu prostředí, do kterého paprsek vstupuje. Index lomu skleněného půlválce, který jsme v tomto úkolu použili je:



Část 3: Disperze světla aneb kde se vzala duha**Postup**

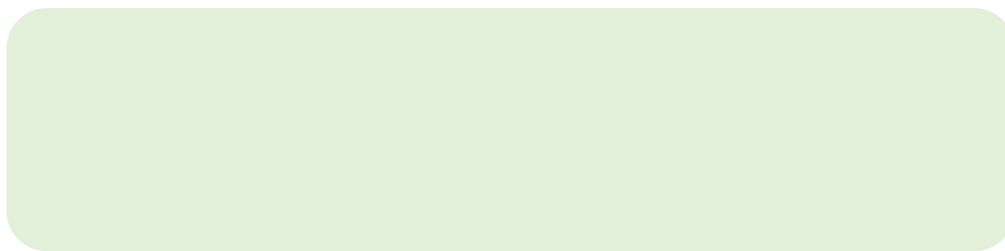
1. Myslíte, že závisí úhel lomu paprsku na barvě použitého laseru?
Svou odpověď ověřte experimentem pomocí půlválce a barevných laserů.
2. Jak bude dále vypadat chod bílého paprsku po průchodu vodní hladinou? Načrtněte svůj odhad do obrázku. Kolikrát se vyznačený paprsek zlomí a kolikrát odrazí, aby se dostal opět z vody ven?



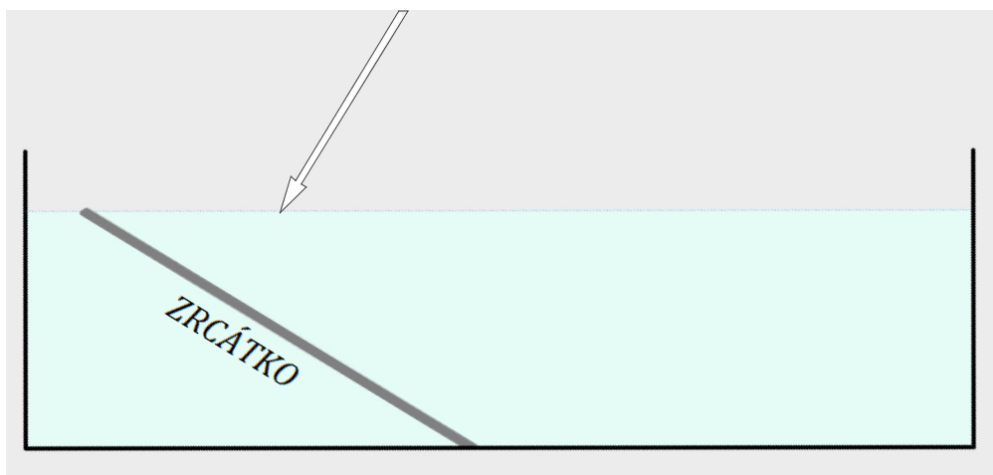
3. Nádoby s vodou umístěte pod rozsvícenou lampou.
4. Zrcátko ponořte do vody a nasměrujte ho tak, aby se světlo dopadající z lampy na vodní hladinu zobrazilo na stěnu místnosti.



5. Co na stěně pozorujete?



6. Do obrázku načrtněte, co se skutečně s paprskem děje po průchodu vodní hladinou.



7. Na tomto principu fungují optické hranoly. Zkuste vytvořit duhu pomocí hranolu.

Závěr

Index lomu prostředí není pro světlo všech barev stejný a závisí právě na [] světla. To je příčinou jevu označovaného jako disperze světla. Jednotlivé barevné složky bílého světla se při průchodu z jednoho do druhého optického prostředí lámou pod [] úhly.

V našem případě jsme pomocí zrcátka v nádobě s vodou vyrobili „vodní hranol“, ze kterého díky jeho tvaru vychází každá barevná složka zvlášť, a my můžeme na stěně pozorovat [].



ZÁKON ODRAZU A LOMU SVĚTLA

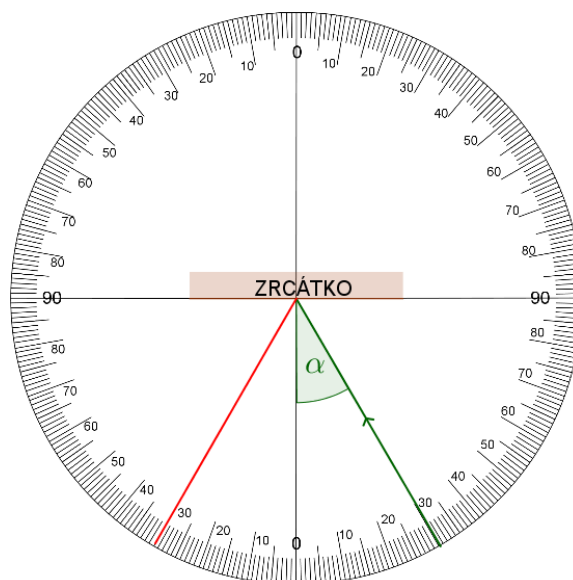
AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Část 1: Odraz světla

Postup

1. Pro vyznačený úhel dopadu α odhadněte velikost úhlu odrazu α' a zakreslete odhadovaný chod paprsku do obrázku.
4. Experiment proveďte pro několik dalších úhlů dopadu a na základě měření zformulujte vlastními slovy zákon odrazu, kterým se řídí odražený paprsek.

Úhel odrazu α' se rovná úhlu dopadu α .



Závěr

Podle zákona odrazu se velikost úhlu odrazu α' rovná velikosti úhlu dopadu α a odražený paprsek leží v rovině dopadu.

Část 2: Lom světla

Postup

3. Pro naměřené úhly vyplňte následující tabulku se zaokrouhlením na dvě desetinná místa.
4. Zamyslete se nad hodnotami posledního sloupečku v tabulce.

úhel dopadu α (°)	úhel lomu β (°)	$\sin \alpha$	$\sin \beta$	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$
30	19	0,50	0,33	1,54
40	25	0,64	0,42	1,52
50	30	0,77	0,50	1,53
60	35	0,87	0,57	1,51
70	39	0,94	0,63	1,49



5. Na základě měření vlastními slovy zformulujte, jak spolu souvisí úhel dopadu a úhel lomu:

Poměr $\sin \alpha$ ku $\sin \beta$ je konstantní.

6. Vypočítejte, pod jakým úhlem α by měl na půlválec dopadat paprsek, aby úhel lomu byl

$$\beta = 35,5^\circ. \quad \alpha = 61^\circ 58'$$

Svou hypotézu ověřte experimentem.

7. Proč se paprsek neláme (tedy nemění svůj směr) v místě, kde vystupuje ze zaoblené části půlválce?

Pokud svítíme laserem přímo na střed půlválce, šíří se lomený paprsek půlválcem kolmo na tečnu procházející bodem, kde paprsek z půlválce vystupuje. Úhel dopadu na rozhraní sklo-vzduch je 0° , úhel lomu tedy musí být také 0° a paprsek tak nezmění svůj směr.

8. Kromě dopadajícího a lomeného paprsku jste při tomto uspořádání experimentu mohli pozorovat ještě jiný paprsek. Kde jste ho viděli a proč?

Mohli jsme sledovat paprsek odražený od půlválce, protože paprsek se na rozhraní dvou prostředí jednak odráží, jednak láme a proniká z jednoho prostředí do druhého.

Závěr

Podle zákona lomu je poměr $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$, kde α je úhel dopadu a β úhel lomu, **konstantní**. Tento poměr bychom mohli vyjádřit jako poměr veličin, které charakterizují optické prostředí. Zmíněná veličina se nazývá index lomu n a udává, kolikrát je rychlost světla v daném prostředí menší než rychlost světla ve vakuu. Pro vzduch platí $n \approx 1$. Zákon lomu můžeme vyjádřit ve tvaru $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$, kde n_1 je index lomu prostředí, ze kterého paprsek vychází, a n_2 je index lomu prostředí, do kterého paprsek vstupuje. Index lomu skleněného půlválce, který jsme v tomto úkolu použili je: **$n_2 = 1,52$** .

Část 3: Disperze světla aneb kde se vzala duha

Postup

1. Myslíte, že závisí úhel lomu paprsku na barvě použitého laseru? **Ano, závisí.**
Svou odpověď ověřte experimentem pomocí půlválce a barevných laserů.
2. Jak bude dále vypadat chod bílého paprsku po průchodu vodní hladinou? Načrtněte svůj odhad do obrázku. Kolikrát se vyznačený paprsek zlomí a kolikrát odrazí, aby se dostal opět z vody ven?

Paprsek se nejdříve láme, pak odráží a nakonec opět láme. Celkem se tedy dvakrát láme a jednou odráží.

3. Nádobu s vodou umístěte pod rozsvícenou lampu.

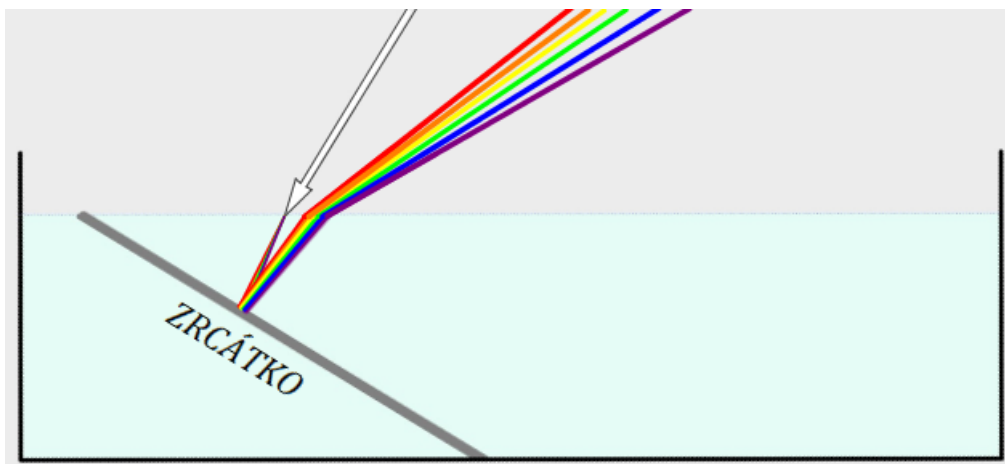


4. Zrcátko ponořte do vody a nasměrujte ho tak, aby se světlo dopadající z lampy na vodní hladinu zobrazilo na stěnu místnosti.

5. Co na stěně pozorujete?

Na stěně je vidět duha, protože se bílé světlo rozložilo na barevné složky.

6. Do obrázku načrtněte, co se skutečně s paprskem děje po průchodu vodní hladinou.



7. Na tomto principu fungují optické hranoly. Zkuste vytvořit duhu pomocí hranolu.

Závěr

Index lomu prostředí není pro světlo všech barev stejný a závisí právě na **frekvenci** světla. To je příčinou jevu označovaného jako disperze světla. Jednotlivé barevné složky bílého světla se při průchodu z jednoho do druhého optického prostředí lámou pod **různými** úhly.

V našem případě jsme pomocí zrcátka v nádobě s vodou vyrobili „vodní hranol“, ze kterého díky jeho tvaru vychází každá barevná složka zvlášť, a my můžeme na stěně pozorovat **duhu (barevné spektrum)**.



TOTÁLNÍ ODRAZ

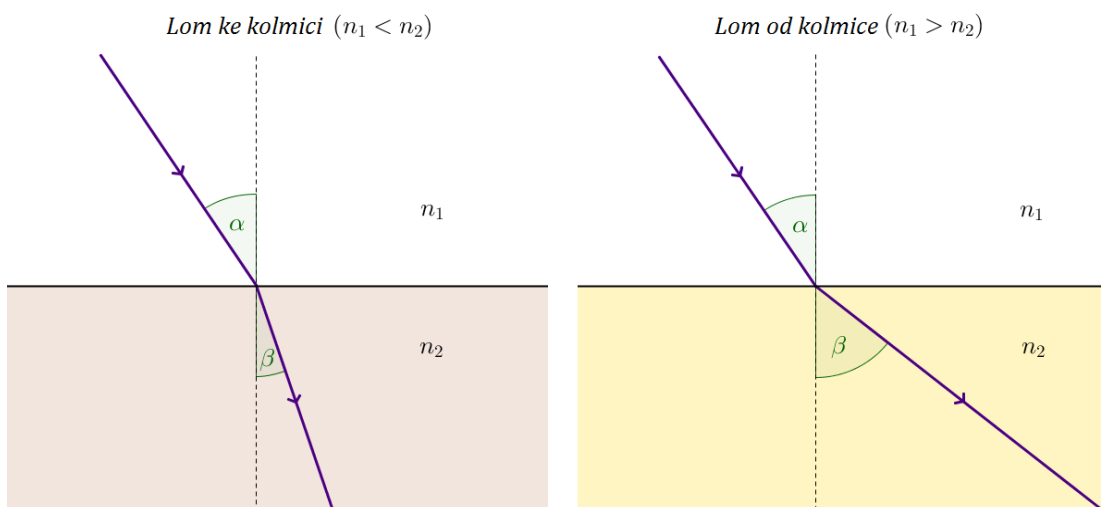
Poznámka: Pozor, na tomto stanovišti budete pracovat s laserem. Nikdy jím na nikoho neměřte a dávejte pozor, kam se paprsek odráží.

Část 1: Totální odraz

Teoretický úvod

Na rozhraní dvou průhledných prostředí s různým indexem lomu n nastává jev zvaný lom světla. Pokud porovnáváme dvě prostředí s různými indexy lomu, označujeme prostředí s menším indexem lomu jako opticky řidší a prostředí s větším indexem lomu jako opticky hustší. Při přechodu z opticky řidšího prostředí do opticky hustšího prostředí se světlo láme tak, že úhel lomu β je menší než úhel dopadu α (lom ke kolmici). Při přechodu z opticky hustšího prostředí do opticky řidšího prostředí je úhel lomu β větší než úhel dopadu α (lom od kolmice). Pokud bychom v druhém případě zvětšovali úhel dopadu, našli bychom tzv. mezní úhel dopadu α_m , při kterém je úhel lomu $\beta = 90^\circ$. Při úhlech dopadu větších, než mezní úhel již světlo do druhého prostředí neprochází a jen se od rozhraní odráží. Tomuto jevu říkáme totální odraz.

Postup

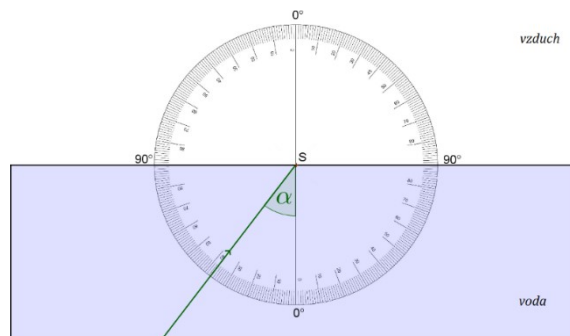


Obr. 2: Lom světla

1. Do připravené nádoby nalijte vodu a pod nádobu položte úhломěr tak, jak je znázorněno na obr. 2 (pohled na nádobu shora).



2. Laserovým ukazovátkem posviťte vodorovně skrz boční stěnu tak, aby paprsek dopadal do vyznačeného bodu S.
3. Shora sledujte chování paprsku při různých úhlech dopadu α .
4. Popište, co se děje s paprskem, pokud dopadá pod úhlem 20° .



Obr. 2: Totální odraz v nádobě s vodou

5. Jak bude pokračovat chod paprsku, pokud dopadá pod úhlem 60° ?

6. Experimentálně najděte mezní úhel dopadu α_m , při kterém je úhel lomu $\beta = 90^\circ$. Jak velký je tento úhel α_m ?
7. Nastane totální odraz, pokud bychom svítily pod námi určeným mezním úhlem dopadu na rozhraní z druhé strany, tj, ze vzduchu do vody? Svou odpověď zdůvodněte a ověřte experimentem.

Závěr

Při přechodu světla z prostředí s [] indexem lomu do prostředí s [] indexem lomu může nastat totální odraz. Při mezním úhlu dosáhne úhel lomu největší možné hodnoty, tedy []. Při větších úhlech dopadu se paprsek jen odráží od rozhraní.



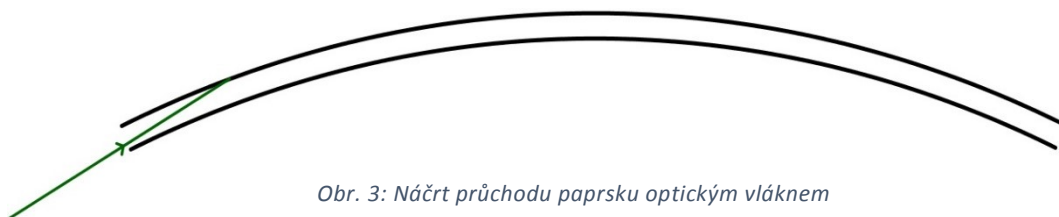
Část 2: Optické vlákno

Postup

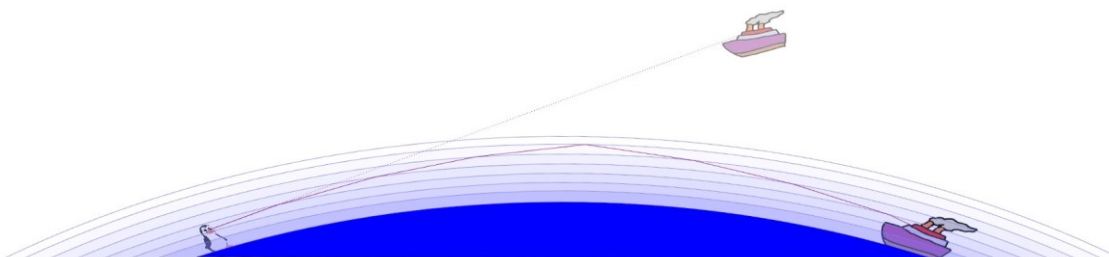
1. Do připraveného brčka naplněného vodou a utěsněného gelovými kuličkami na obou koncích posviťte laserovým ukazovátkem a sledujte, co se stane, když brčko mírně ohnete.
2. Pomocí skutečného optického vlákna si posviťte do krabičky a zapište, co je napsáno uvnitř.
3. Jak by se chovalo ideální optické vlákno?

Závěr

Na principu totálního odrazu je založena funkce optických vláken, která se využívají např. k přenosu informací či osvětlování těžko dostupných prostor. Do obrázku načrtněte průchod naznačeného paprsku optickým vláknem.



Část 3: Fata morgána

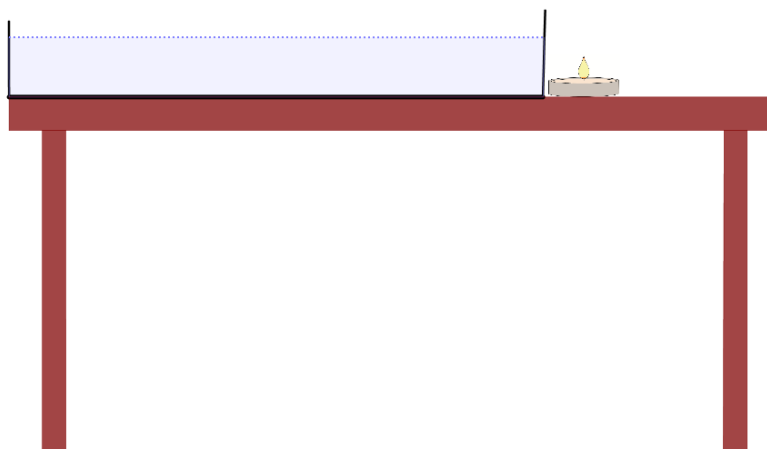


Teoretický úvod

Princip totálního odrazu je podstatný pro pozorování fata morgány. To je jev, při kterém můžeme vidět obrazy vzdálených objektů díky odlišným teplotám vzduchu u povrchu Země. Na jednotlivých vrstvách dochází k lomu světla a do oka nám tak dopadá paprsek z jiného směru než z toho, kde se předmět skutečně nachází.

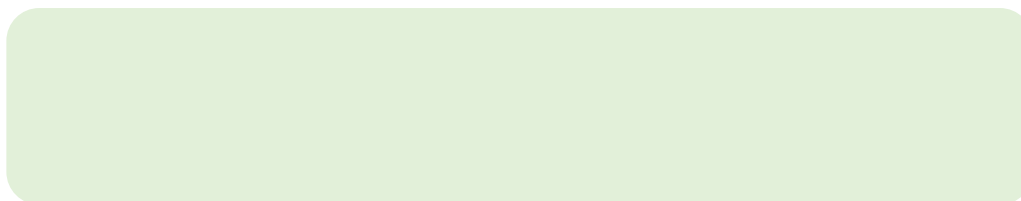
Postup

1. Zespoda pozorujte vodní hladinu tak, abyste viděli hořící svíčku (viz obr. 5). Zakreslete do obrázku obraz svíčky, který uvidíte, budete-li se dívat z vyznačeného místa, a chod paprsku od svíčky do oka.



Obr. 5: Obraz svíčky

2. Namiřte laserové ukazovátko mírně šikmo vzhůru skrz připravenou nádobu s vodou a cukerným roztokem. Slovně popište, co při experimentu pozorujete a dokreslete chod vyznačeného paprsku do obrázku.





Obr. 6: Náčrt průchodu paprsku nádobou s vodou a cukerným roztokem

3. Pokuste se vlastními slovy zformulovat, proč k tomuto jevu dochází.

Závěr

Paprsek dopadající ze svíčky na hladinu se nám odráží do oka, mozek však předpokládá přímočaré šíření těchto paprsků, proto vidíme obraz svíčky vznášet se nad hladinou.

Pokud do nádoby s vodou nalijeme cukerný roztok, vznikne směs, která má u hladiny menší index lomu než u dna. Laserový paprsek směřující mírně šikmo vzhůru se tak bude postupně lámat od kolmice a my ho uvidíme zahnutý. Pokud bude rozdíl indexů lomu u dna a u hladiny výrazný, může úhel dopadu v určité chvíli nabývat kritické hodnoty, tedy mezního úhlu, a dojde k . Paprsek se potom bude lámat zpět ke dnu nádoby.



TOTÁLNÍ ODRAZ

AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Část 1: Totální odraz

Postup

4. Popište, co se děje s paprskem, pokud dopadá pod úhlem 20° .

Paprsek se jednak láme od kolmice, jednak odráží, přičemž se řídí zákonem odrazu a lomu světla.

5. Jak bude pokračovat chod paprsku, pokud dopadá pod úhlem 60° ?

Pro tento úhel dopadu nastává totální odraz, paprsek se tedy pouze odráží pod úhlem 60° .

6. Experimentálně najděte mezní úhel dopadu α_m , při kterém je úhel lomu $\beta = 90^\circ$. Jak velký je tento úhel α_m ? $\alpha_m = 49^\circ$

7. Nastane totální odraz, pokud bychom svítili pod námi určeným mezním úhlem dopadu na rozhraní z druhé strany, tj, ze vzduchu do vody? Svou odpověď zdůvodněte a ověřte experimentem.

Totální odraz nenastane, protože vzduch je opticky řidší prostředí než voda a světlo by se při průchodu rozhraním v tomto směru lámalo ke kolmici.

Závěr

Při přechodu světla z prostředí s **větším** indexem lomu do prostředí s **menším** indexem lomu může nastat totální odraz. Při mezním úhlu dosáhne úhel lomu největší možné hodnoty, tedy 90° . Při větších úhlech dopadu se paprsek jen odráží od rozhraní.

Část 2: Optické vlákno

Postup

1. Do jednoho konce připraveného brčka naplněného vodou a utěsněného gelovými kuličkami na obou koncích posviťte laserovým ukazovátkem a sledujte, co se stane, když brčko mírně ohnete.

Světlo prochází brčkem na druhý konec, intenzita vystupujícího světla z brčka je však velmi malá. Laserový paprsek je při průchodu brčkem vidět, znamená to tedy, že uvnitř nedochází pouze k totálnímu odrazu, ale světlo se rozptyluje ve vodě i na stěně brčka a díky tomu svítí.

2. Pomocí skutečného optického vlákna si posviťte do krabičky a zapište, co je napsáno uvnitř.

INTERAKTIVNÍ FYZIKÁLNÍ LABORATOŘ

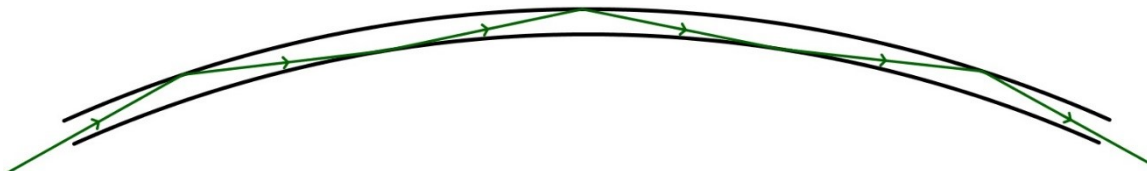
3. Jak by se chovalo ideální optické vlákno?



V ideálním případě by intenzita vstupujícího světla byla stejná jako intenzita vystupujícího světla.

Závěr

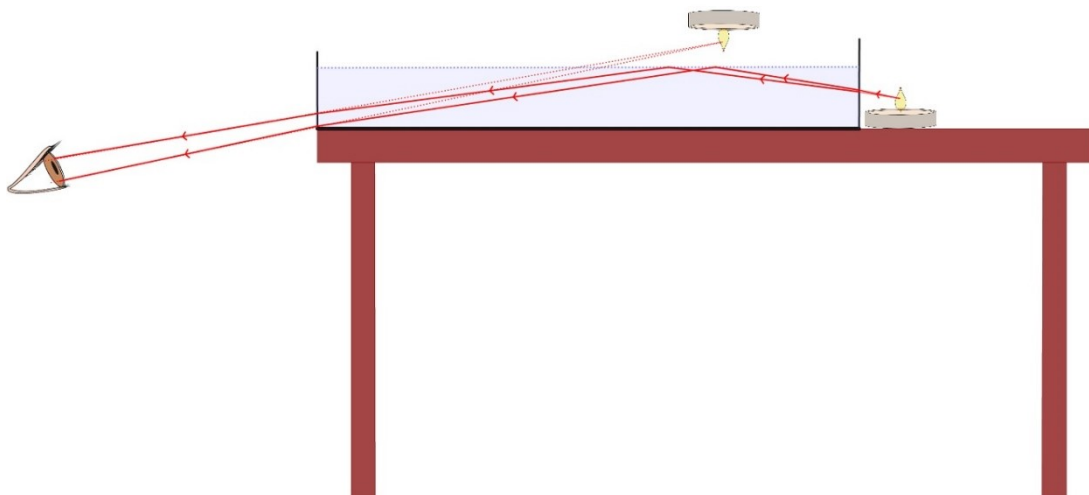
Na principu totálního odrazu je založena funkce optických vláken, která se využívají např. k přenosu informací či osvětlování těžko dostupných prostor. Do obrázku načrtněte průchod naznačeného paprsku optickým vláknem.



Obr. 3: Náčrt průchodu paprsku optickým vláknem

Postup

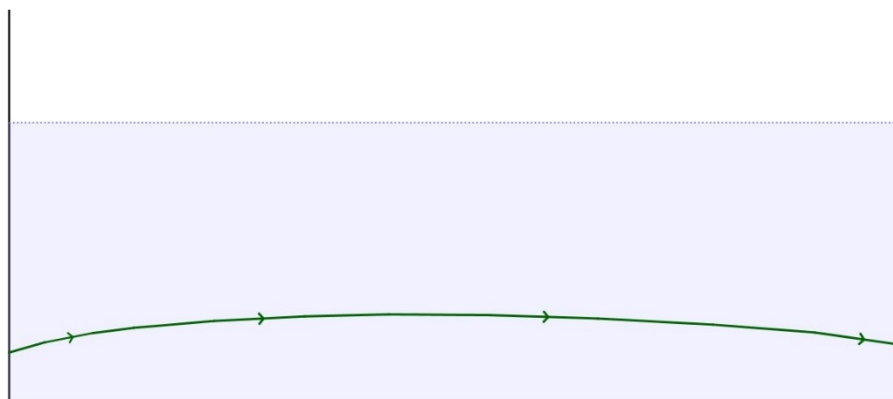
1. Zespoda pozorujte vodní hladinu tak, abyste viděli hořící svíčku (viz obr. 5). Zakreslete do obrázku obraz svíčky, který uvidíte, budete-li se dívat z vyznačeného místa, a chod paprsku od svíčky do oka.



Obr. 5: Obraz svíčky



2. Namiřte laserové ukazovátko mírně šikmo vzhůru skrz připravenou nádobu s vodou a cukerným roztokem. Slovně popište, co při experimentu pozorujete a dokreslete chod vyznačeného paprsku do obrázku.



Obr. 6: Náčrt průchodu paprsku nádobou s vodou a cukerným roztokem

Paprsek se postupně zakřivuje směrem ke dnu nádoby.

3. Pokuste se vlastními slovy zformulovat, proč k tomuto jevu dochází.

Při nalití cukerného roztoku do akvária s vodou se spojitě mění index lomu vzniklého roztoku v akváriu. U dna je index lomu největší, laserový paprsek se tak postupně láme od kolmice. V určitém případě může dojít k totálnímu odrazu, paprsek se začne zakřivovat zpět směrem dolů a láme se ke kolmici. Jelikož se index lomu mění spojitě, tak i laserový paprsek se láme spojitě a my ho proto vidíme zakřiveně.

Závěr

Paprsek dopadající ze svíčky na hladinu se nám odráží do oka, mozek však předpokládá přímočaré šíření těchto paprsků, proto vidíme **převrácený** obraz svíčky vznášet se nad hladinou.

Pokud do nádoby s vodou nalijeme cukerný roztok, vznikne směs, která má u hladiny menší index lomu než u dna. Laserový paprsek se tak bude postupně lámat od kolmice a my ho uvidíme zahnutý. Pokud bude rozdíl indexů lomu u dna a u hladiny výrazný, může úhel dopadu v určité chvíli nabývat kritické hodnoty, tedy mezního úhlu, a dojde k **totálnímu odrazu**. Paprsek se potom bude lámat zpět ke dnu nádoby.



INTERFERENCE A DIFRAKCE SVĚTLA

Poznámka: Pozor, na tomto stanovišti budete pracovat s laserem. Nikdy jím na nikoho nemiřte a dávejte pozor, kam se paprsek odráží.

Část 1: Youngův experiment

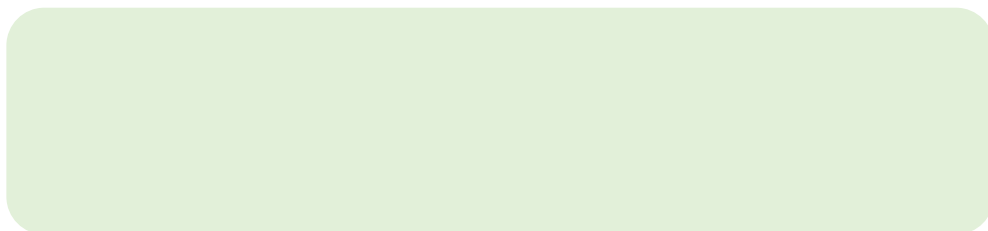
Teoretický úvod

Abychom se mohli zabývat interferencí a difrakcí světla, musíme upustit od zjednodušení geometrické optiky a vzít v úvahu vlnovou povahu světla.

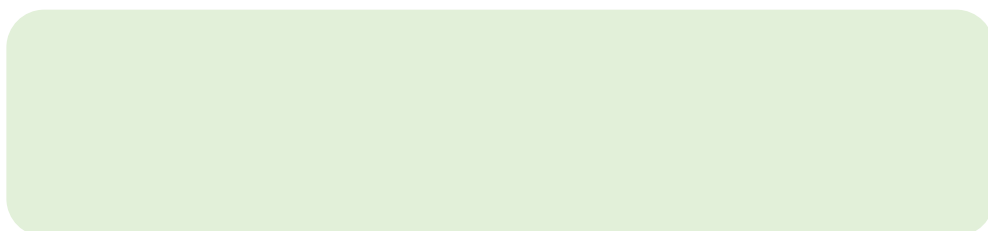
Interference světla je jev, při kterém se vlnění přicházející do jednoho bodu z různých zdrojů v tomto bodě navzájem skládají. K pozorovatelné interferenci dochází, pokud jde o vlnění stejné frekvence, jejichž vzájemný fázový rozdíl je v uvažovaném bodě prostoru konstantní. Výsledkem je zesílení světla v místech, kde se setkávají vlnění se stejnou fází (maxima), a zeslabení světla v místech, kde se setkávají vlnění s opačnou fází (minima).

Postup

1. Na tuhy připevněné modelínou posviťte laserovým ukazovátkem proti stěně tak, aby stopa paprsku dopadala na prostřední tuhu. Stručně popište, jak vypadá obrazec na stěně.



2. Zkuste totéž zopakovat s laserovým ukazovátkem jiné barvy při zachování vzdálenosti tuh od stěny. Jak se obrazec na stěně změní?

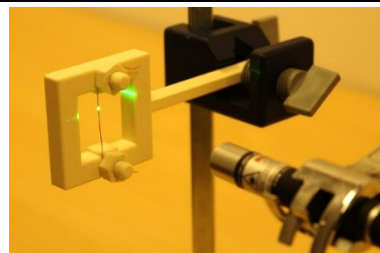


Závěr

Úzké štěrby mezi tuhami v tomto experimentu nahrazují dva zdroje koherentního světla. Podoba interferenčního obrazce závisí na [] použitého laserového ukazovátka. Čím větší je jeho vlnová délka, tím [] jsou vzdálenosti mezi jednotlivými maximy.

Část 2: Difrakce světla na tenkém drátku

1. Do stativu umístěte laser tak, aby svítil na drátek připevněný v držáku (viz obr. 1).
2. Pozorně si prohlédněte obrazec na stěně. Co pozorujete?



Obr. 1: Difrakce světla na tenkém drátku

3. Jak se obrazec změní, pokud držák s drátkem posunete blíže ke stěně?

4. Jak se změní obrazec, pokud vyměníte drátek za širší?



Závěr

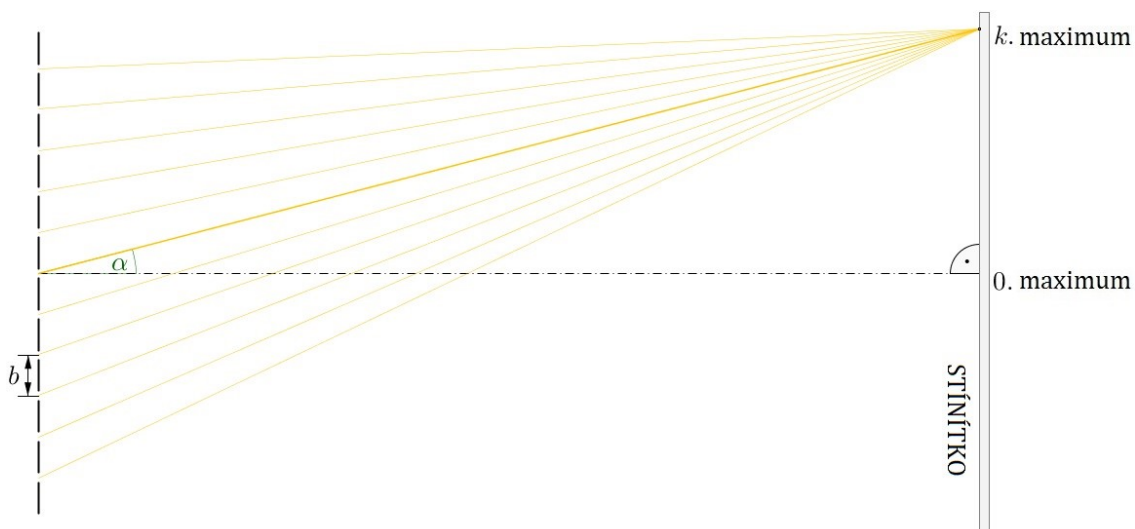
Posvítíme-li laserem na tenký drátek, můžeme na stínítku za ním sledovat ohybový obrazec. Při použití tenčího drátku se vzájemná vzdálenost interferenčních maxim . Pokud přiblížíme drátek ke stínítku, vzdálenost interferenčních maxim se .

Část 3: Difrakce světla na optické mřížce**Teoretický úvod**

Dopadají-li elektromagnetické vlny na hranu či překážku, mohou měnit svůj směr. Takové vlny se mohou následně skládat a vytvářet interferenční obrazce. Tento jev nazýváme ohyb neboli difrakce. Při difrakci na optické mřížce, která je tvořena soustavou velkého počtu stejně širokých rovnoběžných štěrbin, vznikne na stínítku ohybový obrazec. Směry interferenčních maxim jsou určeny úhlem α , pro který platí podmínka:

$$b \sin \alpha = k\lambda,$$

kde b je vzdálenost sousedních štěrbin, nazývaná mřížková konstanta, $k = 0, 1, 2, \dots$ je řád difrakce a λ je vlnová délka použitého světla.

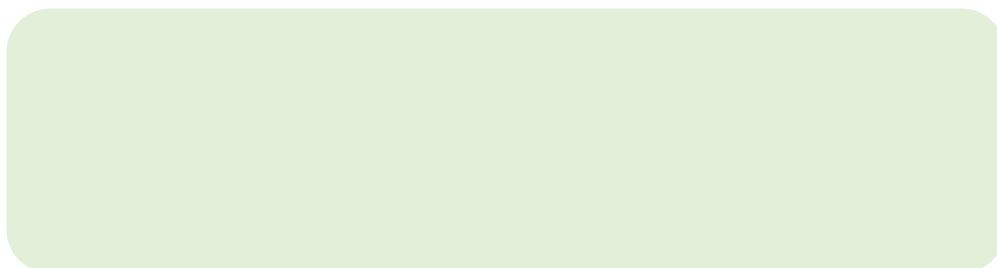


Obr. 2: Difrakce světla na optické mřížce

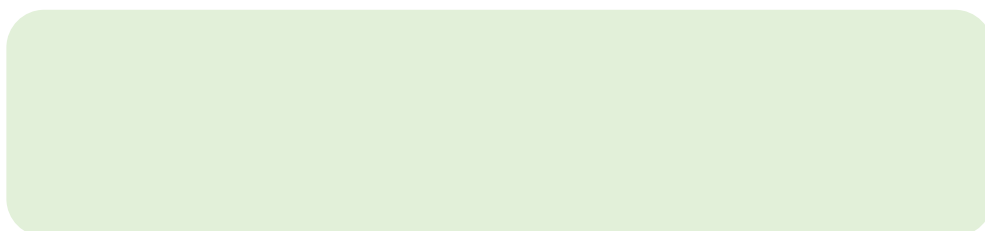


Postup

1. Laserovým ukazovátkem posviťte skrz optickou mřížku proti stěně. Co pozorujete? Jak se pozorovaný obrazec změní, pokud přiblížíme mřížku blíže ke stěně?



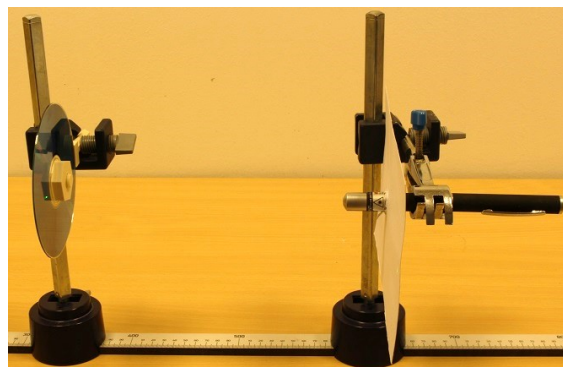
2. Jak se pozorovaný obrazec změní, pokud mřížku otočíme o 90°?



3. Na laserové ukazovátce ve stativu nasadíte čtvrtku s otvorem.

4. Do držáku připevníte rovnoběžně s čtvrtkou CD záznamovou stranou tak, aby na ni dopadal laserový paprsek.

5. Laserový paprsek namiřte přibližně do středu záznamu na disku (na CD, ne do otvoru v jeho středu).



Obr. 3: Difrakce světla na CD

6. Na čtvrtce je patrná stopa paprsku přímo odraženého od povrchu disku a méně výrazná difrakční maxima 1. řádu. Srovnajte laserové ukazovátce tak, aby maximum 0. řádu splynulo s paprskem vystupujícím z ukazovátka. V místech, kde se na čtvrtce zobrazují maxima 1. řádu, si tužkou udělejte značku.



7. Určete úhel α (viz obr. 2) a pomocí vztahu v teoretickém úvodu určete mřížkovou konstantu CD.

8. Vyměňte CD za DVD a postup zopakujte.

Závěr

Záznam na CD má podobu mikroskopických prohlubní různé délky (tzv. pitů), které nesou příslušnou informaci. Pity jsou v drážkách stejné šířky, které na zrcadlovém povrchu vytváří optickou mřížku. Mřížková konstanta CD je přibližně . Na jeden milimetr tedy náleží zhruba drážek. Pro DVD vychází mřížková konstanta a na jeden milimetr připadá drážek.



INTERFERENCE A DIFRAKCE SVĚTLA

AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Část 1: Youngův experiment

Postup

1. Na tuhy připevněné modelínou posviťte laserovým ukazovátkem proti stěně tak, aby stopa paprsku dopadala na prostřední tuhu. Stručně popište, jak vypadá obrazec na stěně.

Na stěně je obrazec složený ze světlých a tmavých proužků, označovaných jako interferenční maxima a minima.

2. Zkuste totéž zopakovat s laserovým ukazovátkem jiné barvy při zachování vzdálenosti tuh od stěny. Jak se obrazec na stěně změní?

Pokud použijeme místo zeleného laserového ukazovátka červené s větší vlnovou délkou, interferenční maxima se od sebe více vzdálí.

Závěr

Úzké štěrbin y mezi tuhami v tomto experimentu nahrazují dva zdroje koherentního světla. Podoba interferenčního obrazce závisí na vlnové délce/frekvence/barvě použitého laserového ukazovátka. Čím větší je jeho vlnová délka, tím větší jsou vzdálenosti mezi jednotlivými maximy.

Část 2: Difrakce světla na tenkém drátku

Postup

2. Pozorně si prohlédněte obrazec na stěně. Co pozorujete?

Na stěně je vidět obrazec složený ze světlých a tmavých proužků, tedy maxim a minim.

3. Jak se obrazec změní, pokud držák s drátkem posunete blíže ke stěně?

Při posunutí drátku blíže ke stěně se maxima v obrazci přiblíží. Pokud bychom ho stále více přibližovali, maxima by nakonec splynula v jednu jedinou tečku.

4. Jak se změní obrazec, pokud vyměníte drátek za širší?

Při použití širšího drátku se vzdálenost maxim v obrazci zmenší.

Závěr

Posvítíme-li laserem na tenký drátek, můžeme na stínítku za ním sledovat ohybový obrazec. Při použití tenčího drátku se vzájemná vzdálenost interferenčních maxim zvětší. Pokud přiblížíme drátek ke stínítku, vzdálenost interferenčních maxim se zmenší.



Část 3: Difrakce světla na optické mřížce**Postup**

1. Laserovým ukazovátkem posviťte skrz optickou mřížku proti stěně. Co pozorujete? Jak se pozorovaný obrazec změní, pokud přiblížíme mřížku blíže ke stěně?

Na stěně je obrazec složený z úzkých světlých a širokých tmavých proužků. Pokud bude mřížka blíže ke stěně, tmavé proužky se viditelně zúží.

2. Jak se pozorovaný obrazec změní, pokud mřížku otočíme o 90° ?

Obrazec se také otočí o 90° .

7. Určete úhel α (viz obr. 2) a pomocí vztahu v teoretickém úvodu určete mřížkovou konstantu CD.

Výpočet viz str. 25.

8. Vyměňte CD za DVD a postup zopakujte.

Výpočet viz str. 25.

Závěr

Záznam na CD má podobu mikroskopických prohlubní různé délky (tzv. pitů), které nesou příslušnou informaci. Pity jsou v drážkách stejné šířky, které na zrcadlovém povrchu vytváří optickou mřížku. Mřížková konstanta CD je přibližně $(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^{-6}$ m. Na jeden milimetr tedy náleží zhruba (625 ± 40) drážek. Pro DVD vychází mřížková konstanta $(0,7 \pm 0,1) \cdot 10^{-6}$ m a na jeden milimetr připadá (1400 ± 90) drážek.



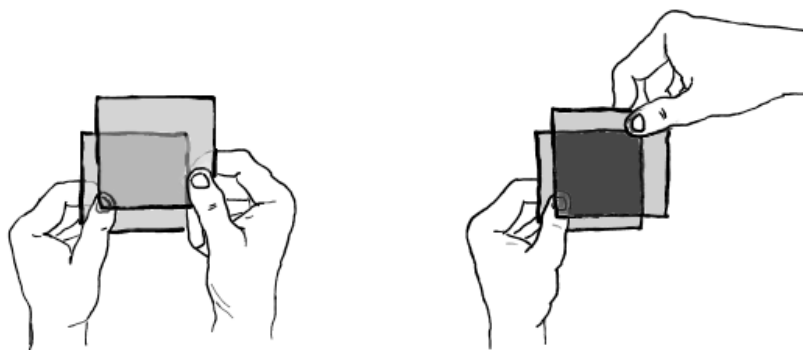
POLARIZACE SVĚTLA

Část 1: Polarizované světlo

Teoretický úvod

Světlo je příčné elektromagnetické vlnění, které popisujeme vektorem intenzity \vec{E} elektrického pole. Pokud tento vektor nahodile kmitá ve směrech kolmých na směr šíření světla, označujeme světlo jako nepolarizované. Nepolarizované světlo můžeme různými způsoby proměnit na lineárně polarizované, jehož vektor \vec{E} kmitá stále v jedné rovině.

Polarizované světlo můžeme získat odrazem a lomem, dvojlomem nebo absorpcí pomocí polarizačních filtrů, tzv. polaroidů. Kromě toho, že pomocí polaroidu můžeme světlo polarizovat, můžeme polaroid použít i k rozlišení polarizovaného světla a nalezení roviny, ve které leží polarizovaná světelná vlna.



Stejná orientace polaroidů

Otočení jednoho polaroidu o 90 °

Obr. 3: Polarizace světla pomocí polaroidu

Postup

1. Prohlédněte si polarizační fólie a zjistěte, kdy jsou vůči sobě stejně orientovány, popř. kdy jsou vůči sobě otočeny o 90 ° (viz obr. 1).
2. Mezi dvě fólie, které jsou vůči sobě otočené o 90 °, vložte třetí a postupně jí otáčejte. Popište, co pozorujete.



3. Nasadte si brýle s polarizačními fóliemi a prozkoumejte, které zdroje světla vysílají lineárně polarizované světlo (např. přirozené světlo, monitor, lampička, displej mobilního telefonu ...).

4. Prozkoumejte polarizaci světla odraženého od různých povrchů. Pozorujete stejné utlumení intenzity světla od všech povrchů? Odražením od kterých povrchů se světlo polarizuje více a od kterých méně?

5. Polarizační filtry často používají při své práci fotografové. Zkuste si na svůj mobilní telefon pomocí polarizačního filtru udělat fotografii zvedáku tak, aby na něm nebyly vidět odrazy světla.

Závěr

Přirozené světlo polarizované. Lidské oko polarizované světlo poznat. Polarizace světla odrazem je většinou jen částečná a na úhlu dopadu světla.

Část 2: Fotoelasticimetrie

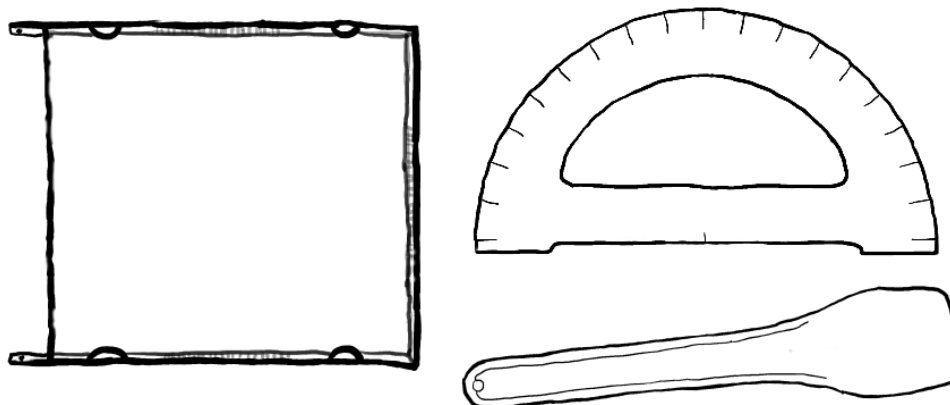
Teoretický úvod

Fotoelasticimetrie je experimentální metoda, která zkoumá rozložení mechanického napětí v materiálu. Metoda využívá umělého dvojlomu vyvolaného mechanickým namáháním materiálu, který se prosvětluje polarizovaným světlem. Při umístění zkoumané součástky mezi polarizační filtry lze pozorovat charakteristické obrazce z interferenčních proužků.



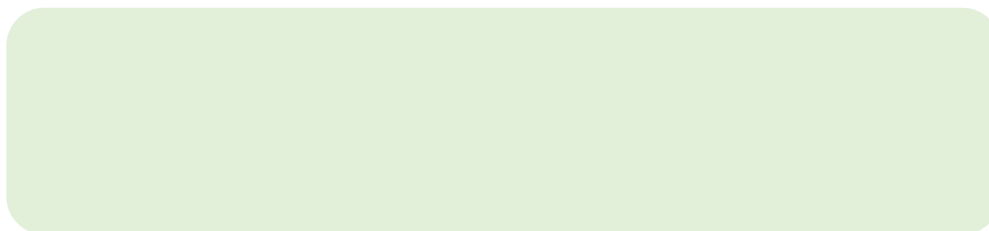
Postup

1. Nasadíte si brýle s polarizačními filtry a podívejte se postupně na různé pomůcky z průhledného plastu proti bílé svítícímu monitoru. Vyznačte v obrázku místa, v kterých jsou jednotlivé pomůcky nejvíce namáhány.



Obr. 4: Mechanické napětí plastových pomůcek

2. Podívejte se přes brýle proti monitoru na přiloženou pružnou součástku. Děje se něco, pokud začnete součástku různě ohýbat a namáhat ji?

**Závěr**

S větší hustotou interferenčních proužků je mechanické napětí ve zkoumaném místě .

Pokud budeme zkoumané předměty různě deformovat, uspořádání interferenčních proužků

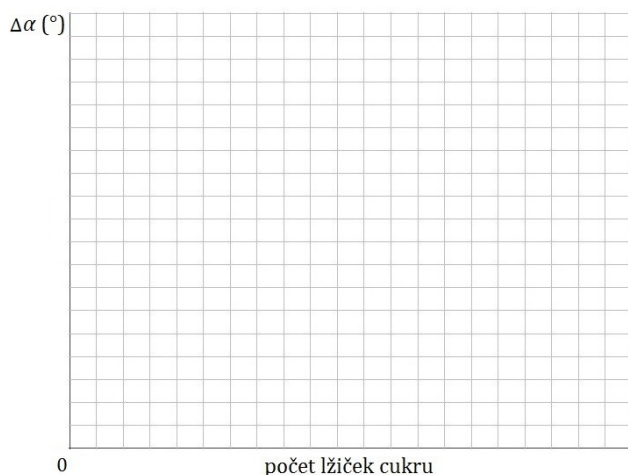
.



Část 3: Stáčení roviny polarizace

Postup

1. Mezi otočný filtr s úhloměrem a bíle svítící monitor vložte kyvetu s vodou ohřátou v rychlovarné konvici užší stěnou směrem k monitoru. Filtr natočte tak, aby intenzita procházejícího světla byla minimální.
2. Do kyvety s vodou přidejte 1 lžičku cukru a pořádně zamíchejte. Pootočením filtr s úhloměrem nastavte tak, aby intenzita procházejícího světla skrz kyvetu s vodou a cukrem byla opět minimální.
3. Krok 2 opakujte až do přidání celkem 6 lžiček cukru. Snažte se zachovávat množství cukru přidaného jednou lžičkou.
4. Naměřené údaje vyneste do grafu závislosti úhlu stočení roviny polarizace na počtu lžiček přidaného cukru.



počet lžiček cukru	změna úhlu $\Delta\alpha$ (°)
0	0
1	
2	
3	
4	
5	
6	

Závěr

Polarizované světlo se využívá i ke zkoumání tzv. opticky aktivních roztoků, které stáčí rovinu polarizace. Úhel stočení závisí na dráze, kterou světlo v látce urazí a zkoumaného roztoku.



POLARIZACE SVĚTLA

AUTORSKÉ ŘEŠENÍ

Část 1: Polarizované světlo

Postup

2. Mezi dvě fólie, které jsou vůči sobě otočené o 90° , vložte třetí a postupně jí otáčejte. Popište, co pozorujete.

Skrz dvě fólie, které jsou vůči sobě otočené o 90° , není nic vidět. Pokud vložíme třetí a budeme jí pomalu otáčet, budou fólie opět propouštět světlo. Nejvíce ho propustí v případě, kdy bude prostřední polarizační fólie s oběma krajními svírat úhel 45° .

3. Nasaďte si brýle s polarizačními fóliemi a prozkoumejte, které zdroje světla vysílají lineárně polarizované světlo (např. přirozené světlo, monitor, lampička, displej mobilního telefonu ...).

Zdrojem polarizovaného světla je LCD monitor a displej některých mobilních telefonů.

4. Prozkoumejte polarizaci světla odraženého od různých povrchů. Pozorujete stejné utlumení intenzity světla od všech povrchů? Odražením od kterých povrchů se světlo polarizuje více a od kterých méně?

Polarizace odrazem závisí na úhlu dopadajícího světla. Více polarizované světlo vidíme po odrazu od zvedáku či desky stolu, slabě polarizované při odrazu od lesklého notebooku.

5. Polarizační filtry často používají při své práci fotografové. Zkuste si na svůj mobilní telefon pomocí polarizačního filtru udělat fotografii zvedáku tak, aby na něm nebyly vidět odrazy světla.

Viz obrázek 3.16 na str. 27.

Závěr

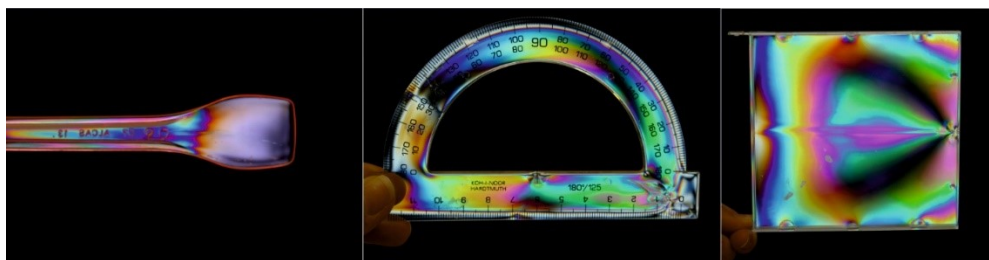
Přirozené světlo **není** polarizované. Lidské oko **nedokáže** polarizované světlo poznat. Polarizace světla odrazem je většinou jen částečná a **závisí** na úhlu dopadu světla.

Část 2: Fotoelasticimetrie

Postup

1. Nasaďte si brýle s polarizačními filtry a podívejte se postupně na různé pomůcky z průhledného plastu proti bílé svítícímu monitoru. Vyznačte v obrázku místa, v kterých jsou jednotlivé pomůcky nejvíce namáhány.





Nejvíce jsou namáhaná ta místa, ve kterých jsou interferenční proužky nejhustěji seskupeny, což jsou většinou místa s nějakými spoji či prasklinami.

- Podívejte se přes brýle proti monitoru na přiloženou pružnou součástku. Děje se něco, pokud začnete součástku různě ohýbat a namáhat ji?

Při ohýbání se mění rozložení interferenčních proužků a s tím i mechanické napětí v součástce.

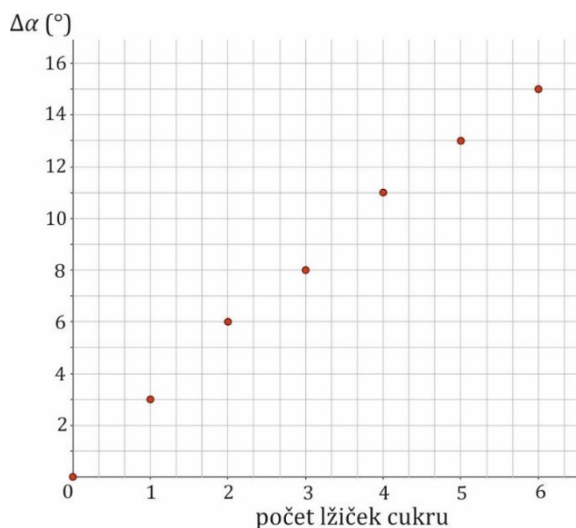
Závěr

S větší hustotou interferenčních proužků je mechanické napětí ve zkoumaném místě **větší**. Pokud budeme zkoumané předměty různě deformovat, uspořádání interferenčních proužků **se změní**.

Část 3: Stáčení roviny polarizace

Postup

- Naměřené údaje vyneste do grafu závislosti úhlu stočení roviny polarizace na počtu lžiček přidaného cukru.



počet lžiček cukru	změna úhlu $\Delta\alpha$ (°)
0	0
1	3
2	6
3	8
4	11
5	13
6	15

Závěr

Polarizované světlo se využívá i ke zkoumání tzv. opticky aktivních roztoků, které stáčí rovinu polarizace. Úhel stočení závisí na dráze, kterou světlo v látce urazí a **koncentraci** zkoumaného roztoku.



Příloha 2: Dotazník vlivu návštěvy IFL

V následující příloze se nachází dotazník, který byl zadán studentům v rámci výzkumu vlivu návštěvy Interaktivní fyzikální laboratoře. Dále byly pro lepší představu odpovědí zařazeny čtyři naskenované vyplněné dotazníky, které charakterizují různé situace popisované v kapitole 4.5, jako je např. odpověď odkazující na fata morgánu, obrázky optického vlákna aj.

Dotazník k návštěvě v IFL

Vážení studenti,
do ruky se Vám dostal dotazník, který by měl napomoci k vyhodnocení vlivu návštěvy Interaktivní fyzikální laboratoře (IFL) na způsob, jakým si vysvětlujete některé optické jevy. Dotazník je anonymní a jeho výsledky budou použity v mé diplomové práci. Prosím, vyplňte tento dotazník **co nejpodrobněji**.

*Děkuji za Vaši spolupráci.
Jana Machalická*

Jsem: Muž Žena Navštívil/a jsem IFL: ANO
NE

V IFL jsem při své návštěvě používal/a tyto pomůcky:

- půlválec, optické vlákno, zrcátko, hranol, kulové akvárium
- drátek, polarizační folie, optická mřížka, CD, monitor
- IFL jsem nenavštívil/a.

1. Popište **co nej přesněji**, k jakým optickým jevům dochází ve vodní kapce při vzniku duhy.

2. Popište **co nej přesněji** princip funkce optického vlákna a chod paprsku optickým vláknem.

3. Na dvě úzké blízké štěrby posvítíte laserovým ukazovátkem. Co pozorujete na stínítku za nimi? **Co nejpodrobněji** vysvětlete, proč se to děje.

4. Popište **co nejpodrobněji**, co se děje s lineárně polarizovaným světlem při průchodu různě koncentrovanými opticky aktivními roztoky.

Dotazník k návštěvě v IFL

Vážený student,

do ruky se Vám dostal dotazník, který by měl napomoci k vyhodnocení vlivu návštěvy Interaktivní fyzikální laboratoře (IFL) na způsob, jakým si vysvětlujete některé optické jevy. Dotazník je anonymní a jeho výsledky budou použity v mé diplomové práci. Prosím, vyplňte tento dotazník **co nejpodrobněji**.

Děkuji za Vaši spolupráci.

Jana Machalická

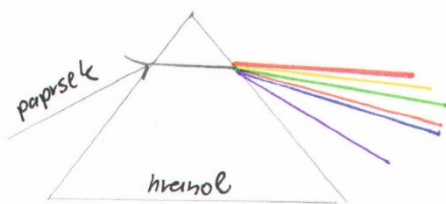
Jsem: Muž Žena Navštívil/a jsem IFL: ANO NE

V IFL jsem při své návštěvě používal/a tyto pomůcky:

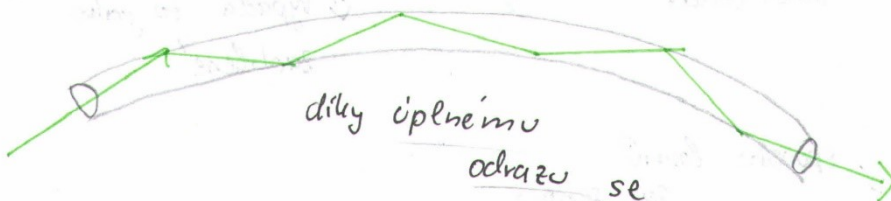
- půlválec, optické vlákno, zrcátko, hranol, kulové akvárium
- drátek, polarizační folie, optická mřížka, CD, monitor
- IFL jsem nenavštívil/a.

1. Popište **co nej přesněji**, k jakým optickým jevům dochází ve vodní kapce při vzniku duhy.

Dochází k disperzi světla. Bílé světlo \rightarrow barevné složky



2. Popište **co nej přesněji** princip funkce optického vlákna a chod paprsku optickým vláknem.



* paprsek by při

příchodu neměl být vidět \rightarrow 100% přesun světla

3. Na dvě úzké blízké štěrbině posvítíte laserovým ukazovátkem. Co pozorujete na stínítku za nimi? Co nejpodrobněji vysvětlete, proč se to děje.

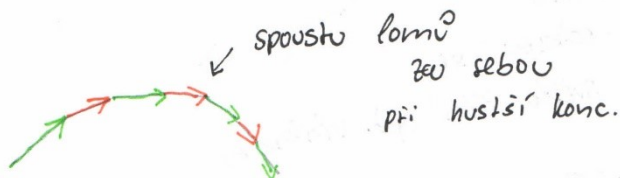
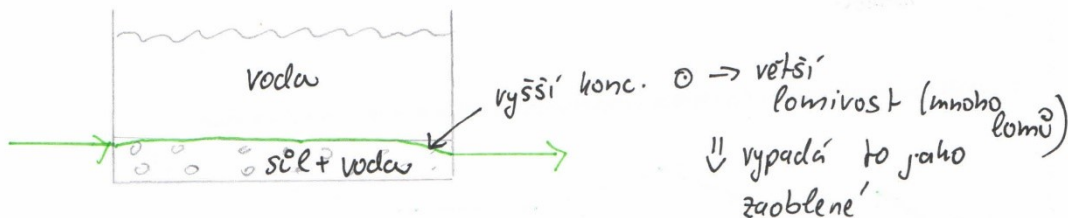
žabývá se tím Youngův pokus → na stínítku vznikají tzv. světlá a tmavá místa (interf.)

maxima a minima)
 vzdálenost štěrbin
 $y = b \cdot \frac{\lambda}{d}$ — vlnová délka
 vzdálenost štěrbin
 vzdálenost světlého a tmavého místa

$z_1, z_2 \dots$ zdroj
 $z_1, z_2 \dots$ zdroje vlníků štěrbinou



4. Popište co nejpodrobněji, co se děje s lineárně polarizovaným světlem při průchodu různě koncentrovanými opticky aktivními roztoky.



Dotazník k návštěvě v IFL

Vážený student,

do ruky se Vám dostal dotazník, který by měl napomoci k vyhodnocení vlivu návštěvy Interaktivní fyzikální laboratoře (IFL) na způsob, jakým si vysvětľujete některé optické jevy. Dotazník je anonymní a jeho výsledky budou použity v mé diplomové práci. Prosím, vyplňte tento dotazník **co nejpodrobněji**.

Děkuji za Vaši spolupráci.

Jana Machalická

Jsem: Muž Žena Navštívil/a jsem IFL: ANO NE

V IFL jsem při své návštěvě používal/a tyto pomůcky:

půlválec, optické vlákno, zrcátko, hranol, kulové akvárium

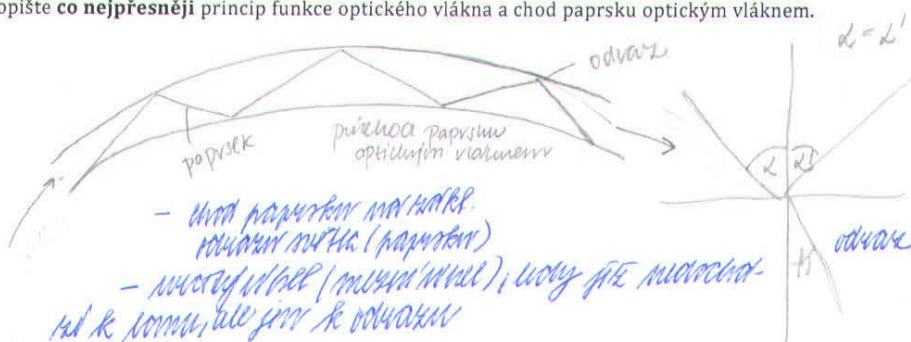
drátek, polarizační folie, optická mřížka, CD, monitor

IFL jsem nenavštívil/a.

1. Popište **co nej přesněji**, k jakým optickým jevům dochází ve vodní kapce při vzniku duhy.

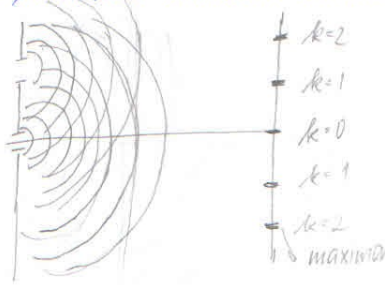
- rozklad světla na jednotlivé barvy má charakteristický polokružní tvar (refrakce?) → rozklad se k průměru barvy
- odraz světla, lom světla

2. Popište **co nej přesněji** princip funkce optického vlákna a chod paprsku optickým vláknem.



3. Na dvě úzké blízké štěrby posvítíte laserovým ukazovátkem. Co pozorujete na stínítku za nimi? Co **nejpodrobněji** vysvětlíte, proč se to děje.

- vznik interference (maxima a minima) (maxima - minima)
 v minimech 0, 4 λ , 8 λ , 12 λ , ... (k=0, 1, 2, ...) λ (maxima)
 → maxima ke sekundárnímu (interferenci)
 (která jsou sekundárního řádu?)
 - kde se pozoruje různé charakteristiky
 maxima



4. Popište **co nejpodrobněji**, co se děje s lineárně polarizovaným světlem při průchodu různě koncentrovanými opticky aktivními roztoky.

- světlo prochází podél opticky aktivního roztoku - rotace roviny polarizace
 → rotace roviny polarizace světla procházejícího roztokem

Dotazník k návštěvě v IFL

Vážený studente,

do ruky se Vám dostal dotazník, který by měl napomoci k vyhodnocení vlivu návštěvy Interaktivní fyzikální laboratoře (IFL) na způsob, jakým si vysvětľujete některé optické jevy. Dotazník je anonymní a jeho výsledky budou použity v mé diplomové práci. Prosím, vyplňte tento dotazník **co nejpodrobněji**.

Děkuji za Vaši spolupráci.

Jana Machalická

Jsem: Muž Žena Navštívil/a jsem IFL: ANO NE

V IFL jsem při své návštěvě používal/a tyto pomůcky:

půlválec, optické vlákno, zrcátko, hranol, kulové akvárium

drátek, polarizační folie, optická mřížka, CD, monitor

IFL jsem nenavštívil/a.

1. Popište **co nej přesněji**, k jakým optickým jevům dochází ve vodní kapce při vzniku duhy.

Dochází k lomu světla. Rozdělí se od červeného po fialové. Červené se lóme nejvíce fialové nejvíce.

2. Popište **co nej přesněji** princip funkce optického vlákna a chod paprsku optickým vláknem.

Vede světlo, světlo se umí odrážet od stěn.

3. Na dvě úzké blízké štěrbinu posvítíte laserovým ukazovátkem. Co pozorujete na stínítku za nimi? Co **nejpodrobněji** vysvětlíte, proč se to děje.

Zasvícením blízké štěrbinou laserovým světlem pozorujeme na stínítku za se
jeden proud světla rozdělil a svět (nic víc).



4. Popište **co nejpodrobněji**, co se děje s lineárně polarizovaným světlem při průchodu různě koncentrovanými opticky aktivními roztoky.

S roztokem kyseliny roztoku se světlo mění a světlo pod kterým je
polarizováno, aby nám pokaždé na roztoku, kterým prochází světlo měřím.

Dotazník k návštěvě v IFL

Vážený student,

do ruky se Vám dostal dotazník, který by měl napomoci k vyhodnocení vlivu návštěvy Interaktivní fyzikální laboratoře (IFL) na způsob, jakým si vysvětľujete některé optické jevy. Dotazník je anonymní a jeho výsledky budou použity v mé diplomové práci. Prosím, vyplňte tento dotazník **co nejpodrobněji**.

Děkuji za Vaši spolupráci.

Jana Machalická

Jsem: Muž Žena

Navštívil/a jsem IFL: ANO NE

V IFL jsem při své návštěvě používal/a tyto pomůcky:

půlválec, optické vlákno, zrcátko, hranol, kulové akvárium

drátek, polarizační folie, optická mřížka, CD, monitor

IFL jsem nenavštívil/a.

1. Popište **co nej přesněji**, k jakým optickým jevům dochází ve vodní kapce při vzniku duhy.



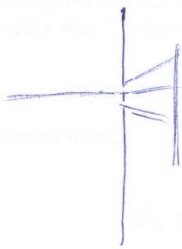
na stěračích/bocích/vozech kapky dochází k reflexi, která mění úhel, pod kterým jsou vidět věci za ní. ~~Odrazuje~~
Tento jev souvisí s duhou.

2. Popište **co nej přesněji** princip funkce optického vlákna a chod paprsku optickým vláknem.



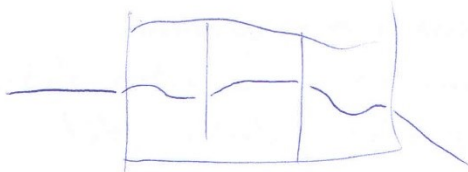
paprsek se při ne rovinnosti či zakřivení vlákna odraží od stěn vlákna, čímž se dostává dál

3. Na dvě úzké blízké štěrby posvítíte laserovým ukazovátkem. Co pozorujete na stínítku za nimi? Co **nejpodrobněji** vysvětlete, proč se to děje.



každá štěrbina se stává samostatným zdrojem světla
se svým vlastním směrem paprsků

4. Popište **co nejpodrobněji**, co se děje s lineárně polarizovaným světlem při průchodu různě koncentrovanými opticky aktivními roztoky.



světelný ~~paprsek~~ paprsek je ovládněn
O. a. roztoky a podle toho mění
okružní svět