



Středoškolská technika 2022

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

FYZIKÁLNÍ KOUZLA VYUŽÍVAJÍCÍ LOM SVĚTLA

Klára Brzosková, Veronika Liberdová

Gymnázium Josefa Božka
Frýdecká 689
Český Těšín

Poděkování

Rády bychom poděkovaly Mgr. Melánii Gaierové za odborné vedení, ochotu a cenné rady při zpracování této práce.

Anotace

Hlavní myšlenkou naší práce bylo vytvoření několika jednoduchých pokusů, kterými se dají demonstrovat fyzikální kouzla z Optiky. Zaměřily jsme se na zajímavé pokusy na lom světla v různých prostředích a v kapalinách, chtěly jsme ukázat, jak mizí předměty při pozorování pod různými úhly.

Záměrem naší práce bylo dokázat, že i tak těžká věda jako je Fyzika, může být prezentována a podána tak jednoduše, aby ji pochopili i ti nejmenší.

Klíčová slova

Optika, lom světla, Snellův zákon, index lomu

Obsah

1. Úvod.....	4
2. Optika.....	4
3. Geometrická optika	5
4. Snellův zákon.....	5
5. Index lomu	7
6. Naše měření s různými materiály	8
7. Další pokusy fungující na principu lomu světla	13
8. Závěr	17
9. Použité zdroje.....	17
10. Seznam obrázků	18
11. Seznam tabulek	18

1. Úvod

S fyzikou se děti setkávají až na druhém stupni základní školy. Ale zákony fyziky a její důsledky a jevy nás obklopují neustále a jsou stále všude kolem nás a vždy budou. Napadlo nás, proč nevytvořit práci, kde by fyzikální zákony a chování těles v reálném životě trochu pochopilo i dítě v mateřské škole.

Náš nápad podpořilo i to, že velmi blízko k tomu má i kouzlo magie, kdy osoby vnímají probíhající jevy jako něco neskutečného, záhadného. Tím se dá velmi dobře zaujmout diváky a přimět je k pozornosti a přemýšlení o tom, co viděli a co se skutečně stalo. Žáci jsou motivováni dále objevovat další jiné situace v praktickém životě, kde se s něčím podobným setkávají. Jsou vedeni k přemýšlení o fungování přírodních a fyzikálních dějů, což je náš záměr a naše snaha ukázat v této práci.

Lom světla v kapalinách je velmi efektní pokus s mnoha možnostmi, jak to dětem zajímavě a jednoduše ukázat. Zaměřily jsme se na vyzkoušení různých kapalin, kterými by mohl prostupovat paprsek světla a jak se liší průchod paprsků přes tyto kapaliny o jiných hustotách. Zkoumaly jsme i směsi kapalin s danou koncentrací roztoku. V další části jsme chtěly zjistit, jaký má na průchod paprsku světla vliv úhel, pod kterým osvětlíme dané těleso.

Vytvořily jsme si jednoduchou pomůcku k vyzkoušení daných jevů a zákonitostí průchodů paprsků přes různé prostředí. Porovnávaly jsme, v jakém případě je pokus nejzajímavější. Naše výsledky z měření nám sloužily k vytvoření návodu na způsob prezentování jednotlivých jevů. Všechny pokusy jsme vzájemně porovnali a vyhodnotily z nich ty nejzajímavější.

2. Optika

Optika (z řeckého optikós, což znamená „týkající se vidění“, od óps znamenající „oko, zrak“) je disciplína fyziky, která se v původním smyslu zabývá světlem, jeho šířením v různých prostředích a na jejich rozhraních, zabývá se vzájemným působením světla a látky, zkoumá podstatu světla a další jevy, které se světlem souvisejí. Světlo je však pouze částí spektra elektromagnetického záření. Také ostatní druhy záření mají velké množství vlastností, které je vhodné popisovat prostřednictvím optiky. Optiku je tedy možné chápat jako „nauku o záření“.[1]¹

[1] ¹<https://cs.wikipedia.org/wiki/Optika>

Můžeme ji rozdělit na:

- a) geometrickou optiku
- b) svazkovou optiku
- c) fotometrii
- d) radiometrii
- e) vlnovou optiku
- f) kvantovou optiku
- g) koherenční optiku

Lom světla spadá pod geometrickou optiku.

3. Geometrická optika

Zkoumá šíření světla v prostředí, jehož rozměry jsou velké ve srovnání s vlnovou délkou světla. Geometrická optika tedy nezohledňuje vlnové vlastnosti světla.

Zákony geometrické optiky:

❖ Princip přímočarého šíření světla

Ve stejnorodém optickém prostředí se světlo šíří přímočaře v rovnoběžných, rozbíhavých nebo sbíhavých svazcích světelných paprsků.

❖ Princip vzájemné nezávislosti paprsků

Jednotlivé svazky paprsků jsou na sobě nezávislé. Každý se šíří tak, jako by ostatní svazky neexistovaly.

❖ Princip záměnnosti chodu paprsků

Po jedné trajektorii může světlo projít oběma směry.

❖ Zákon lomu a odrazu

Dopadá-li světelný paprsek na rozhraní dvou prostředí s odlišnými optickými vlastnostmi, pak se světlo na rozhraní částečně odráží a částečně láme do druhého prostředí. Nastává odraz a lom světla.[2]²

4. Snellův zákon

[2] ²https://cs.wikipedia.org/wiki/Geometrick%C3%A1_optika



Obrázek 1: Willebrord Snellius

Pro stanovení úhlu lomu musíme znát počáteční úhel světla a index lomu obou materiálů.[4]⁴

Snellův zákon je jeden ze základních zákonů, které popisují šíření elektromagnetického vlnění přecházející z jednoho prostředí do druhého. Tento zákon je jedním z nejdůležitějších pro geometrickou optiku.

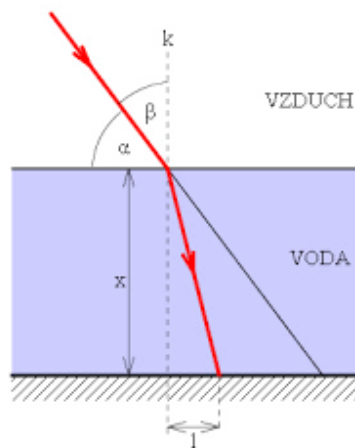
Zákon objevil již v 10. století arabský matematik Ibn Sahl. Znovuobjevil její význam a zákony lomu Willebrord Snellius (1580-1626), nizozemský matematik a astrolog. Kromě svého zákona lomu uvedl do praxe novou metodu nalezení poloměru Země.[3]³

Ve fyzice dává Snellův zákon rovnici, která popisuje, jak se světlo láme, když putuje z jednoho média na jiné. Pomocí Snellovy rovnice lze určit velikost úhlu, který světlo ohýbá.

Definice Snellova zákona:

Uvažujme dvě různá prostředí, jejichž rozhraní je rovinné. Jsou-li indexy lomu těchto dvou prostředí n_1 resp. n_2 a označíme-li úhel dopadajícího svazku α a úhel lomeného svazku β (měřeno ke kolmici rozhraní), pak podle Snellova zákona platí:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$



Obrázek 2: Index lomu vody

Důsledky Snellova zákona:

Ze Snellova zákona vyplývá, že:

- při šíření záření z opticky řidšího prostředí do opticky hustšího se paprsky lámou směrem ke kolmici

[3] ³https://www.wikiskripta.eu/w/Snell%C5%AFv_z%C3%A1kon

[4] ⁴<https://www.netinbag.com/cs/science/what-is-snell-s-law.html>

- při šíření záření z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí se paprsky lámou směrem od kolmice

5. Index lomu

Značíme jí n , je to fyzikální veličina bez rozměru, která popisuje šíření světla v látkách. Je to poměr rychlosti světla ve dvou optických prostředích. Podle toho, s čím porovnáváme rychlost světla, *rozlišujeme absolutní a relativní index lomu*.

Absolutní index lomu: určíme ho se jako poměr šíření světla v prostředí vakua a v daném prostředí:

$$n = \frac{c}{v}$$

Protože je v každém prostředí rychlost světla nižší než rychlost světla ve vakuu, je absolutní index lomu vždy vyšší než jedna.

Relativní index lomu

Relativní index lomu je definovaný jako poměr rychlosti šíření světla ve dvou optických prostředích. Relativní index lomu je závislý na uspořádání, obvykle tedy charakterizuje vlastnosti rozhraní dvou optických prostředí.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

K měření indexu lomu se používá refraktometr. Využívá se v potravinářství, strojírenství, zdravotnictví.[5]⁵, [6]⁶



[5] ⁵<https://www.v>

[6] ⁶<https://www.v>

Obrázek 3: Abbeův refraktometr



Obrázek 4: Refraktometr na měření vody v medu

Tabulka indexů lomu látek

V následující tabulce jsou uvedeny indexy lomu některých látek, které jsme dohledaly na internetu. S těmito hodnotami jsme srovnávaly naše naměřené a vypočtené hodnoty.

Látka	Index lomu	Látka	Index lomu
vakuum	1,00	tavený křemen	1,46
led	1,31	olej	1,50
voda	1,33	sklo	1,52
aceton	1,36	chlorid sodný	1,54
roztok cukru (30%)	1,38	diamant	2,42

Tabulka 1: Tabulka indexů lomu

6. Naše měření s různými materiály

Pro srovnání našich hodnot jsme začaly s pokusem v pevné látce. Pokus s průchodem světla ve skle byl jednoduchý a získaly jsme tak možnost použít toto měření pro srovnání

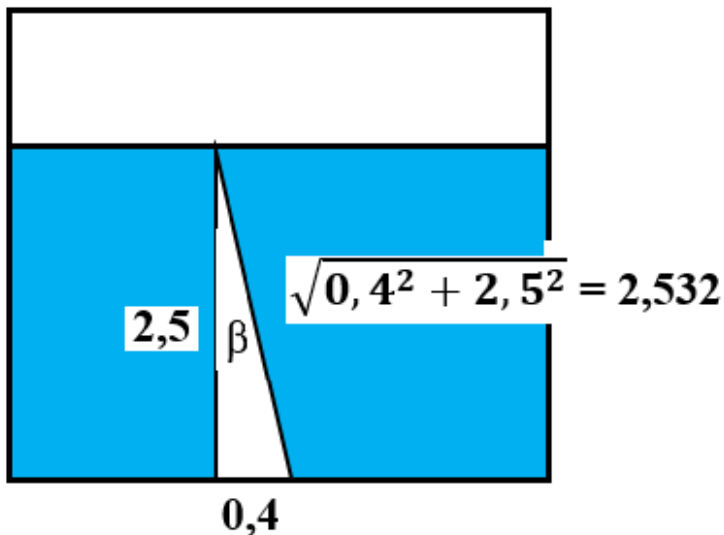
s výpočty našich hodnot v kapalinách. Měřily jsme úhly lomu při průchodu světla v různých kapalinách

Postup u pokusů byl podobný jako v pevné látce, sestavily jsme ho podle obrázků. S kapalinami naše měření bylo jiné v tom, že jsme musely dělat další výpočty na určení vzdálenosti a úhlů paprsků, protože měřicí stupnice se nedala připojit přímo pod nádobu. I při focení jsme musely mířit laserem tak, aby byl paprsek dobře viditelný a fotografie ukazovaly daný optický jev.

Pomocí pokusů s různými kapalinami jsme ověřovaly, že naše kapaliny mají různý index lomu prostředí a paprsky se lámou pod jinými úhly. Vybraly se si následující kapalné látky: vodu, perlivou vodu, tonikum, víno, ocet a olej. Měly podobnou hustotu a indexy lomu se lišily minimálně. I tak se nám podařilo změřit, že paprsky vychází pod jinými úhly.

Vytvořily jsme si jednoduchou pomůcku pro sestavení pokusů, která nám posloužila k tomu, abychom mohly přímo pozorovat rozdíly úhlů výchozích paprsků z laseru namířeného pod úhly od 10° do 30°. Tím jsme z měření dokázaly vypočítat indexy lomu našich kapalin. Vyšly nám následující údaje:

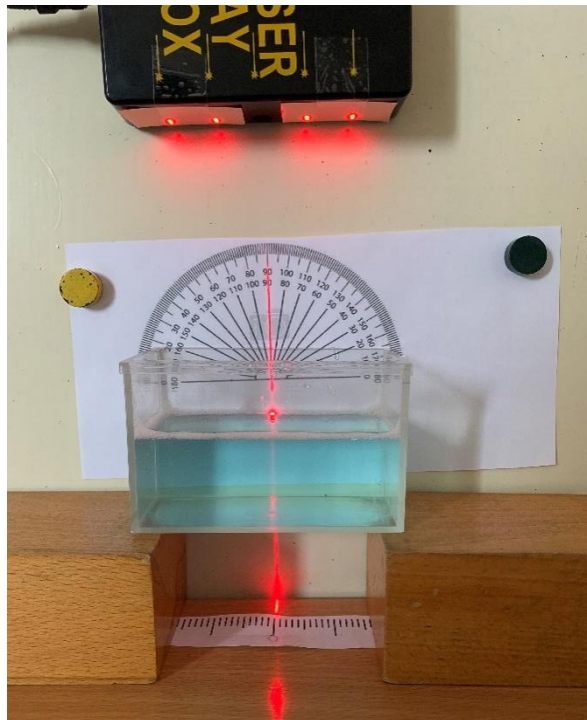
Pro **úhel 10°** pro odličovací tonikum:



Obrázek 5: Výpočet indexu lomu pro tonikum

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad \sin \beta = \frac{0,4}{2,532} = 0,159$$

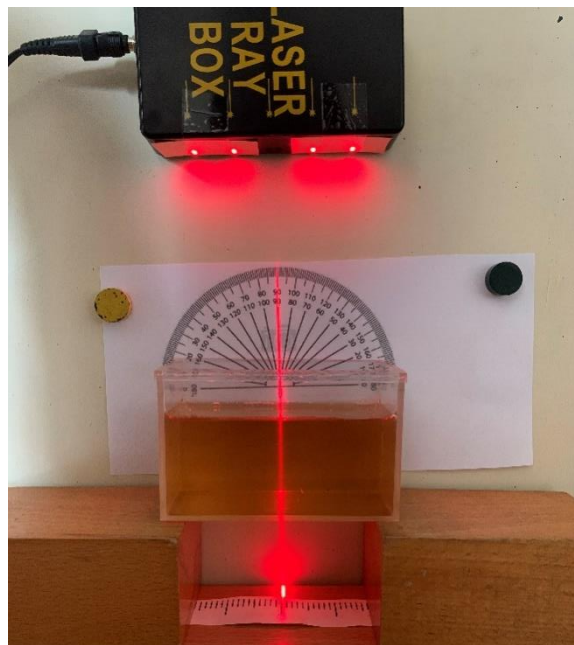
$$\frac{\sin 10^\circ}{0,159} = \frac{n_2}{1} \quad n_2 = \frac{0,1732}{0,159} = 1,096$$



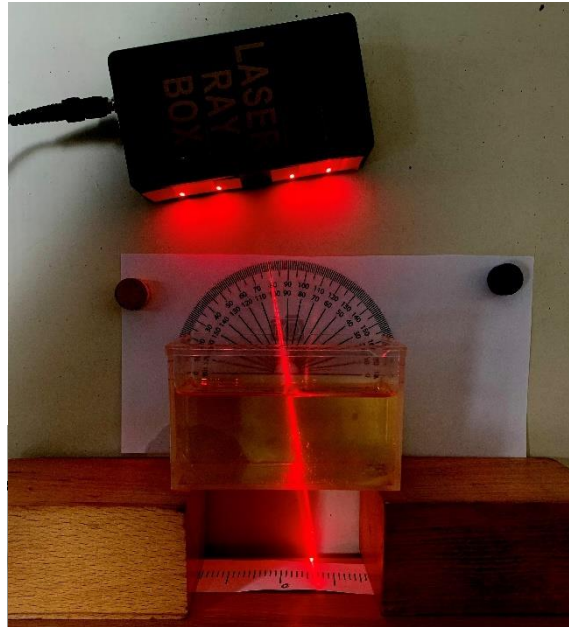
Obrázek 6: Index lomu tonika 1



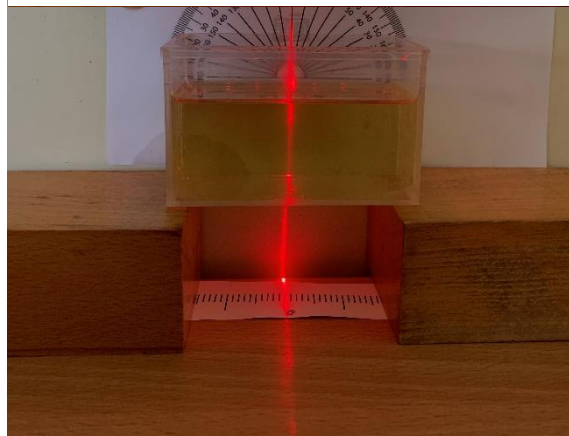
Obrázek 7: Index lomu tonika 2



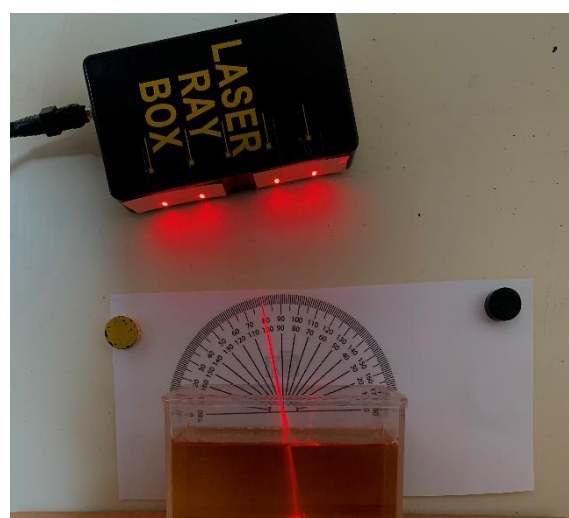
Obrázek 8: Index lomu oleje 1



Obrázek 9: Index lomu oleje 2



Obrázek 10: Index lomu octu 1



Obrázek 11: Index lomu octu 2

$\sin\alpha = 10^\circ$ $\sin\alpha = 15^\circ$ $\sin\alpha = 20^\circ$ $\sin\alpha = 25^\circ$ $\sin\alpha = 30^\circ$

	$\sin\beta$	n_A	$\sin\beta$	n_A	$\sin\beta$	n_A	$\sin\beta$	n_A	$\sin\beta$	n_A
Tonikum	0,159	1,09	0,242	1,07	0,311	1,10	0,388	1,09	0,463	1,08
Voda	0,131	1,33	0,198	1,31	0,259	1,32	0,318	1,33	0,379	1,32
Perlivá voda	0,122	1,42	0,184	1,41	0,246	1,39	0,300	1,41	0,357	1,40
Víno	0,183	0,95	0,267	0,97	0,311	1,10	0,449	0,94	0,521	0,96
Olej	0,122	1,42	0,175	1,48	0,246	1,39	0,291	1,45	0,358	1,40
Ocet	0,136	1,28	0,205	1,26	0,255	1,34	0,328	1,29	0,379	1,32

Tabulka 2: Tabulka indexů lomu našeho měření

Naše naměřené a vypočtené hodnoty indexu lomu použitých kapalin:

	<i>voda</i>	<i>perlivá voda</i>	<i>víno</i>	<i>tonikum</i>	<i>olej</i>	<i>ocet</i>
10°	1,33	1,42	0,95	1,09	1,42	1,28
15°	1,31	1,41	0,97	1,07	1,48	1,26
20°	1,32	1,39	1,10	1,10	1,39	1,34
25°	1,33	1,41	0,94	1,09	1,45	1,29
30°	1,32	1,40	0,96	1,08	1,40	1,32
průměr	1,32	1,41	0,98	1,09	1,43	1,30

Tabulka 3: Tabulka naměřených indexů lomu

$$\Delta n_2 = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2 n_2}{n(n-1)}}$$

$$\delta n_2 = \frac{\Delta n_2}{n_2} \cdot 100\%$$

	n_A	Δn_A	δn_A [%]	Výsledná hodnota n_A
Tonikum	1,090	0,006	0,60	(1,09 ±0,006) s relativní odchylkou 0,6%
Voda	1,320	0,004	0,30	(1,32 ±0,004) s relativní odchylkou 0,3%
Perlivá voda	1,410	0,006	0,39	(1,41 ±0,006) s relativní odchylkou 0,4%
Víno	0,980	0,030	3,01	(0,98 ±0,030) s relativní odchylkou 3,0%
Olej	1,430	0,017	1,16	(1,43 ±0,017) s relativní odchylkou 1,2%
Ocet	1,300	0,014	1,10	(1,30 ±0,014) s relativní odchylkou 1,1%

Tabulka 4: Výsledné hodnoty z měření

7. Další pokusy fungující na principu lomu světla

Otočení obrázku:

Za prázdnou sklenici jsme umístily papír s obrázky. Poté, co sklenici naplníme do půlky vodou, dolní obrázek se zrcadlí a vidíme ho obráceně.

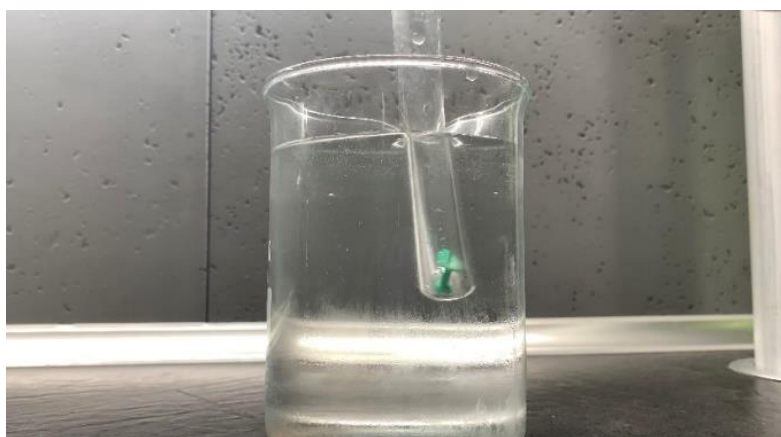
- ❖ Když naplníme celou sklenici, uvidíme oba obrázky obráceně než na začátku s prázdnou sklenicí.
- ❖ K jevu dochází díky lomu světla na rozhraní dvou prostředí – vody a vzduchu, ale také díky tvaru (zakřivení) sklenice.



Obrázek 12: Otočení obrázku

Zmizení předmětu ve vodě:

Zkumavku s připínáčkem uvnitř jsme vložily do vody. Po natočení pod určitým úhlem předmět zmizel, neboť došlo k úplnému odrazu světla, kdy světlo procházelo z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí.



Obrázek 13: Zmizení předmětu ve vodě



Obrázek 14: Zmizení předmětu ve vodě 2

Zmizení skleničky:

Do větší sklenice jsme vložily druhou menší sklenici a potom jsme do ní nalily olej. Při naplňování sklenice olejem nám najednou sklenička zmizí.

- ❖ Díky tomu, že stěny ze skla a olej mají téměř stejný index lomu, dojde k přímému průchodu světla a nám se díky tomu při pokusu projeví jako zmizení skleničky.



Obrázek 15: Zmizení skleničky 1



Obrázek 16: Zmizení skleničky 2



Obrázek 17: Zmizení skleničky 3

Vodní lupa:

Když vložíme libovolný předmět za sklenici s vodou, uvidíme, že se zvětšil a stranově obrátil.

- ❖ K jevu dochází z důvodu lomu světla na rozhraní vody a sklenice (skla), která tak funguje jako čočka.
- ❖ Jako lupu můžeme použít třeba i starou klasickou žárovku nebo vytvořit lupu z ledu



Obrázek 18: Vodní lupa

8. Závěr

Dokázaly jsme zhotovit jednoduché pokusy využitelné k měření šíření světla v kapalném prostředí. Materiály na měření jsme vybraly snadno dostupné a levné. Použily jsme pro srovnání několik druhů kapalin, vybíraly jsme běžné kapaliny, které máme doma. Pro větší atraktivnost pokusů nás napadlo i tonikum a víno. Nejhůře se pracovalo s olejem, hlavně při úklidu pomůcek.

Měření se nám podařilo, dokázaly jsme měřit náš vytyčený cíl, tedy změřit a vypočítat indexy lomu v různých kapalinách, naučily jsme se pracovat s laserem, který nám byl školou zapůjčen. Zjistily jsme, že námi vybrané kapaliny mají podobné indexy lomu a že se tyto hodnoty dají i změřit v domácích podmínkách. Nejdůležitější je sehnat vhodný laser pro jednodušší měření.

9. Použité zdroje

- [1] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Optika>
- [2] https://cs.wikipedia.org/wiki/Geometrick%C3%A1_optika
- [3] https://www.wikiskripta.eu/w/Snell%C5%AFv_z%C3%A1kon
- [4] <https://www.netinbag.com/cs/science/what-is-snells-law.html>
- [5] <https://www.verkon.cz/refraktometr-stolni-abbe/>
- [6] <https://www.vpjested.cz/1779-refraktometr-na-mereni-vody-v-medu/>

10. Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Willebrord Snellius</i>	6
<i>Obrázek 2: Index lomu vody</i>	6
<i>Obrázek 3: Abbeův refraktometr</i>	8
<i>Obrázek 4: Refraktometr na měření vody v medu</i>	8
<i>Obrázek 5: Výpočet indexu lomu pro tonikum</i>	9
<i>Obrázek 6: Index lomu tonika 1</i>	10
<i>Obrázek 7: Index lomu tonika 2</i>	10
<i>Obrázek 8: Index lomu oleje 1</i>	11
<i>Obrázek 9: Index lomu oleje 2</i>	11
<i>Obrázek 10: Index lomu octu 1</i>	11
<i>Obrázek 11: Index lomu octu 2</i>	12
<i>Obrázek 12: Otočení obrázku</i>	14
<i>Obrázek 13: Zmizení předmětu ve vodě 1</i>	14
<i>Obrázek 14: Zmizení předmětu ve vodě 2</i>	15
<i>Obrázek 15: Zmizení skleničky 1</i>	15
<i>Obrázek 16: Zmizení skleničky 2</i>	16
<i>Obrázek 17: Zmizení skleničky 3</i>	16
<i>Obrázek 18: Vodní lupa</i>	17

11. Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Tabulka indexů lomu</i>	8
<i>Tabulka 2: Tabulka indexů lomu našeho měření</i>	12
<i>Tabulka 3: Tabulka naměřených indexů lomu</i>	13
<i>Tabulka 4: Výsledné hodnoty z měření</i>	13