

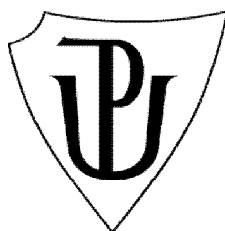
Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra experimentální fyziky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Experimenty z geometrické optiky pro výuku na střední škole



Autor:	Marie Vykydalová
Studijní program:	B1701 Fyzika
Studijní obor:	1701R003 Fyzika se zaměřením na vzdělávání
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	Mgr. František Látal, Ph.D.
Termín odevzdání práce:	Květen 2016

Bibliografický záznam

Jméno a příjmení:	Marie Vykydalová
Název práce:	Experimenty z geometrické optiky pro výuku na střední škole
Typ práce:	Bakalářská
Pracoviště:	Katedra experimentální fyziky
Vedoucí práce:	Mgr. František Látal, Ph.D.
Rok obhajoby práce:	2016
Abstrakt:	Bakalářská práce je zaměřena převážně na experimenty, které nám přibližují a názorně ukazují problematiku optiky. Cílem této práce bylo vytvořit soubor zajímavých pokusů s jednoduchými pomůckami.
Klíčová slova:	experiment, geometrická optika, střední škola, učebnice
Rozsah práce:	49
Jazyk	Český

Bibliographical identification:

Autor's first name and surname: Marie Vykydalová

Title: Experiments from geometric optics for teaching at secondary school

Type of thesis: Bachelor

Department: Department of Experimental Physics

Supervisor: Mgr. František Látal, Ph.D.

The year of presentation: 2016

Abstract: Bachelor thesis is mainly aimed on experiments which approach and illustrate the issue of optics. The aim of this thesis was to create a collection of interesting experiments with the simple tools.

Keywords: Experiment, geometrical optics, high school, textbook

Number of pages: 49

Language: Czech

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a v seznamu použité literatury jsem uvedla veškerou použitou literaturu a zdroje, ze kterých jsem čerpala potřebné informace, v seznamu použité literatury.

V Olomouci dne 12. 5. 2016

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Františku Látalovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, trpělivost, cenné rady a pomoc při jejím zpracování. Také děkuji mé rodině, která mi byla po celou dobu studia významnou oporou.

Obsah

1.	ÚVOD	7
2.	ZHODNOCENÍ DOSTUPNÉ LITERATURY	8
3.	ZÁKLADNÍ POZNATKY O EXPERIMENTU A OPTICE	11
3.1.	Fyzika a experiment	11
3.2.	Optika a její rozdělení.....	13
3.3.	Geometrická optika	14
3.3.1.	Šíření světla.....	14
3.3.2.	Odraz a lom světla	14
3.3.3.	Optické zobrazování	17
3.3.4.	Rovinná a kulová zrcadla.....	17
3.3.5.	Čočky.....	17
4.	VYBRANÉ A VYZKOUŠENÉ POKUSY.....	19
4.1.	Úplný odraz světla.....	20
4.2.	Krabička od tic tacu přeměněná na zrcadlo	21
4.3.	Měření indexu lomu.....	22
4.4.	Úplný odraz světla.....	26
4.5.	Měření indexu lomu vody.....	32
4.6.	Optická rovinná plocha.....	36
4.7.	Vodní perly.....	37
4.8.	Zrcadla – rovinná i kulatá	43
5.	ZÁVĚR.....	46
6.	SUMMARY	47
7.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	48

1. ÚVOD

Toto téma jsem si vybrala proto, že zájem mezi žáky středních škol o přírodní vědy není veliký, a přitom je fyzika velmi zajímavá a hlavně všude kolem nás. Výuka musí být odborná a kvalitní, a proto se hledají stále nové způsoby, jak udělat hodiny atraktivnější především pro podchycení zájmu žáků. Část hodiny, kdy jsme si názorně ukázali to, co jsme se učili, byla pro mě nejpřínosnější. Bohužel většina experimentů je velmi náročná na vybavení kabinetu fyziky nebo se neprovádí kvůli časové tísní. Experimenty bývají často první složkou výuky, která se ruší. Žáci tak ztrácí možnost snadnějšího chápání fyziky a motivaci k učení.

Cílem této bakalářské práce je vytvoření rešerše dostupných zdrojů souvisejících s geometrickou optikou. Na základě této rešerše bude možné přidat i běžně nevyužívané pokusy, které jsou časově i materiálně nenáročné a mohou obohatit vyučovací hodiny.

V první kapitole se věnuji rešerši dostupných zdrojů v knižní i elektronické podobě. Následuje krátké rozdělení experimentů a optiky. V další části se zaměřuji na podrobnější popis geometrické optiky. U jednotlivých teoretických kapitol jsou krátce popsány demonstrační experimenty, které se provádějí v hodinách fyziky.

V praktické části se snažím vytvořit studii jednoduchých, pro celou třídu finančně nenáročných a zároveň zajímavých experimentů, které by se mohly zařadit do výuky tohoto tematického celku na středních školách. Práce by mohla sloužit pedagogům jako zdroj podnětů pro výuku.

2. ZHODNOCENÍ DOSTUPNÉ LITERATURY

Nezákladnější vzdělávací pomůckou ve škole je učebnice. Je to opora pro učitele a žákům vymezuje rozsah požadovaných znalostí. Každá učebnice by měla splňovat odborné, didaktické, metodické, psychologické a lingvistické požadavky. Díky pokroku a novým poznatkům se stále musí vydávat nové učebnice, které splňují dané požadavky a jsou zpracovány atraktivnější formou, která využívá i moderní technologie. [3]

Toto si můžeme názorně ukázat na Učebnici Fyzika pro gymnázia, která vyšla v nakladatelství Prometheus. První vydání učebnice zaměřené na Optiku vyšlo v roce 1993 a do roku 2015 byla tato učebnice již pětkrát přepracovaná. Do 4. vydání se měnilo pořadí témat, bylo přidáno více úloh (teoretických i praktických) a odstraněno několik tiskových chyb v textu. Učebnice zahrnuje kapitoly: Základní pojmy, Zobrazování optickými soustavami, Vlnová optika, Elektromagnetické záření a jeho energie, Teoretická cvičení, Laboratorní cvičení [8]. Poslední verze, tedy 5. vydání, je podstatně jiné. Změny spočívají především ve zmenšení rozsahu knižní podoby učebnice. Po obsahové stránce splňuje požadavky Rámcového vzdělávacího programu pro gymnázia. Učebnice obsahuje tyto základní čtyři kapitoly: 1. Základní pojmy, 2. Zobrazování optickými soustavami, 3. Vlnová optika, 4. Elektromagnetické záření. V učebnici nejsou zahrnuty teoretická a laboratorní cvičení, protože jsou přesunuta na CD, které obsahuje: rozšiřující učivo, animace k učivu, videozáznamy experimentů, historické poznámky, slovníček fyzikálních pojmů, obrazové prezentace k učivu [10].

Každá učebnice fyziky je tematicky shodná a to díky Rámcovému vzdělávacímu programu (RVP), který udává rozsah tematických celků a následné osvojení klíčových kompetencí u studentů. V RVP pro gymnázia v optickém zobrazování je: zobrazování odrazem na rovinném a kulovém zrcadle, zobrazení lomem na tenkých čočkách, zorný úhel, oko jako optický systém, lupa [23].

Na gymnáziích a středních školách jsou nejvíce používány tyto učebnice zaměřené na optiku: Fyzika pro gymnázia Optika a druhý díl publikace Fyzika pro střední školy. V učebnicích se nejvíce setkáváme s demonstračními pokusy, které jsou názorně ukázány pomocí fotografií a popisky děje. Jsou tu fotografie ukazující odrazy a lomy paprsků, různá zrcadla, zobrazení dutým zrcadlem, chod paprsků přes čočky. Učebnice Fyzika

pro gymnázia obsahuje na konci kapitoly Laboratorní cvičení. Z geometrické optiky zde můžeme najít návody na měření indexu lomu a ohniskové vzdálenosti čočky [6, 8].

K základním zdrojům učitele k čerpání inspirace k experimentům je čtyřdílná publikace Pokusy z fyziky na střední škole od Emanuela Svobody a kol. Optiku a fyziku mikrosvěta nalezneme v jejím čtvrtém díle. Z geometrické optiky je zde uvedeno 40 experimentů. V první kapitole Přímocharé šíření světla, můžeme najít tři pokusy. Je to jedna z kratších kapitol, ale pokusy jsou zajímavé, jednoduché a neobvyklé. Jako pomůcky se používají např. inkoust, cigareta, špendlíky, lepící pasky, pingpongový míček aj. Za zmínku stojí také kapitola s experimenty, které ukazují úplný odraz světla například totální odraz ve vytékající vodě, který pracuje s optickým vláknem. Pokusy zaměřené na zrcadla a zobrazování pomocí čoček pracují především s laserem a jeho odrazem [15].

Učitel může také čerpat z řad odborných časopisů jako je Matematika – informatika – fyzika. Tento časopis se vydává již od roku 1991. V letech 1991 – 2012 časopis vycházel pouze v tištěné podobě (1. - 21. ročník), od roku 2013 je volně dostupný na internetu (22. - 25. ročník). Články nejsou zaměřené jen na experimenty. Časopis informuje čtenáře o novinkách v matematice, informatice a fyzice, poskytuje rady pro učitele a vysvětluje úlohy z olympiád. V každém čísle jsou obvykle 3 články zabývající se fyzikou. V elektronické podobě jsou tři články související s geometrickou optikou. V roce 2014 vyšel, ve třetím čísle, článek *Hrajeme si hlavou* od autorů Jany Česákové a Michaely Křížové, kde jsou popisovány experimenty se zrcadly. O rok později také ve třetím čísle můžeme najít článek od Věry Pejčochové *Hračky ve výuce fyziky*, kde se popisují válcové vodní čočky. V roce 2016 vyšel, v prvním čísle, článek *Učebnice optiky pro gymnázia nově* od autora Oldřicha Lepila, kde popisuje poslední vydání učebnice optiky pro gymnázia. Z každé části fyziky se v tomto časopise dají najít zajímavé a názorné pokusy [22].

Na webové stránce Školská fyzika <http://sf.zcu.cz/cs/clanek/2-archiv-cisel> můžeme najít archiv čísel z roku 2012, 2013 a 2014. Články se zabývají novinkami ve fyzice, radami pro učitele, nejrůznějšími zajímavostmi a experimenty. Experimenty zabývající se geometrickou optikou jsou popsány ve dvou článcích. První můžeme najít ve třetím čísle vydaném v roce 2014. Článek je od autorů Ludmily Onderové a Jozefa Ondery s názvem: *Špendlík a čo s ním?*. Je zde zpracovaných sedm jednoduchých experimentů se špendlíkem, z toho tři jsou na geometrickou optiku. Ve druhém čísle z roku 2013 je článek *Hrajeme si hlavou* od autorů Jany Česákové a Michaely Křížové, kde je opět

několik experimentů, z toho jeden je zaměřen na optický klam. Více návodů experimentů na geometrickou optiku zde není [24].

Stránka www.fyzweb.cz je provázána se stránkou <http://www.vernier.cz>. Pro snadnou orientaci jsou experimenty rozdělené podle učebnic pro gymnázia z nakladatelství Prometheus. Můžeme zde najít experimenty, které mají zpracované pracovní listy, protokoly, vzorová řešení i prezentaci. Ve většině experimentů je potřeba přístrojů Vernier [17].

Na stránce <http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz> jsou experimenty rozdělené podle témat. Na této webu můžeme najít:

- fotografie pro názornost jevu – např. experiment pod názvem *Rozbitý budík*, kde můžeme vidět lom světla. Dále např. *Panoptika*, kde je uveden odkaz na fotografie od neznámých autorů: Světlo a stín; Zrcadla; Pohled zpod hladiny.
- demonstrační pokusy – např. experiment pod názvem *Lom světla v akváriu*, kde jsou popsány děje: lom a totální odraz světla. V odkazu *Žákovský lom světla* je uveden lom světla v Petriho misce. V odkazu *Sada čoček* se můžeme dočíst kde sehnat a jak používat čočky.
- návody pro výrobu pomůcek – např. experiment pod názvem *Žákovská optická lavice; Válcová zrcadla*.
- složitější pokusy – např. experiment pod názvem *Optické čidlo, Projekční mikroskop, Systém RGB*. Pro tyto pokusy je důležité zajistit i propojení s počítačem [18].

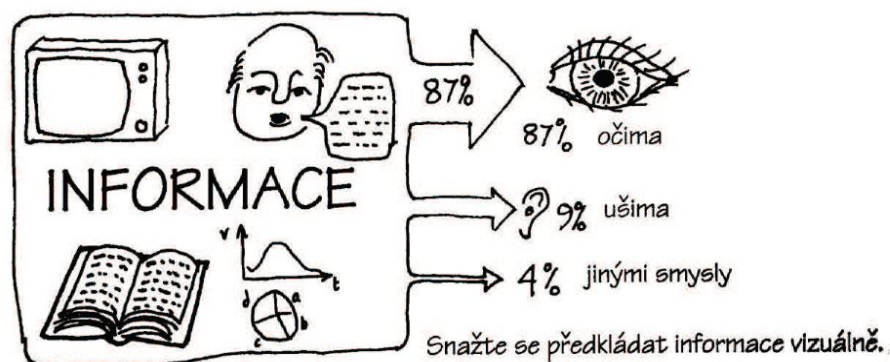
Na stránce [http://vmuf.cz/sbornik/temata/Optika_\(5\).html](http://vmuf.cz/sbornik/temata/Optika_(5).html) nalezneme souhrnný sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky, který obsahuje 70 odkazů z oblasti optiky. Můžeme zde najít jak návody na výrobu optických zařízení, tak i demonstrační a laboratorní experimenty. Na geometrickou optiku je zaměřeno 24 odkazů. Nejčastěji se objevují experimenty od autorů I. Baník (měření indexu lomu), L. Dvořák (další nápady z Malé Hraštic, pár věcí z tábora) a dvojice autorů P. Kříž a F. Špulák (optické soupravy) [26].

3. ZÁKLADNÍ POZNATKY O EXPERIMENTU A OPTICE

3.1. Fyzika a experiment

Fyzika vychází jak z přímého pozorování přírodních dějů, tak i z experimentu. Experiment má tu výhodu, že badatel navodí děj, který je možné opakovat a tím je schopen odstranit rušivé elementy a staticky vyhodnotit chybu měření. Následuje matematický a fyzikální popis děje a vyslovení fyzikálních zákonů. Tvzení „příroda se řídí fyzikálními podmínkami“ můžeme tedy považovat za chybné, protože příroda se řídí sama, člověk ji jen pozoruje a podle toho formuluje zákony [16].

„Při výuce bývá nejčastěji používán verbální komunikační kanál, z mnoha příčin jsou však efektivnější informace vizuální. Výzkumy ukazují, že informace vstupují do našeho mozku následujícím způsobem: [13]“



Obr. 1.: Rozdělení přijímaných informací (zdroj: [13])

Rozdělení experimentu se může v různých didaktických literaturách lišit. Nejčastěji se pokusy klasifikují podle zaměření, provedení, logické povahy a podle jejich didaktické funkce [14].

Rozdělení experimentu podle:

- zaměření – demonstrační, žákovské, frontální, skupinové, individuální, domácí práce, laboratorní úlohy;
- provedení – reálné, myšlenkové;
- logické povahy – kvalitativní, kvantitativní;
- didaktické funkce – heuristické (objevitelské), verifikační (ověřovací), expoziční (ilustrační), motivační, aplikační, diagnostické [14].

3.2. Optika a její rozdělení

Optika je obor fyziky, který se zabývá světlem. Zkoumá podstatu světla a zákonitosti světelných jevů a jejich interakcí s látkami [7]. Podle jevů a dějů ji dělíme na:

- **geometrickou optiku** – světlo je popisováno a studováno jako soubor světelných paprsků;
- **vlnovou optiku** – světlo se studuje v podobě elektromagnetických vln;
- **kvantovou optiku** – světlo je popisováno jako proud částic.

3.3. Geometrická optika

3.3.1. Šíření světla

Šíření světla je nejvíce ovlivněno prostředím, v jakém se nachází. Nejčastěji se tento fyzikální jev ukazuje pomocí různých typově odlišných skel.

- Přes čiré sklo prochází světlo téměř beze změny. Prostředí je tedy průhledné.
- Barevným sklem projde jen světlo určitých vlnových délek. Pozorujeme zde děj, který je definován jako absorpce světla.
- Matné sklo mění směr šíření světla. Tento děj se definuje jako rozptyl světla a prostředí je průsvitné. Rozptyl světla nastává i v zakouřeném prostředí [15].
- Zrcadlem světlo neprochází, pouze se od povrchu odráží. Nastává děj nazývaný se odraz světla. Prostředí je neprůhledné.

3.3.2. Odraz a lom světla

U světla můžeme pozorovat dva děje - odraz a lom. Tyto reakce nastávají, když paprsek světla dopadá na rozhraní dvou odlišných prostředí např. ze vzduchu do vody nebo ze vzduchu do skla.

Při výpočtu lomu světla používáme vzorec, který je odvozen při mechanickém vlnění pomocí Huygensova principu a zní:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2},$$

přičemž α je úhel dopadu, β je úhel lomu, v_1 a v_2 jsou rychlosti šíření světla.

Pokud se světlo šíří z prostředí o indexu lomu n_1 a rychlosti v_1 do prostředí o indexu lomu n_2 a rychlosti v_2 , můžeme vyjádřit poměr rychlostí.

Dosažením do zákona lomu mechanického vlnění můžeme vyjádřit zákon lomu pro optiku:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Index lomu charakterizuje dané prostředí. Hodnoty pro daná prostředí najdeme v Matematických, fyzikálních a chemických tabulkách (MFChT). V tabulce níže je vypsáno několik příkladů indexů lomu optických prostředí, se kterými se setkáváme nejčastěji a které se budou dále v textu objevovat.

prostředí	vzduch	voda	sklo korunové lehké	olej cedrový
Index lomu	1,0	1,332	1,515	1,505

Tabulka 1.: Index lomu (zdroj: MFChT)

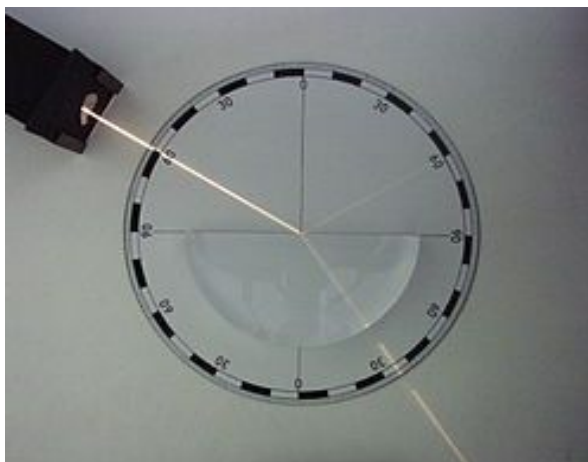
Podle výše uvedeného zákona lomu nastává při přechodu z opticky řidšího prostředí do opticky hustšího lom ke kolmici. V pokusech budeme používat prostředí vzduchu a skla, pokud nebude řečeno jinak. Na indexech můžeme vidět, že index skla je vyšší, a tudíž je prostředí opticky hustší. Když světlo prochází opticky hustším prostředím (sklo) do opticky řidšího (vzduch), dochází k lomu od kolmice.

Když se dostaneme na rozhraní opticky hustšího prostředí s prostředím opticky řidším a světlo dopadá pod úhlem větším než je mezní úhel (90°), dochází k úplnému odrazu světla. Světlo se neláme, jen odráží podle zákona odrazu.

Pro mezní úhel plátí:

$$\sin\alpha = \frac{1}{n}.$$

Jednoduchá a nejlépe názorná je ukázka pomocí optického kotouče, kterou můžeme najít v každé učebnici. Deska je kruhového tvaru a obsahuje úhlovou stupnici. Na tuto desku se upevňují modely optických prvků, například zrcátko, půlválec zhotovený ze skla nebo plexiskla. Názorně je vidět odraz, který je definován tím, že úhel odrazu α je roven velikosti úhlu dopadu α' .



Obr. 2.: Odraz a lom světla (zdroj: <https://en.wikipedia.org/wiki/Refraction>)



Obr. 3.: Znárodnění lomu světla od kolmice
(zdroj: <http://practicum.jouwweb.nl/practicum-optica>)



Obr. 4.: Demonstrace úplného odrazu světla (zdroj: Fyzika pro Gymnázia, str. 24)

3.3.3. Optické zobrazování

Každý předmět, který pozorujeme, vytváří rozbíhavý svazek světelných paprsků. Může se jednat o zdroj světla (světlo daný předmět samo vyzařuje) nebo se od daného předmětu pouze světlo odráží a rozptyluje.

V případě sbíhavého svazku vzniká v průsečíku paprsků obraz skutečný, který lze zachytit na stínítku. V praxi se s touto metodou můžeme setkat v kině při promítání na projekční plochu.

Naopak když se nám paprsky rozbíhají, vzniká obraz zdánlivý, který na stínítku nelze zachytit. Lze ho však subjektivně pozorovat okem při denním světle v běžném životě. Člověk může tento obraz vnímat, protože oční čočka změní rozbíhavé paprsky na sbíhavé [8].

3.3.4. Rovinná a kulová zrcadla

Rovinná optická plocha je určena k odrazu popř. lomu světelných paprsků [7].

Zrcadlicí plocha může být i různě zakřivená a tím se mění obraz. Nejčastěji se používají kulová zrcadla, která obraz nedeformují, ale mění jeho velikost. Rozlišujeme dutá a vypuklá zrcadla. Při zobrazování kulovým zrcadlem jsou nejdůležitější dva body – střed křivosti zrcadla C a vrchol zrcadla V . Ohnisko kulového zrcadla je definováno

$$f = |FV| = \frac{r}{2}.$$

Vypuklá zrcadla vytvářejí zmenšený obraz. V praxi se využívají jako zpětná zrcadla v automobilech a na nepřehledných křižovatkách.

Dutá zrcadla jsou součástí osvětlovacích zařízení [6].

3.3.5. Čočky

Čočky rozdělujeme podle toho, jak se šíří světlo po jeho průchodu. Když se světlo po průchodu láme tak, že se paprsky sbíhají do jednoho bodu, je jeho ohnisková vzdálenost kladná a mluvíme o spojné čočce. Ty mohou být dvojvypuklé, ploskovypuklé nebo dutovypuklé. Když se paprsky naopak rozbíhají, mají obrazovou ohniskovou

vzdálenost zápornou, mluvíme o rozptylné čočce. Rozptylka může být dvojdutá, ploskodutá, vypuklodutá.

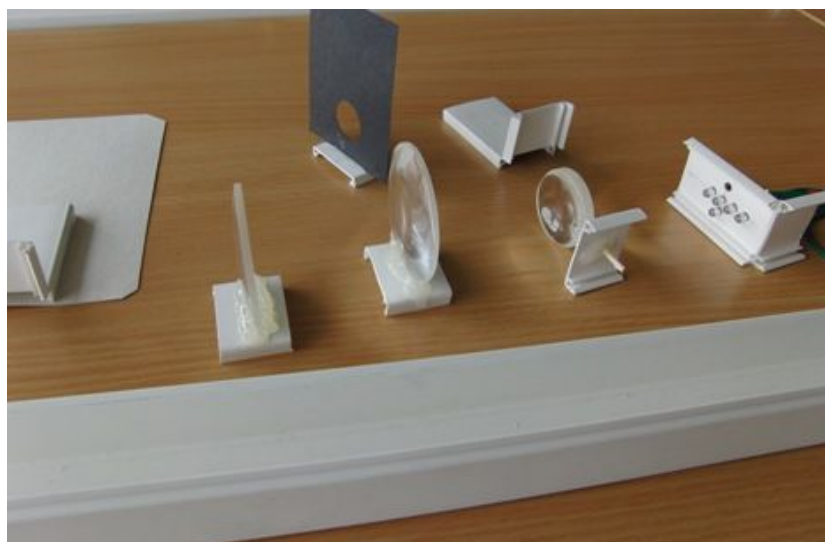
Nejčastější typ úlohy u laboratorních experimentů s tématem čoček, ať už se spojnou nebo rozptylnou, je měření ohniskové, předmětové a obrazové vzdálenosti.

Určuje se na základě zobrazovací rovnice, kde a je předmětová vzdálenost a a' je obrazová vzdálenost.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}.$$

Experimenty se většinou měří na optické lavici, kde je upevněný zdroj světla, předmět, stínítko a stojánky pro čočky. Optická lavice obsahuje také milimetrovou stupnici, která nám umožňuje určit hledanou neznámou vzdálenost.

Optická lavice nemusí být žádný drahý přístroj. Stačí nám elektrikářské lišty, které nám zaručí to, že se bude dát s příslušenstvím dobře pohybovat. Dolní část lišty zůstane v celku a z vrchní části si uřízneme krátké kousky, na které pak tavnou pistolí nalepíme danou čočku. Jako zdroj využijeme LED diody, které můžeme napájet z ploché baterie [28].



Obr. 5.: Prvky jednoduché optické lavice z plastové elektroinstalační lišty
(zdroj: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/15-05-Dvorak.html>)

4. VYBRANÉ A VYZKOUŠENÉ POKUSY

V následující části práce jsou pokusy, které se v nejpoužívanějších učebnicích neuvádí. Čerpali jsme převážně z odborných časopisů a z dostupných zahraničních zdrojů.

Výběr vhodných pokusů byl ovlivněn několika kritérii. Experimenty musely být provedeny za pomoci jednoduchých a běžně dostupných pomůcek, musely názorně prokazovat pravdivost fyzikálních zákonů a nesměly být časově náročné. Experimenty slouží k osvojení fyzikálních pojmů, ovládnutí potřebné experimentální dovednosti při práci s měřidly, zpracovávání a vyhodnocování získaných dat, vyvozování souvislosti mezi získanými poznatky a k předvídání průběhu pokusu [9].

4.1. Úplný odraz světla

Pomůcky: sklenice, voda, olej, vidlička (může být i jiný předmět)

Příprava a provedení: Sklenici s vodou postavíme na okraj stolu. Vodní hladina, na kterou se díváme zespodu, na nás působí jako zrcadlo. Budeme-li pomalu ponořovat vidličku do vody, uvidíme jak hroty vidličky, tak i jejich odraz od hladiny [5].

Dále vyměníme vodu za olej a budeme pozorovat, zda nastane stejný jev jako u vody.



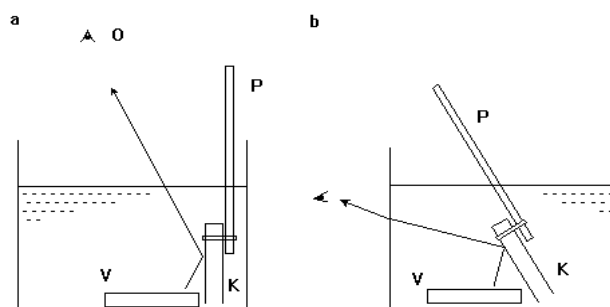
Obr. 6.: Vidlička a její odraz od hladiny ve vodě (Foto: Marie Výkydalová)

Závěr: Ve vodě i v oleji nastal totožný jev. Světelné paprsky, které směřují od vidličky, procházejí pod větším úhlem, než je mezní úhel. Díváme se na úplný odraz světla od hladiny zpět do vody. Paprsky se odráží pod stejným úhlem, pod kterým dopadly na rozhraní voda, vzduch.

4.2. Krabička od tic tacu přeměněná na zrcadlo

Pomůcky: skleněná nádoba, krabička od tic-tacu, pravítko, gumička, pestré plechové víčko od zavařovací sklenice

Příprava a provedení: Za pomoci gumičky do vlasů připevníme ke krabičce pravítko tak, jako ukazuje obr. 7a. Otvor krabičky musí být otočený směrem dolů, aby v ní zůstal vzduch i při ponoření do vody. Na dno skleněné nádoby, která je naplněná vodou, dáme barevný předmět. Důležité je, aby to byl předmět, který vydrží na dně nádoby a nebude se nadnášet (např. plechové víčko od zavařování) [20].



Obr. 7a,b.: Schéma pokusu pozorovatele z vrchu a z boku
(zdroj: Matematika – fyzika – informatika, díl 11, str. 289)



Obr. 8.: Odras plechového víčka do krabičky od tic tacu (foto: Marie Vykydalová)

Závěr: V krabičce nám zůstal vzduch i po ponoření do nádoby s vodou. Tento vzduch vytváří prostor s nižším indexem lomu než má voda, která je kolem. Pozorovatel, který pozoruje děj z vrchu, vytváří optimální podmínky pro úplný odraz, a proto se nám krabička přemění na zrcadlo. Pokud by pozorovatel měl pravítko stále ve svislé poloze a díval se na tento jev z boku, krabička by se jevila jako průhledná. Jak můžeme vidět na obr. 7b, při správném sklonu pravítka s krabičkou můžeme pozorovat odraz víčka i přes stěnu nádoby.

4.3. Měření indexu lomu

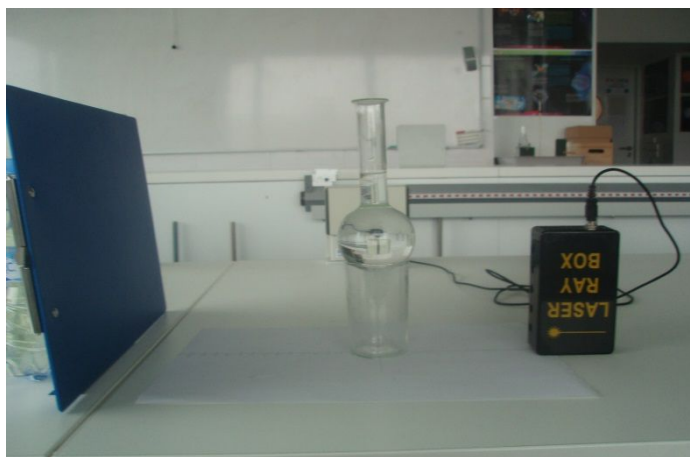
Pomůcky: skleněná baňka, vícepaprskový laser, stínítko a podložka se stupnicí ke snadnějšímu odečítání hodnot

Příprava a postup: Skleněnou baňku naplníme vodou a postavíme na podložku tak, aby stupnice začínala uprostřed baňky. Z laseru propustíme dva paprsky přes baňku na stínítko. Stínítko posuneme tak, aby se nám paprsky protnuly. Průsečík paprsků je ohnisková vzdálenost, kterou snadno odečteme na podložce. Pro výpočet indexu lomu použijeme vztah pro ohniskovou vzdálenost čočky [4]:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right).$$

Baňku máme rovnoměrně kulatou, proto můžeme provést $r = r_1 = r_2$. Vzorec si upravíme do podoby:

$$n = 1 + \frac{r}{2f}.$$



Obr. 9.: Měření indexu vody (foto: Marie Vykydalová)

Naměřené hodnoty a výsledky: Měřili jsme index lomu vody a oleje ve skleněné baňce o průměru $d=6,13\text{cm}$. Změřili jsme ohniskovou vzdálenost a vypočítali jsme chybu měření. Pomocí upraveného vzorce jsme následně vypočítali index lomu.

Voda

n	f	(f- \bar{f})	(f- \bar{f}) ²
1	5,6	0,12	0,0144
2	5,3	-0,18	0,0324
3	5,4	-0,08	0,0064
4	5,6	0,12	0,0144
5	5,1	-0,38	0,1444
6	5,0	-0,48	0,2304
7	5,4	-0,008	0,0064
8	5,6	0,12	0,0144
9	5,6	0,12	0,0144
10	5,4	-0,08	0,0064

Tabulka 2.: Výpočty pro vodu

$$\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i = 5,48$$

$$\sum_{i=1}^n (f - \bar{f})^2 = 0,484$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f - \bar{f})^2}{n(n-1)}} = 0,07$$

$$n = 1 + \frac{r}{2f} = 1,29$$

$$n = (1,29 \pm 0,07)$$

$$\delta n = \frac{0,07}{1,29} \cdot 100\% = 5,43\%$$

Olej

n	f	$(f - \bar{f})$	$(f - \bar{f})^2$
1	2,7	-0,24	0,0576
2	2,9	-0,04	0,0016
3	3,1	0,16	0,0256
4	2,8	-0,14	0,0196
5	3,0	0,06	0,0036
6	3,0	0,06	0,0036
7	2,7	-0,24	0,0576
8	3,0	0,06	0,0036
9	2,9	-0,04	0,0016
10	3,3	0,36	0,1296

Tabulka 3.: Výpočty pro olej

$$\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i = 2,94$$

$$\sum_{i=1}^n (f - \bar{f})^2 = 0,304$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f - \bar{f})^2}{n(n-1)}} = 0,06$$

$$n = 1 + \frac{r}{2f} = 1,53$$

$$n = (1,53 \pm 0,06)$$

$$\delta n = \frac{0,06}{1,53} \cdot 100\% = 3,92\%$$

Závěr: Vypočítali jsme index vody pro vodu a olej. Podle MFChT má voda index lomu $n=1,33$ a námi naměřené hodnoty vyšly $n = (1,29 \pm 0,07)$ s relativní chybou 5,43%. Naměřené hodnoty se liší s tabulkovými o 3,15%. U oleje jsou v MFChT tři hodnoty pro tři různé oleje (cedrový, lněný, ricinový). My jsme měřili s olejem slunečnicovým. Vyšla nám hodnota $n = (1,53 \pm 0,06)$ s relativní chybou 3,92%. Hodnota se nejvíce blíží cedrovému oleji, který má index lomu $n=1,505$.

4.4. Úplný odraz světla

Pomůcky: skleněná kádinka, zkumavka, korálek, voda, olej, úhloměr

Příprava a provedení: Do kádinky nalijeme vodu a do zkumavky dáme korálek. Ponoříme zkumavku s korálkem do kádinky. Při pohledu z boku můžeme korálek vidět. Při pohledu z vrchu zjistíme, že zmizel. Můžeme experimentovat dále a dát do kádinky místo vody olej a pozorovat za jakých podmínek korálek zmizí. Následně nechat olej v kádince a do zkumavky dát vodu. Experimentálně ověříme vypočítané hodnoty pro mezní úhel [25].

Vysvětlení: Předměty můžeme vidět za podmínky, že samy vysílají světlo nebo ho odráží. Při pozorování korálku musí světlo projít z prostředí skleněné kádinky do prostředí zkumavky. Vezmeme si první příklad, kdy v kádince máme vodu a ve zkumavce vzduch. Vzduch je prostředí opticky řidší než voda. Je tedy splněna podmínka pro úplný odraz a můžeme Snellův zákon lomu upravit do tvaru

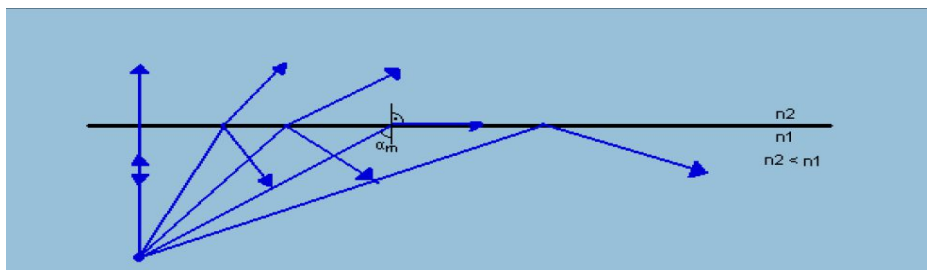
$$\frac{\sin \alpha_m}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Vzhledem k tomu, že

$$\sin 90^\circ = 1,$$

lze psát

$$\sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}.$$



Obr 10.: Úplný odraz (zdroj: [21])

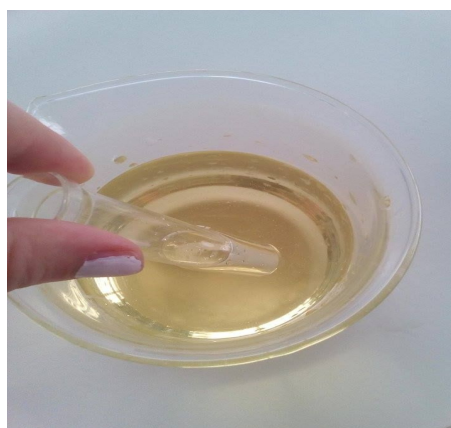
Naměřené hodnoty a výsledky:



Obr 11.: Úplný odraz světla – viditelnost korálky z boku (foto: Marie Vykydalová)



Obr 12.: Úplný odraz světla – mezní úhel pro vodu a vzduch (foto: Marie Vykydalová)



Obr 13.: Úplný odraz světla – mezní úhel pro olej a vzduch (foto: Marie Vykydalová)

Voda - vzduch

n	α	$(\alpha - \bar{\alpha})$	$(\alpha - \bar{\alpha})^2$
1	45°	-0,4	0,16
2	43°	-2,4	5,76
3	44°	-1,4	1,96
4	48°	2,6	6,76
5	47°	1,6	2,56

Tabulka 4.: Výpočty pro prostředí voda a vzduch

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i = 45^{\circ}24'$$

$$\sum_{i=1}^n (\alpha - \bar{\alpha})^2 = 17,2$$

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha - \bar{\alpha})^2}{n(n-1)}} = 0,93$$

$$\alpha = (45,40 \pm 0,93)^{\circ}$$

$$\delta\alpha = \frac{0,93}{45,40} \cdot 100\% = 2,05\%$$

Olej - vzduch

n	α	$(\alpha - \bar{\alpha})$	$(\alpha - \bar{\alpha})^2$
1	39°	-1,0	1,0
2	40°	0	0
3	37°	-3,0	9,0
4	41°	1,0	1,0
5	43°	3	9,0

Tabulka 5.: Výpočty pro prostředí olej a vzduch

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i = 40^\circ$$

$$\sum_{i=1}^n (\alpha - \bar{\alpha})^2 = 20$$

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha - \bar{\alpha})^2}{n(n-1)}} = 1,0$$

$$\alpha = (40,0 \pm 1,0)^\circ$$

$$\delta\alpha = \frac{1,0}{40,0} \cdot 100\% = 2,5\%$$

Olej - voda

n	α	$(\alpha - \bar{\alpha})$	$(\alpha - \bar{\alpha})^2$
1	65°	0,8	0,64
2	63°	-1,2	1,44
3	67°	2,8	7,84
4	64°	-0,2	0,04
5	62°	-2,2	4,84

Tabulka 6.: Výpočty pro prostředí olej a voda

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i = 64^{\circ}24'$$

$$\sum_{i=1}^n (\alpha - \bar{\alpha})^2 = 14,8$$

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha - \bar{\alpha})^2}{n(n-1)}} = 0,86$$

$$\alpha = (64,40 \pm 0,86)^{\circ}$$

$$\delta\alpha = \frac{0,86}{64,40} \cdot 100\% = 1,34\%$$

Vypočítané hodnoty: $\sin\alpha_m = \frac{n_2}{n_1}$

Voda, vzduch $\alpha_m = 48^{\circ}45'$

Olej, vzduch $\alpha_m = 41^{\circ}48'$

Olej, voda $\alpha_m = 62^{\circ}27'$

Závěr: V tomto experimentu jsme dokázali úplný odraz světla. U prostředí voda, vzduch nám měla vyjít podle výpočtů hodnota mezního úhlu $\alpha_m = 48^\circ 45'$. Naměřená hodnota vyšla $\alpha = (45,40 \pm 0,93)^\circ$. V prostředí olej, vzduch je hodnota mezního úhlu $\alpha_m = 41^\circ 48'$. Naměřená hodnota $\alpha = (40,0 \pm 1,0)^\circ$. Pro olej, voda nám vyšel největší úhel $\alpha_m = 62^\circ 27'$, protože podíl jejich indexů lomů je největší. Naměřená hodnota nám vyšla $\alpha = (64,40 \pm 0,86)^\circ$ a vypočítaná hodnota je $\alpha_m = 62^\circ 27'$. Nejlépe se měřilo, když jsme si dali do zkumavky špejli, která nám přesněji ukazovala daný úhel.

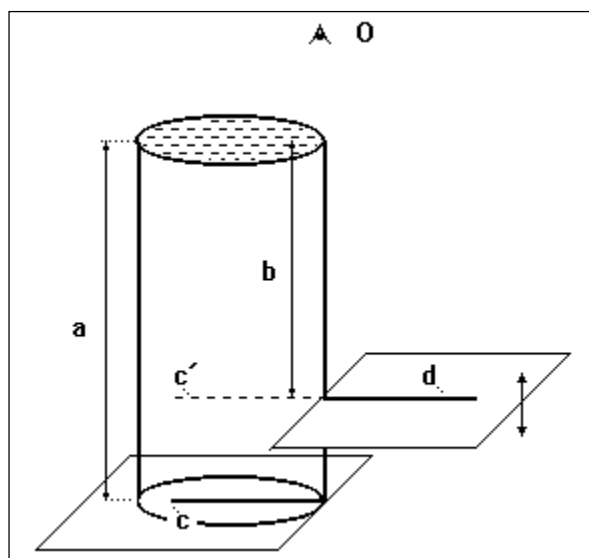
4.5. Měření indexu lomu vody

Určitě se každému stalo to, že si myslel, že hloubka v bazénu je menší, než hloubka reálná. Je to způsobeno indexem lomu vody, která je rovna poměru reálné a zdánlivé hloubky.

Pomůcky: sklenice s rovným a nízkým dnem, měřená kapalina, papír

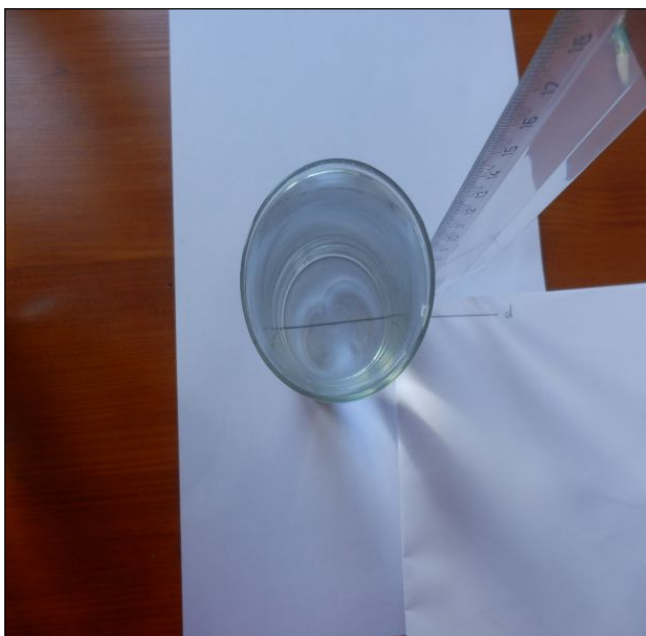
Příprava a provedení: Skleněný pohár s rovným a tenkým dnem naplníme vodou a postavíme na papír, na který jsme si předkreslili rovnou čáru c . Zdánlivý obraz c' se nám vytváří v menší hloubce. Na určení obrazové vzdálenosti b použijeme jiný papír s přímkou d . Ten musíme umístit tak, aby obrazová přímka c' a přímka d ležely v jedné rovině. Po nalezení správné polohy změříme předmětovou a obrazovou vzdálenost. Předmětová vzdálenost je určena vzdáleností papíru pod sklenicí a hladinou vody. Obrazová vzdálenost je definována od vnějšího papíru a vodní hladiny. Vše je dobře patrné na obrázku č. 14. [1]. Pro index lomu vody platí:

$$n = \frac{a}{b}.$$

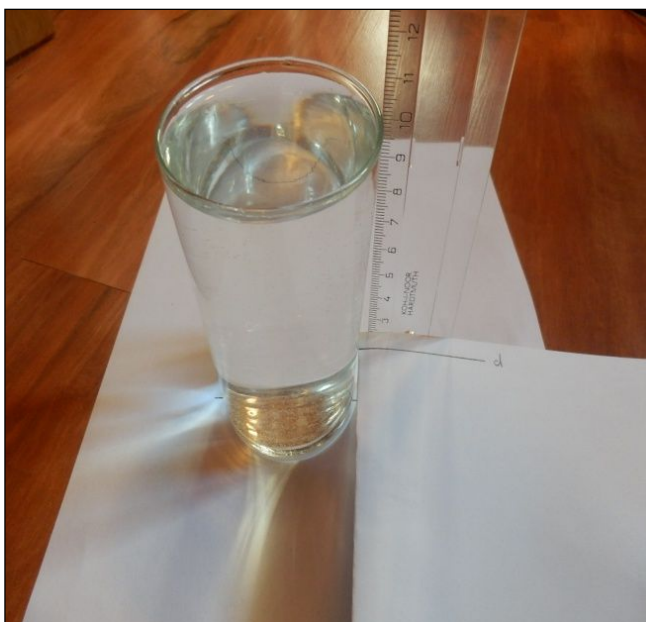


Obr. 14.: Schéma pokusu měření indexu lomu vody

(zdroj: Renata Holubová: Pokusy s jednoduchými pomůckami, str. 63)



Obr. 15.: Měření indexu lomu vody – pohled z vrchu (foto: Marie Výkydalová)



Obr. 16.: Měření indexu lomu vody - pohled z boku (foto: Marie Výkydalová)

Naměřené hodnoty a výsledky: Měřili jsme index vody a index oleje ve dvou rozdílně velkých sklenicích. Větší sklenice $a = 10\text{cm}$ a menší sklenice $a = 8,5\text{cm}$.

Voda

n větší	x	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	n menší	x	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$
1	2,5	0,01	0,0001	1	2,3	0,13	0,0169
2	2,7	0,21	0,0441	2	2,0	-0,17	0,0289
3	2,4	-0,09	0,0081	3	2,1	-0,07	0,0049
4	2,5	0,01	0,0001	4	2,5	0,33	0,1089
5	2,6	0,11	0,0121	5	2,1	-0,07	0,0049
6	2,5	0,01	0,0001	6	2,0	-0,17	0,0289
7	2,3	-0,19	0,0361	7	2,3	0,13	0,0169
8	2,3	-0,19	0,0361	8	2,3	0,13	0,0169
9	2,5	0,01	0,0001	9	2,0	-0,17	0,0289
10	2,6	0,11	0,0121	10	2,1	-0,07	0,0049

Tabulka č. 7.: Naměřené hodnoty

Větší sklenice:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 2,49$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0,04$$

$$n = \frac{a}{b} = \frac{10}{7,51} = 1,33$$

$$n = (1,33 \pm 0,04)$$

$$\delta n = \frac{0,04}{1,33} \cdot 100\% = 3,01\%$$

Menší sklenice:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 2,17$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0,05$$

$$n = \frac{a}{b} = \frac{8,5}{6,33} = 1,35$$

$$n = (1,35 \pm 0,05)$$

$$\delta n = \frac{0,05}{1,35} \cdot 100\% = 3,70\%$$

Olej

n větší	x	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	n menší	x	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$
1	3,6	0,08	0,0064	1	2,9	-0,07	0,0049
2	3,5	-0,02	0,0004	2	2,8	-0,17	0,0289
3	3,4	-0,12	0,0144	3	3,1	0,13	0,0169
4	3,3	-0,22	0,0484	4	2,7	-0,27	0,0729
5	3,7	0,18	0,0324	5	2,9	-0,07	0,0049
6	3,6	0,08	0,0064	6	2,9	-0,07	0,0049
7	3,7	0,18	0,0324	7	3,0	0,03	0,0009
8	3,5	-0,02	0,0004	8	3,3	0,33	0,1089
9	3,3	-0,22	0,0484	9	2,8	-0,17	0,0289
10	3,6	0,08	0,0064	10	3,3	0,33	0,1089

Tabulka č. 8.: Naměřené hodnoty

Větší sklenice:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 3,52$$

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0,05$$

$$n = \frac{a}{b} = \frac{10}{6,48} = 1,54$$

$$n = (1,54 \pm 0,05)$$

$$\delta n = \frac{0,05}{1,54} \cdot 100\% = 3,24\%$$

Menší sklenice:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 2,97$$

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0,07$$

$$n = \frac{a}{b} = \frac{8,5}{5,53} = 1,54$$

$$n = (1,54 \pm 0,07)$$

$$\delta n = \frac{0,07}{1,54} \cdot 100\% = 4,55\%$$

Závěr: Každá kapalina má jiný index lomu a proto se nám zdá, že dno nádoby je jinak vzdálené. Měřili jsme index lomu vody a oleje ve dvou různě velkých sklenicích. Vypočítané hodnoty pro vodu jsou u větší sklenice $n = (1,33 \pm 0,04)$ s relativní chybou 3,01%, u menší sklenice $n = (1,35 \pm 0,05)$ s relativní chybou 3,70%. U oleje vyšla hodnota u větší sklenice $n = (1,54 \pm 0,05)$ s relativní chybou 3,24% a u menší sklenice $n = (1,54 \pm 0,07)$ s relativní chybou 4,55%. Naměřené hodnoty se nejvíce přibližují cedrovému oleji, který je $n = 1,505$. My jsme měřili s olejem řepkovým. Čím větší sklenice bude, tím bude měření přesnější.

4.6. Optická rovinná plocha

Optická rovinná plocha je plocha, která je vhodně upravená k odrazu světla. V praxi lze názorně ukázat pomocí pokusu hořící svíčky ve vodě.

Pomůcky: dvě sklenice, rovinné sklo, svíčka

Příprava a provedení: Do jedné sklenice vložíme hořící svíčku a do druhé nalijeme pouze vodu. Sklenice postavíme do stejné vzdálenosti před a za skleněnou desku. Jak vidíme na obrázku č. 18., když se budeme dívat pod menším úhlem než 90° , bude se hořící svíčka odrážet od vody [12].



Obr. 17.: hořící svíčka – pohled z vrchu (foto: Marie Vykydalová)



Obr. 18.: hořící svíčka – pohled z boku (foto Marie Vykydalová)

Závěr: Při použití optické rovinné plochy nám vzniká obraz zdánlivý, vzpřímený, stejně velký a stranově převrácený. Při výběru skleněné desky je vhodné si uvědomit, že u tlustého skla bude docházet k dvojitému lomu a tím by byla svíčka rozdvojená.

4.7. Vodní perly

V tomto experimentu budeme pracovat s vodními perlami. Jsou to polyakrylátové korálky, které mají dobré absorpční vlastnosti. Při vložení do vody se korálky přibližně 8 krát zvětší.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
před	2,1	2,4	2,3	1,8	1,8	2,1	2,0	2,1	1,9	2,2
po	17,8	18,0	17,9	18,3	17,8	18,1	18,0	17,7	18,0	17,9

Tabulka č. 9.: Naměřené hodnoty průměru vodní perly před vložení do vody a po vytažení z vody

Před ponořením do vody měla kulička průměr $d = (2,07 \pm 0,06)$ mm a ihned po vytažení z vody byl naměřen průměr $d = (17,95 \pm 0,05)$ mm.

a) Zmizení vodních perel

Pomůcky: vodní perly, voda, slaná voda, sklenice, olej

Příprava a provedení: Vodní perly necháme nejlépe přes noc ve vodě. Nachystáme si tři sklenice. Do první nalijeme vodu, do druhé slanou vodu a do třetí olej. Ponoříme vždy několik vodních perel do sklenic a budeme pozorovat jejich viditelnost.



Obr. 19.: Sklenice slané vody s vodními perlami uvnitř (foto: Marie Výkydalová)



Obr. 20.: Sklenice vody s vodními perlami uvnitř (foto: Marie Výkydalová)

Předmět se stane neviditelným, pokud ho ponoříme do kapaliny o stejném indexu lomu a barvě. Předmět a kapalina vytváří homogenní prostředí, ve kterém nedochází k lomu světla. Ve sklenici, kde byla slaná voda, jsme mohli vidět, že vodní perly byly více vidět než jenom ve vodě. Dokázali jsme, že sůl mění index lomu vody.

Neviditelnost předmětu si můžeme názorně ukázat i na oleji a skle. Sklo korunové lehké má index lomu $n=1,515$ a olej cedrový $n=1,505$. Můžeme vidět, že sklo a olej mají také přibližně stejný index lomu [2].



Obr. 21.: Sklenice oleje a v ní druhá prázdná sklenice

(foto: Marie Vykydalová)

Na obrázku č. 21. můžeme vidět, že prázdná sklenice vnořená do sklenice s olejem zmizela a to v té části, kde je olej.

Závěr: Na pokusech jsme si dokázali, že předmět se opravdu může stát neviditelným, když je v prostředí o stejném indexu lomu.

b) Výpočet ohniskové vzdálenosti a zvětšení

Pomůcky: vodní perly, posuvné měřítko

Příprava a provedení: Perly mají tvar koule a to z nich dělá sférické bikonvexní vodní čočky, u kterých můžeme experimentálně ověřit vzorec, který platí pro jakoukoli tlustou čočku. Musíme vzít v úvahu i mohutnost čočky.

$$\varphi_1 = \frac{n - n_1}{R_1} \quad \varphi_2 = \frac{n_1 - n}{R_2}$$

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - \frac{d}{n} \varphi_1 \varphi_2$$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \left(\frac{(n_1 - 1)d}{n_1 R_1 R_2} \right) \right)$$

n_1 je definováno jako index lomu čočky a n_2 index lomu okolí. Označení f se používá v tomto vzorci jako ohnisková vzdálenost, R_1 a R_2 jsou poloměry zakřivení povrchu čočky: platí pro ně $R_1 = -R_2 = R$ a d je tloušťka čočky, která je $d = 2R$ [11].

Naměřené hodnoty a výsledky: Pro náš příklad s vodními perlami si musíme uvědomit, že index lomu čočky je stejný jako index vody $n_1 = 1,33$ a že čočka je obklopena vzduchem který má index lomu $n_2 = 1,0$. A proto můžeme vzorec upravit následovně:

$$\frac{1}{f} = (n_1 - 1) \left[\frac{2}{R} - \frac{(n_1 - 1)2R}{n_1 R^2} \right]$$

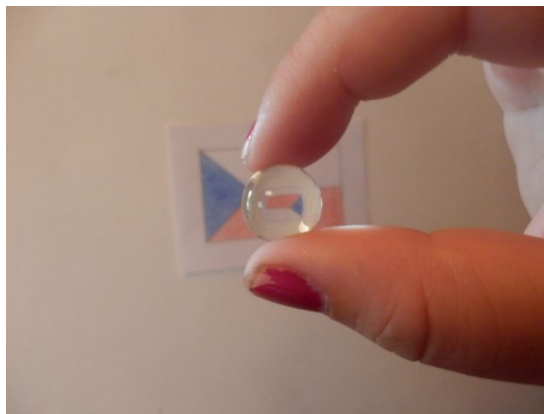
$$\frac{1}{f} = \frac{2(n_1 - 1)}{R n_1}$$

Teď už jen krátkým a jednoduchým výpočtem můžeme vypočítat ohniskovou vzdálenost, sférické čočky vodních perl, následovně:

$$f = \frac{R n_1}{2(n_1 - 1)}$$

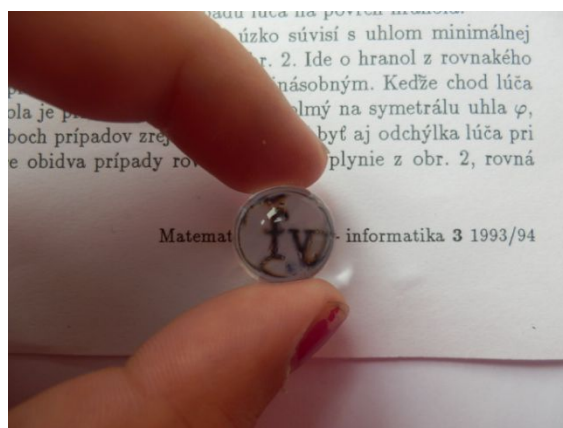
Po dosazení vyšlo, že ohnisková vzdálenost $f = (18,13 \pm 0,05)$ mm.

Když umístíme předmět dál než je jeho ohnisková vzdálenost, tak nám vznikne obraz, který je skutečný, zmenšený a převrácený.



Obr. 22.: Vodní perla, - obraz skutečný, zmenšený a převrácený

(foto: Marie Vykydalová)



Obr. 23.: Vodní perla – obraz zvětšený, přímý a zdánlivý (foto: Marie Vykydalová)

Když dáme vodní perlu naopak před ohniskovou vzdálenost, vznikne nám obraz přímý, zvětšený a zdánlivý.

Zvětšení si můžeme vypočítat porovnáním velikostí původního předmětu h_1 a zvětšeného obrazu h_2 .

n	h_1	$(h_1 - \bar{h}_1)$	$(h_1 - \bar{h}_1)^2$	n	h_2	$(h_2 - \bar{h}_2)$	$(h_2 - \bar{h}_2)^2$
1	0,3	-0,08	0,0064	1	1,1	-0,21	0,044
2	0,4	0,02	0,0004	2	1,5	0,19	0,0361
3	0,2	-0,18	0,0324	3	1,1	-0,21	0,0441
4	0,6	0,22	0,0484	4	1,5	0,19	0,0361
5	0,5	0,12	0,0144	5	1,3	-0,01	0,0001
6	0,4	0,02	0,0004	6	1,5	0,19	0,0361
7	0,3	-0,08	0,0064	7	1,1	-0,21	0,0441
8	0,3	-0,08	0,0064	8	1,3	-0,01	0,0001
9	0,4	0,02	0,0004	9	1,4	0,09	0,0081
10	0,4	0,02	0,0004	10	1,3	-0,01	0,0001

Tabulka č. 10.: Naměřené hodnoty zvětšení

Původní velikost předmětu

$$\bar{h}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{1i} = 0,38$$

$$\sigma_{h_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_1 - \bar{h}_1)^2}{n(n-1)}} = 0,04$$

$$h_1 = (0,38 \pm 0,04) \text{ cm}$$

$$\delta h_1 = \frac{0,04}{0,38} \cdot 100\% = 10,53\%$$

Obrazová velikost předmětu

$$\bar{h}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{2i} = 1,31$$

$$\sigma_{h_2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_2 - \bar{h}_2)^2}{n(n-1)}} = 0,05$$

$$h_2 = (1,31 \pm 0,05) \text{ cm}$$

$$\delta h_2 = \frac{0,05}{1,31} \cdot 100\% = 3,82\%$$

$$Z = \frac{h_2}{h_1}$$

Podle měření u této perly vychází $h_1 = (0,38 \pm 0,04) \text{ cm}$ a $h_2 = (1,31 \pm 0,05) \text{ cm}$.

Výsledné zvětšení vyšlo $Z = 3,45$

Závěr: Vypočítali jsme si ohniskovou vzdálenost vodní perly $f = (18,13 \pm 0,05)$ mm. Zkoušeli jsme dát vodní perlu před a za ohniskovou vzdálenost. Zjistili jsme, že se vodní perla chová jako čočka. Vypočítali jsme si zvětšení, které nám vyšlo $Z = 3,45$.

4.8. Zrcadla – rovinná i kulatá

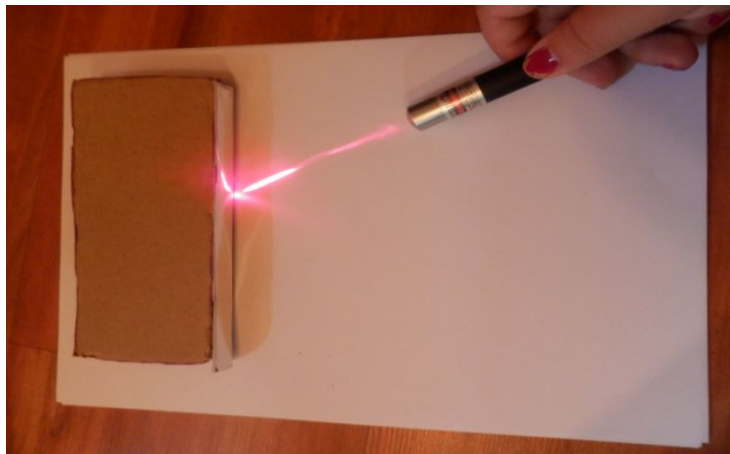
Při optickém zobrazování kulových zrcadel používáme 2 druhy paprsků. Paprsky, které procházejí středem křivosti a vrací se stejným směrem zpět. Druhý paprsek procházející ohniskem zrcadla se od zrcadla odráží a pokračuje jako paprsek, který jde rovnoběžně s optickou osou.

Pomůcky: vlnitá lepenka, nalepovací zrcadlo (k zakoupení v obchodech s tapetami), laser

Příprava a provedení: Vyrobíme si pomocí vlnité lepenky krabičky, které budou mít rovnou, dutou a vypuklou stranu. Na strany nalepíme nalepovací zrcadlo. Vytvoříme pracovní listy, na kterých bude nakreslený typ zrcadla, který použijeme a paprsek, který dopadá na zrcadlo. Úkolem bude vyznačit do papíru, jak se bude daný paprsek odrážet a najít ohniskovou vzdálenost zrcadla. [19]

Můžeme vidět, že když je zrcadlo rovinné, úhel odrazu je stejný jako úhel dopadu.

$$\sin \alpha = \sin \alpha'$$

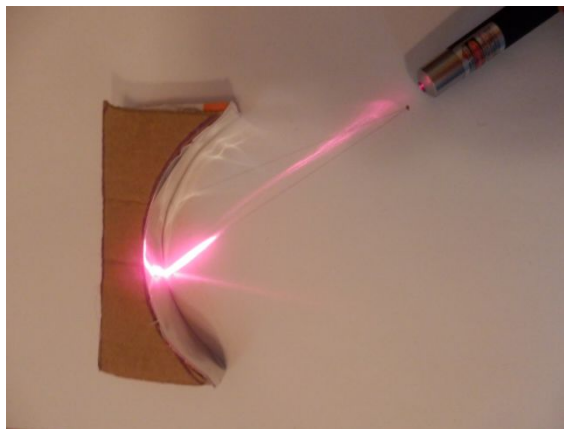


Obr. 24.: Rovinné zrcadlo a paprsek, který má stejný úhel dopadu a odrazu

(foto: Marie Vykydalová)

Když máme zrcadla dutá a svítíme na ně pomocí rovnoběžných paprsků, můžeme vidět, že se nám paprsky sbíhají v jednom bodě – ohnisková vzdálenost. Ohnisková vzdálenost je před zrcadlem a proto můžeme vyvodit závěr, že nám zrcadlo vytváří skutečný obraz.

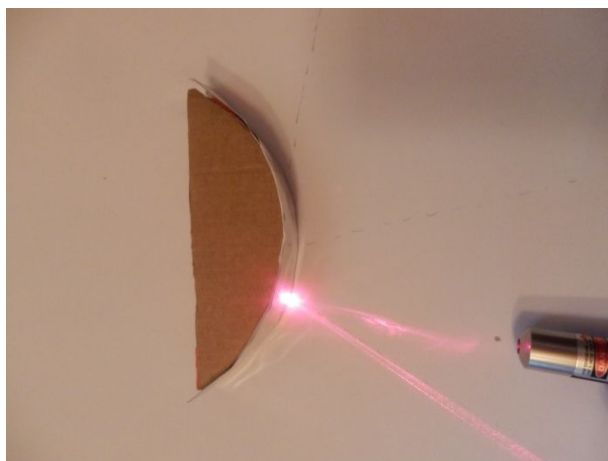
Paprsky vycházející z jednoho určitého bodu se nám sbíhají do druhého bodu. Tento bod nám určuje, kde je obraz prvního bodu. Při vzdálenějším bodě vzniká obraz skutečný a při bodě, který leží před středem křivosti zrcadla, nám vznikne obraz neskutečný.



Obr. 25.: Duté zrcadlo a paprsek, který vychází z určitého bodu

(foto: Marie Vykydalová)

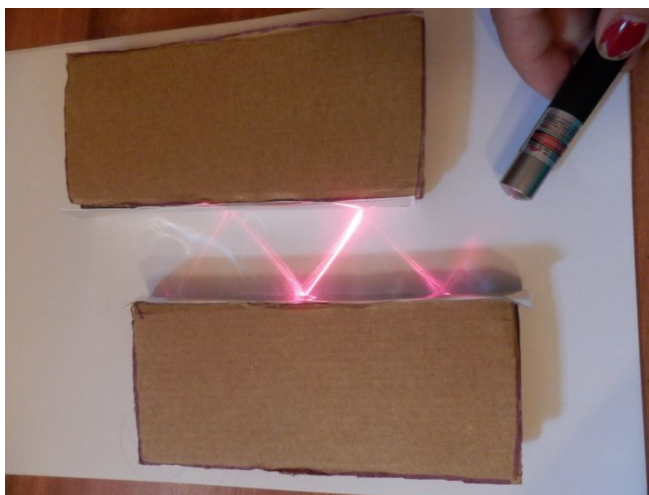
U vypuklých zrcadel se paprsky, které dopadají na zrcadlo rovnoběžně, rozbíhají a sbíhají za zrcadlem. Obraz je zdánlivý [19].



Obr. 26.: Vypuklé zrcadlo a paprsek, která vychází z určitého bodu

(foto: Marie Vykydalová)

Pro zajímavost se mohou různé typy zrcadel spojit a díky jejich lomu a odrazu světla vytvořit zajímavé obrazce. Na obr. 26. jsou daná dvě rovinná zrcadla naproti sobě. Pozorovali jsme, jak se paprsky lámou a odrážejí.



Obr. 27.: Dvě rovinná zrcadla (foto: Marie Výkydalová)

Závěr: Můžeme najít pomocí paprsků ohniskovou vzdálenost a střed křivosti každého zrcadla. Experiment je variabilní. Každému žákovi se může zadat jiný typ zrcadla a jinak vzdálený bod, ze kterého paprsky vychází a tím se změní ohnisková vzdálenost a střed křivosti.

5. ZÁVĚR

Bakalářská práce je zaměřená převážně na experimenty, které nám přibližují a názorně ukazují problematiku geometrické optiky. Byla vytvořena rešerše dostupné literatury a zdrojů, které mohou sloužit jako inspirace pro pedagogy fyziky.

V teoretické části jsme se seznámili s klíčovými pojmy geometrické optiky a rozdělením experimentů. U každého tématu je vybrán pokus, který se objevuje v učebnicích a je názorný pro demonstraci určitého jevu.

Pokusy vybrané v praktické části byly vyzkoušeny a popsány. Jsou to experimenty, které jsme čerpali zejména z odborných časopisů. Tři experimenty popisují problematiku úplného odrazu světla. V prvním pokusu jsme pozorovali odraz vidličky od hladiny vody. Ve druhém jsme přeměnili obyčejnou krabičku od tic-tacu na zrcadlo a ve třetím jsme měřili mezní úhel pro prostředí voda, vzduch a olej. U dalších dvou pokusů jsme měřili index lomu pomocí skleněné kulaté baňky s laserem a skleničky s rovným a nízkým dnem. Následoval jeden pokus zaměřený na lom světla pomocí optické rovinné plochy, kde jsme vytvořili optický klam hořící svíčky ve vodě. V následujícím experimentu jsme používali vodní perly, které nám sloužily jako čočky, u kterých jsme hledali ohniskovou vzdálenost a dokazovali jsme index lomu ve vodě, slané vodě a v oleji. V posledním pokusu jsme si vyrobili rovinné, duté a vypouklé zrcadlo pomocí vlnité lepenky a nalepovacího zrcadla.

Experimenty jsou názorné a snadno pochopitelné. Velkou výhodou je také jejich snadná příprava a finanční nenáročnost. Pedagog díky tomu může zadat i většinu těchto experimentů jako domácí práci.

Další významnou výhodou těchto pokusů je používání běžně dostupných, a však pro tyto účely spíše neobvyklých, pomůcek. Žáci mohou vidět, že k experimentům toho nepotřebují mnoho a může je to bavit a tím inspirovat k různým novým pokusům a zájmu o vědu.

6. SUMMARY

Bachelor thesis is mainly aimed on experiments which approach and illustrate the issue of optics. The aim of this thesis was create summary of available literature and resources that can help as a guide for teachers.

In the theoretical part we were introduced to the key concepts of geometrical optics and the division of experiments. For each topic is selected experiment which appears in textbooks.

All experiments which are selected in the practical part I tried by myself and described. These experiments I drew on from expert home and foreign journals. I have chosen these experiments because they are illustrative.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Knižní zdroje:

- [1] BANÍK, I., BANÍK, B.: Tři triky z optiky, Matematika – fyzika – informatika: ročník 11., číslo 5. 2002
- [2] BARTUŠKA, K.: Zajímavý pokus z optiky, Matematika – fyzika – informatika: ročník 9., číslo 6. 2000
- [3] BEDNAŘÍK, M.: K jazyku a stylu našich učebnic fyziky, Matematika – fyzika – informatika: ročník 1., číslo 1. 1991
- [4] HENZL, C.: Měření indexu lomu kapalin, Matematika – fyzika – informatika: ročník 17., číslo 9. 2008
- [5] KUSALA, J.: Pár optických pokusů, Matematika – fyzika – informatika: ročník 16., číslo 7. 2006
- [6] LEPIL, O., BEDNAŘÍK, M., HÝBLOVÁ R.: Fyzika pro střední školy II., vyd. Praha: Prometheus, 2007, ISBN 978-80-7196-185-7
- [7] LEPIL, O.: Fyzika malý lexikon fyziky, vyd. Praha: Prometheus 1995, ISBN 80-85849-77-1
- [8] LEPIL, O.: Fyzika pro gymnázia: Optika, vyd. Praha: Prometheus, 2009. ISBN 978/80/7196/237/3.
- [9] LEPIL, O., SVOBODA, E.: Příručka pro učitele fyziky na střední škole, vyd. Praha: Prometheus 2007, ISBN 978-80-7196-328-8
- [10] LEPIL, O., Učebnice optiky pro gymnázia nově, Matematika – fyzika – informatika: ročník 25., číslo 1. 2016
- [11] MILNER-BOLOTIN, M.: Water pekls optics challenges for everybody, The physics teacher: vol. 50 2012
- [12] Pokusy z volné ruky, Matematika – fyzika – informatika: ročník 10., číslo 8. 2001
- [13] PETTY, G.: Moderní vyučování. Vyd. 2. Praha: Portál, 2002. ISBN 80-7178-681-0.

- [14] SVOBODA, E., KOLÁŘOVÁ R.: Didaktika fyziky základní a střední školy: vybrané kapitoly. Praha: Karolinum, 2006. ISBN 80-246-1181-3.
- [15] SVOBODA, E.: Pokusy z fyziky na střední škole 4, Vyd. Praha: Prometheus, 2001. ISBN 80-7196-010-1.
- [16] VYBÍRAL, B., Experiment ve fyzice, Matematika – fyzika – informatika: ročník 21., číslo 2. 2011.

Internetové zdroje:

- [17] FyzWeb [online]. [cit. 14. 2. 2016]. Dostupné z:
<http://fyzweb.cz/materialy/prometheusg/#optika.cz>.
- [18] Fyzikální šuplík [online]. [cit. 22. 2. 2016]. Dostupné z:
<http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz>.
- [19] Fyzikální šuplík [online]. [cit. 22. 2. 2016]. Dostupné z:
http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/navody/valcova_zrcadla_-_navod.pdf.
- [20] HOLUBOVÁ, R.: Pokusy s jednoduchými pomůckami [online]. [cit. 14. 1. 2016].
Dostupné z: <http://www.gcajkol.cz/data-projekty/03-fyzika-na-scene/33-pokusy.pdf>.
- [21] Netradičně pojaté pokusy z optiky na gymnáziu [online]. [cit. 20. 12. 2015]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/49132>.
- [22] Matematika-Fyzika-Informatika [online]. [cit. 2. 3. 2016]. Dostupné z:
<http://www.mfi.upol.cz>.
- [23] Metodický portál RVP [online]. [cit. 10. 12. 2015]. Dostupné z: <http://clanky.rvp.cz>.
- [24] Školská fyzika [online]. [cit. 4. 4. 2016]. Dostupné z: <http://sf.zcu.cz>.
- [25] Úplný odraz světla [online]. [cit. 10. 3. 2016]. Dostupné z:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/440-uplny-odraz-svetla.cz>.
- [26] Veletrh nápadů učitelů fyziky [online]. [cit. 14. 4. 2016]. Dostupné z: <http://vnuf.cz>.