



FZU

Fyzikální ústav
Akademie věd
České republiky

www.fzu.cz

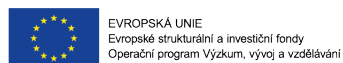
OPTIKA A LASERY

Metodické vedení pro učitele ZŠ

Fyzikální ústav
Akademie věd České
republiky, v. v. i.

Na Slovance 1999/2
182 21 Praha 8
Česká republika

Tel.: +420 266 052 110
E-mail: info@fzu.cz
Web: www.fzu.cz



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Akademie věd
České republiky



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

**Autorka: Beáta Plaskurová****Garant: Mgr. Michal Vyvlčka**

Tvorba dokumentu byla podpořena projektem Zkvalitnění strategického řízení Fyzikálního ústavu AV ČR, reg. č. CZ.02.2.69/0.0./0.0./16_028/0006223.

OBSAH

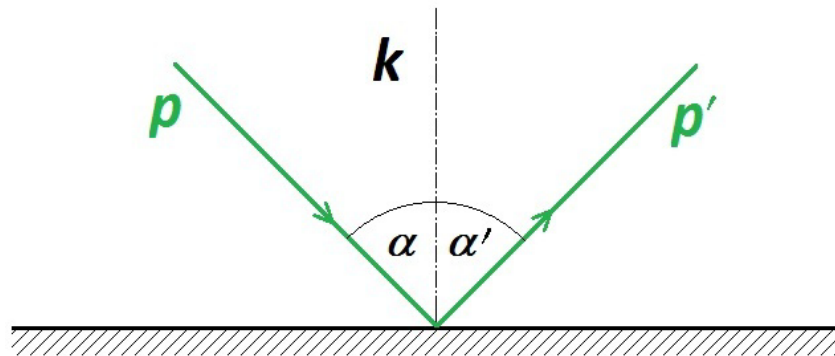
1. ODRAZ A LOM.....	3
A. Zákon odrazu	3
B. Zákon lomu, index lomu, rychlost světla, optická hustota prostředí, úplný odraz	9
C. Vypuklé a duté zrcadlo, čočky, zobrazovací rovnice	13
2. SVĚTLO JAKO VLNĚNÍ	23
A. Vztah vlnové délky a barvy, vztah s indexem lomu.....	23
B. Interference a difrakce	29
C. Polarizace světla (pokusy s polarizátory a s odrazem)	42
3. ODBOČKA DO ATOMOVÉ FYZIKY aneb JAK FUNGUJE LASER	46
A. Světlo jako částice	46
B. Energetické hladiny, excitace a emise.....	48
4. PŘENOS INFORMACÍ SVĚTLEM.....	53

1. ODRAZ A LOM

A. Zákon odrazu

Doporučené výchozí znalosti: pojem úhel, pojem kolmost, Pythagorova věta (není nutná)

Teorie: Světlo si můžeme představit jako světelné paprsky. Ty mohou na předměty (např. zrcadla) dopadat pod různým úhlem a pod jakým úhlem na předmět dopadnou, tak se i odrazí. Jinými slovy, úhel dopadu se rovná úhlu odrazu. Úhel dopadu a úhel odrazu se měří od kolmice. To je přímka, která je kolmá na povrch předmětu, od kterého se světlo odráží. Odražený paprsek navíc zůstává v rovině dopadu. (V obrázku níže je rovina dopadu totožná s rovinou papíru či monitoru. Pokud obrázek nakreslíme na tabuli, bude se jednat o rovinu tabule).



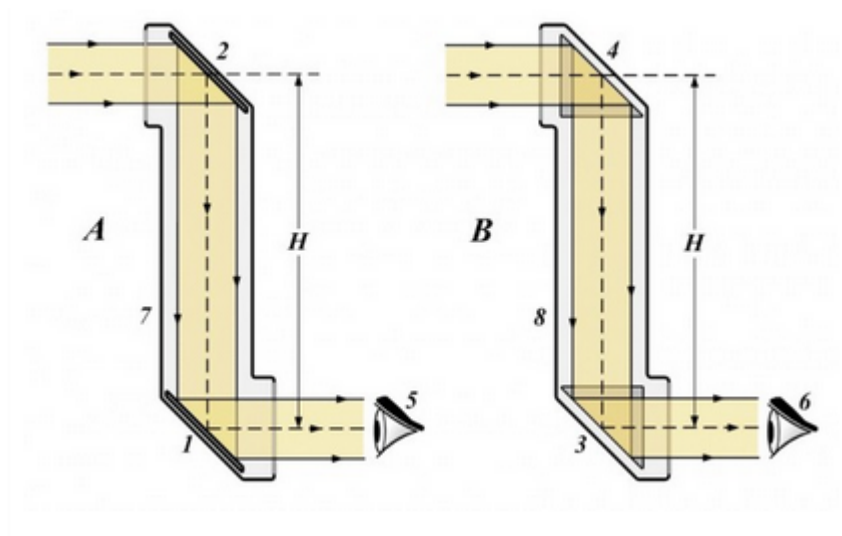
Zákon odrazu: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1666>

Hlavně v nižších ročnících doporučujeme při výkladu teorie použít obyčejné zrcátko, se kterým si děti můžou hrát. Nejdříve se do něj můžou podívat na svůj vlastní odraz. Poté ho natočit tak, aby viděli na kamaráda vedle sebe. Tak si uvědomí, že kamarád taky nevidí sám sebe, ale jeho. Díky tomu, že se světlo od různých věcí odráží do našeho oka, můžeme věci vidět. Dále mohou odhadovat, kde se pomyslná kolmice asi nachází a pod jakým úhlem se na zrcadlo dívají.

Je dobré se dětí zeptat, kdy se může světlo odrazit – zda jenom od pevných věcí, nebo také od vody? Postupně se dostanete k závěru, že se světlo může odrazit na rozhraní dvou různých materiálů. (Můžete i zmínit, že „různost“ je optického charakteru a že si o téhle různosti povíte více příště, až se podíváte na lom světla).

EXPERIMENT: PERISKOP

Úvod pro děti: Když už mají nacvičené, jak natočit zrcadlo, aby viděly na kamaráda, můžou se zkusit zamyslet, jak by mohly zrcadlo (nebo třeba i více zrcadel) využít, aby viděly na zahradu přes vysoký plot. Možná přijdou na něco podobného jako je periskop. Periskop je optický přístroj. Ten nejjednodušší se skládá ze dvou zrcadel, které díky své poloze a svému natočení umožňují podívat se „za roh“. Úhel, pod kterým světlo na zrcátka dopadá, je 45° (pod jakým úhlem se tedy odrazí?). Místo zrcadel lze použít i hranoly.


Princip periskopu

A - Periskop se dvěma rovinnými zrcadly

B - Periskop se dvěma hranoly

1 - 2 - Zrcadla

3 - 4 - Hranoly

5 - 6 - Oko pozorovatele

7 - 8 - Tubus

H - Optická výš

Obrázek Simpleperiscopes od Tamasflex [CC BY-SA 3.0] via Wikimedia commons

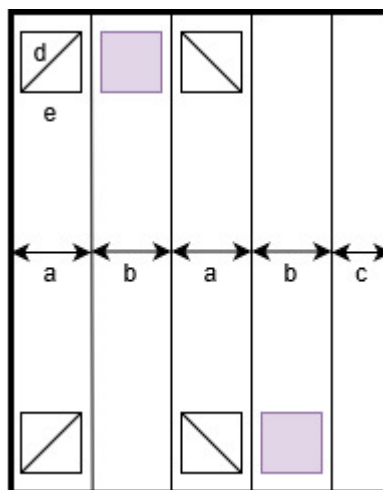
Popis: Při této aktivitě si děti vytvoří periskop. V nižších ročnících doporučujeme první čtyři kroky předchystat nebo alespoň pomoci s výpočty a s vyřezáváním.

Více informací naleznete např. zde: https://www.vedanasbavi.cz/orisek-280-zs-vnb-v-13-periskop?id_mesta=2&idp=36
http://fyzweb.cz/materialy/bizarni_kramy/peri.php

Pomůcky:

1. kartón ve tvaru obdélníku
2. dvě rovinná zrcadla (nejlépe ve tvaru čtverce nebo obdélníku)
3. nůž/odlamovací řezák
4. pravítko
5. fixa
6. izolepa, lepidlo na kartón

Postup: Před samotným tvořením nejdříve zjistíme, co a kde na kartón nakreslíme. Výsledek bude vypadat jako na obrázku níže. Délky a a b mohou být stejné, dokonce i délka c , ale ta stačí kratší. Délka a se odvíjí od délky strany zrcátka d . Na obrázku níže je d vyznačené jako diagonála bezbarvého čtverce – po téhle diagonále pak uděláme řez a vložíme tam zrcátko (ale k tomu se dostaneme až později). Čtverec napomáhá tomu, abychom zrcátko vložili opravdu pod úhlem 45° . Délku e tohoto čtverce určíme jednoduše pomocí Pythagorovy věty. Délka a pak bude o 2 - 4 cm delší. Zda zvolíte délky b a c kratší bude záviset na rozměrech zrcátek a vašeho kartónu.



Nákres pro výrobu periskopu

A teď už samotný postup:

1. Změříme délku stran zrcátek a pomocí toho určíme všechny ostatní rozměry. Všechno zaznačíme do nákresu. Fialové čtverce mohou být i menší než ty bezbarvé.
2. Pomocí pravítka a fixy pak na kartón narýsujeme vše, co máme na nákresu. Je třeba dávat pozor, aby byly čtverce umístěné *přesně do středu šířky* daného obdélníku, abychom pak neměli problém s umístěním zrcátka.



3. V bezbarvých čtvercích vyřízneme škvíru podél diagonály. Musí být akorát tak široká, abychom do ní mohli vložit zrcátko, ale ne moc, aby nevypadávalo.
4. Fialové čtverce vyřízneme celé, protože ty budou sloužit jako otvor a ne jako držadlo pro zrcátka.
5. Kartón ohneme podél celé jeho výšky v místech, kde jsme narýsovali čáry. To můžeme udělat pomocí pravítka – přiložíme ho k dané čáře a kartón ohneme o hranu pravítka. Pokud je kartón moc hrubý, můžeme ho naříznout, pak už půjde ohnout lehce.
6. Ohneme kartón do tvaru kvádrů, přičemž na „přebývajících“ stranu (na obr. má délku c), nanese lepidlo a přilepíme, aby kartón držel v požadovaném tvaru. Pokud si chceme být jistí, že tělo periskopu vydrží vcelku, použijeme i izolepu.
7. Nakonec do vyřezaných otvorů opatrně vložíme zrcátka a ujistíme se, že v nich dobře drží. Opět si můžeme pomoci izolepou, ale tak, abychom zrcátka neumazali a ani je izolepou příliš nezakryli.

Další návody a videa můžete nalézt zde:

<https://www.wikihow.cz/Jak-si-vyrobit-periskop>

<https://edu.ceskatelevize.cz/video/2062-jak-si-vyrobit-periskop>

Diskuse:

1. Po chvilce hraní s periskopem mohou děti udělat ukázkou, jak se periskop používá a jak vlastně funguje.
2. Jak by vypadal obraz, kdybychom místo dvou zrcadel použili tři? A jak by vypadal, pokud kdybychom použili čtyři?
3. Kde bychom mohli periskop ještě využít?

EXPERIMENT: JAK JE TO S MĚSÍCEM A SLUNCEM – ŽIVÝ MODEL

Úvod pro děti: Svítí Měsíc vlastním světlem? Když ne, tak jak je možné, že tak svítí? A proč ho na obloze vidíme v různých fázích? Kdysi si lidé mysleli, že při zatmění Slunce je sluníčko požírané obrovským drakem, ale jak je to ve skutečnosti?

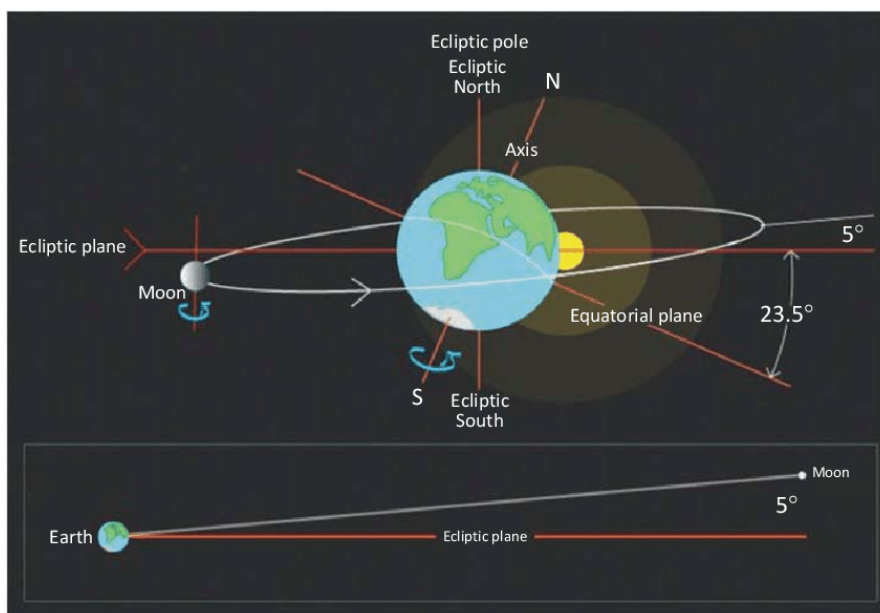
Popis: Vysvětlíme si fáze Měsíce, zatmění Slunce a u toho i pojmy stín a polostín.

Pomůcky:

1. baterka
2. koule o průměru alespoň 7 cm (např. plastová nebo z plastelíny)

Postup:

1. Vybereme jednoho žáka, který bude reprezentovat Zemi. Dalšímu dáme kouli reprezentující Měsíc a poslednímu baterku reprezentující Slunce. Pokud to jde, mohou všechny děti vytvořit takovéto trojice.
2. Vyzveme děti, aby znázornily, jak Země obíhá kolem Slunce a Měsíc kolem Země (shora v protisměru hodinových ručiček).
3. Řekneme Zemi, aby se zastavila a podrobněji se podíváme na oběh Měsíce kolem ní. Nyní už se zaměříme na roviny oběhu. Pro jednoduchost si určíme, že rovina oběhu Země kolem Slunce bude v rovině podél baterky (daný žák by jí měl držet ve vodorovné poloze) – rovině ekliptiky. Pak dětem ukážeme obrázek viz níže a vyzveme žáka s Měsícem, aby zkusil ukázat, jak Země obíhá v rovině, která je nakloněna (vůči rovině ekliptiky).



https://www.researchgate.net/figure/An-illustration-of-the-Moons-orbital-plane-around-the-Earth-and-rotational-axes-of-the_fig2_233086230

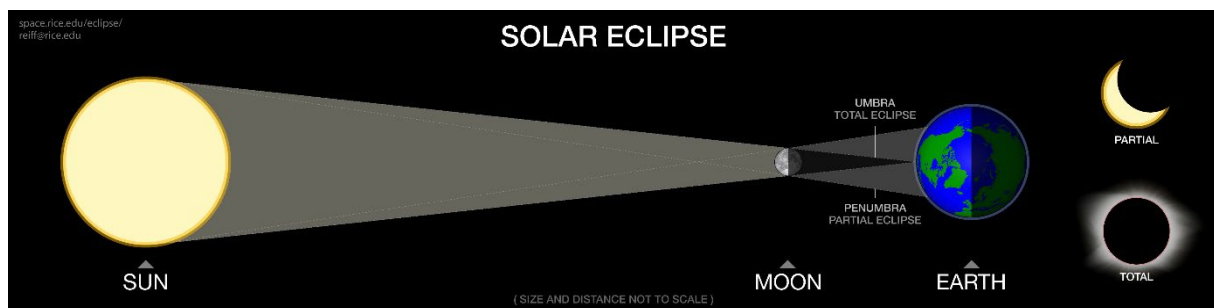
4. Jakmile toto děti zvládnou, zatemněte místnost a zapněte baterku.
5. Nejdříve znázorníme novoluní – žák umístí Měsíc mezi Slunce a Zemi. Zeptáme se Země, jestli se dívá na osvětlenou stranu Měsíce, nebo na stranu, která je ve stínu. Dospějeme k závěru, že Měsíc ve fázi novu není vidět.
6. Pak se Měsíc posune po svojí dráze o čtvrtinu otáčky. Země se na něj znovu podívá a zjistí, že teď nyní už vidí i část osvětlené poloviny Měsíce – tato fáze se nazývá první čtvrt. Je dost možné, že pro požadovaný efekt budete muset přemístit i baterku a svítit s ní rovnou na Měsíc. Dětem však řekněte, že Slunce takto osvětluje Měsíc i když je stále “na místě”.

7. Při úplňku pak bude důležitý sklon roviny oběhu Měsíce – kdyby tam nebyl, tak by Země zahalila Měsíc pokaždé do stínu a neviděli bychom úplněk, ale zatmění Měsíce. Je na vás, jestli si to v tomto bodě jenom ohlídáte a necháte to jako otázku do diskuse, a nebo to dětem rovnou prozradíte.

8. Fáze Měsíce ukončíme poslední čtvrtí.

9. Může nastat situace, kdy je Měsíc v novu a zároveň v rovině ekliptiky. Vyzveme žáky, aby to znázornili a necháme Zemi přijít na to, že “nevidí” Slunce. Vysvětlíme, že přesně takhle vzniká zatmění Slunce.

10. Pak kouli položíme na lavici, zasvítíme na ní a pozorujeme její stín. Kde je stín tmavší a kde světlejší? Co asi nazveme polostínem? Vysvětlíme, že když pozorujeme na Zemi zatmění Slunce z místa, kam dopadá stín Měsíce, tak vidíme úplné zatmění, zatímco když jsme jenom v polostínu, tak pozorujeme částečné zatmění (viz obrázek níže).



https://space.rice.edu/eclipse/solar_eclipse_faq.html

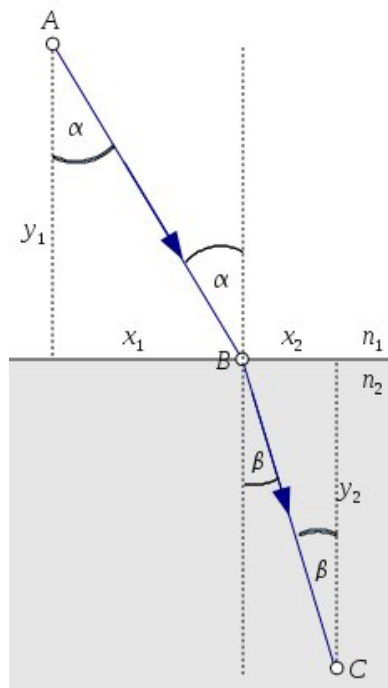
Diskuse:

1. Můžeme vidět planety na obloze, i když nevyzařují vlastní světlo? Mohou mít i planety fáze podobně jako Měsíc? Pokuste se vést žáky k tomu, aby došli i k závěru, že planety, které obíhají blíže ke Slunci než Země, mohou mít fáze, zatímco ostatní nikoli.
2. Jak by kosmonaut viděl Zemi z Měsíce, třeba když je v první čtvrti?
3. Může nastat také zatmění Měsíce? Kdy?
4. Díky čemu můžeme různé předměty vidět

B. Zákon lomu, index lomu, rychlost světla, optická hustota prostředí, úplný odraz

Doporučené výchozí znalosti: pojmy úhel, kolmost, rychlost, sinus (lze ale jednoduše vysvětlit při výkladu)

Teorie: Světlo se láme na rozhraní dvou „opticky“ různých prostředí. Pokud si světlo představíme jako paprsky, jejich lom znamená změnu směru šíření. Proč tomu tak ale je? Světlo chce být vždy co nejrychlejší. Jenomže na rozdíl od nás, lidí, nemůže svou rychlost měnit jak se mu zachce. Svou rychlost mění na rozhraní prostředí, protože se v různých prostředích šíří různě rychle. Představme si, že světlo jde z bodu A do bodu C, přičemž A je ve vzduchu a C je ve vodě. Protože ve vzduchu se světlo šíří rychleji než ve vodě, tak větší část své dráhy urazí právě ve vzduchu. Na hladině se pak ohne a ve vodě už urazí menší vzdálenost než kdyby šlo přímo z bodu A do bodu C. Pokud si nakreslíme kolmici na rozhraní prostředí v místě dopadu světelného paprsku, vidíme, že se paprsek láme směrem ke kolmici. Naopak, pokud by světelný paprsek putoval z vody do vzduchu, pozorovali bychom lom směrem od kolmice. Obecně tedy platí, že při přechodu z opticky řidšího prostředí (světlo se zde šíří rychleji) do opticky hustšího prostředí (světlo se zde šíří pomaleji) dochází k lomu ke kolmici a při opačném přechodu dochází zase k lomu od kolmice.



Lom světla: Persino – Own work, CC BY-SA 4.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10602297>



Vůbec nejrychlejší je světlo ve vakuu, kde dosahuje rychlosti téměř 300 000 km/s. Rychlost světla v jiných prostředích můžeme vyjádřit pomocí indexu lomu n :

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

kde c je rychlost světla ve vakuu a v je rychlost světla v daném prostředí. S ním už umíme formulovat Snellův zákon, který nám říká, jak se světlo na rozhraní dvou prostředí s indexy lomu n_1 a n_2 láme:

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

kde α je úhel dopadajícího paprsku (úhel dopadu) a β je úhel lomeného paprsku (úhel lomu). Oba úhly měříme od kolmice.

Ze zkušenosti víme, že světlo se na vodní hladině nejen láme, ale také odráží. Není to tedy tak, že se by se světlo buď lámalo, nebo odráželo. Ale může se jen odrážet a už nelámat? Představme si, že světlo dopadne na rozhraní prostředí pod takovým úhlem α , že β bude 90° . To by znamenalo, že paprsek by se šířil přímo po rozhraní prostředí. Takový úhel α nazýváme mezní úhel, protože kdyby byl jen o trochu větší, k lomu už nedojde – světlo se jenom odráží. Tomu pak říkáme úplný odraz.

Otázky k zamyšlení pro děti:

1. Může nastat úplný odraz při přechodu z opticky řidšího do opticky hustějšího prostředí? Pomůcka: když je β rovna 90° , jde o lom ke kolmici nebo od kolmice?
2. Podíváme se ještě jednou na vzoreček, který nám říká, jak souvisí index lomu s rychlostí světla v prostředí. Jaký index lomu bude mít vakuum?
3. Bude mít sklo větší nebo menší index lomu než 1?

EXPERIMENT: LASEROVÁ GEOMETRIE VE VODĚ

Úvod pro děti: V prostředích s různými indexy lomu (tj. různou optickou hustotou) se světlo šíří různou rychlostí. Jak se podle vás změní index lomu vody, jestliže do ní přidáme sůl? A kdybychom měli jedno akvárium s destilovanou vodou a druhé se slanou vodou, jak bychom poznali, jestli mají stejný index lomu? Pokud děti na tuto otázku nedovedou odpovědět, zkuste se s nimi ještě jednou podívat na obrázek výše s lomem světla.

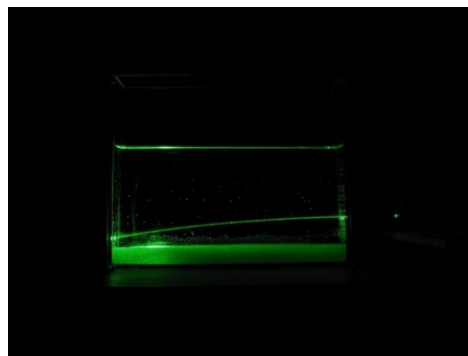
Popis: V tomto experimentu si nejdříve ukážeme, jak vzniká fata morgána. Přitom zjistíme, že přidáním soli do vody se změní její index lomu. Pak na základě měření vypočítáme index lomu námi připravené slané vody. Nakonec si zahrajeme na laserové zaměřování. První dva kroky postupu doporučujeme přichystat předem.

Pomůcky:

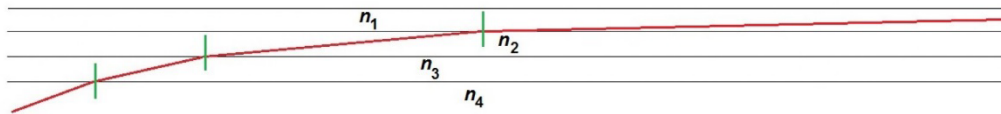
1. skleněná nádoba s rovnými stěnami – ideálně akvárium / případně dvě nádoby: jedna menší skleněná (např. kvjeta) a druhá, větší (ve velikosti akvária), může být i plastová – obě ideálně s rovnými stěnami
2. sůl (v takovém množství, aby tvořila alespoň sedminu objemu velké nádoby)
3. úhломěr s 360° (stačí i 180°, v tom případě si procvičíte goniometrické funkce)
4. 3 špejle, z toho jedna obarvená
5. izolepa
6. malá skleněná kulička/gelová kulička
7. laserové ukazovátko

Postup:

1. Na dno skleněné nádoby rovnoměrně nasypeme vrstvu soli tak, aby její výška činila alespoň jednu sedminu výšky nádoby.
2. Do nádoby opatrně nalijeme vodu, abychom sůl příliš nerozvířili. Pak nějakou dobu (aspoň hodinu) počkáme, než se sůl trochu rozpustí.
3. Zatemníme místnost a do akvária ze strany posvítíme laserovým ukazovátkem. Laserový paprsek se ohne (obr. 6).
4. Navedeme děti, aby přišly na to, že protože se paprsek láme, musí mít sůl ve vodě vliv na index lomu vody. Jak se sůl postupně rozpouštěla, vytvořila vrstvy vody s různým obsahem soli, a tedy i s různými optickými hustotami (obr. 7). Podobně vzniká i fata morgána v poušti, kde tyto vrstvy tvoří vzduch o různých teplotách. Pokud by se na obr. 6 nacházela vlevo oáza, pozorovatel vpravo by ji spatřil už ve chvíli, kdy by byla ještě daleko za horizontem.



<https://www.matfyz.cz/clanky/fyzikalni-pokus-fata-morgana>



<https://www.matfyz.cz/clanky/fyzikalni-pokus-fata-morgana>

5. V případě, že jsme použili velkou skleněnou nádobu, vodu se solí zamícháme, aby byl roztok homogenní. Pokud byla použita menší nádoba, nahradíme ji větší (třeba i tu plastovou) a roztok soli připravíme v ní.
6. Na delší stěnu nádoby připevníme izolepou úhломěr tak, aby rysky ukazující 0° a 180° byly v rovině vodní hladiny. (Pokud máme k dispozici jenom úhломěr se 180° , umístíme ho tak, aby měl stupnici nad hladinou vody).
7. Na stěnu nádoby přilepíme izolepou barevnou špejli tak, aby protínala střed úhломěru a rysku ukazující 90° . Dětem řekneme, že představuje kolmici ke hladině.
8. Další špejle bude sloužit pouze jako „vodítko pro oko“ při svícení laserem. Tu připevníme tak, aby začínala ve středu úhломěru a protínala rysku ukazující úhel např. 35° od kolmice nad hladinou.
9. Shora zasvítíme laserem do vody tak, aby byl paprsek rovnoběžný se špejlí. Jeden z pozorovatelů pak pomocí poslední špejle vyznačí dráhu lomeného paprsku opět tak, aby s ním byla rovnoběžná a její začátek byl ve středu úhломěru.
10. Pomocí úhломěru odečteme hodnotu úhlu lomu – opět od kolmice. (S úhломěrem se 180° si představíme pravouhlý trojúhelník tvořený kolmicí, dnem nádoby a čarou, kterou vytvoříme prodloužením třetí špejle. Pak pomocí pravítka změříme délky stran trojúhelníku a pomocí goniometrických funkcí dopočítáme úhel lomu.)
11. Pomocí Snellova zákona vypočítáme index lomu slané vody, přičemž index lomu vzduchu stanovíme na hodnotu 1.
12. SKLENĚNÁ KULIČKA: Na dno nádoby položíme skleněnou kuličku tak, aby nebyla moc daleko od kolmice.
- GELOVÁ KULIČKA: Na dno nádoby předem zespodu uděláme značku fixou nebo barevnou izolepou ne moc daleko od kolmice (může být uprostřed délky nádoby). Poté na značku položíme gélovou kuličku.
13. Vypočteme úhel dopadu, pod kterým by lomený paprsek dopadl na kuličku (děti už mohou být schopny samy přijít na to, jak to vypočítat).



14. Nastavíme první špejli do požadovaného úhlu (od kolmice), aby opět mohla sloužit jako vodítko pro oko.

15. Posvítíme laserem do vody tak, aby byl paprsek rovnoběžný s první špejlí. Pokud jsme vše udělali správně, budeme svítit přímo na kuličku! (Rozsvítí se?)

Diskuse:

1. V závislosti na typu kuličky se bavíme o tom, že můžeme předěmty ve vodě vidět, pokud nemají stejný index lomu.
2. Olej a sklo mají přibližně stejný index lomu (sklo 1,5 – 1,9 a olej 1,5). Když vložíme skleněnou kuličku do oleje, uvidíme jí?

Více informací naleznete např. zde:

<https://www.youtube.com/watch?v=JzrnFYrWbT4>

<https://www.matfyz.cz/clanky/fyzikalni-pokus-fata-morgana>

https://cs.regionkosice.com/wiki/Saline_water

C. Vypuklé a duté zrcadlo, čočky, zobrazovací rovnice

Doporučené výchozí znalosti: zákon odrazu, zákon lomu

Duté kulové zrcadlo

Tohle téma umí žákům pořádně zamotat hlavu, proto hned začneme jednoduchou aktivitou.

EXPERIMENT: TROCHU JINÉ ZRCADLO

Úvod pro děti: Určitě už jste někdy viděli svůj odraz ve lžici. Vypadá docela legračně– je trochu deformovaný, a když lžici otočíte na správnou stranu, tak je obraz dokonce vzhůru nohama . Ale proč tomu tak he? Abychom tomu porozuměli, podíváme se na kulové zrcadla.

Popis: Při této aktivitě děti upozorníme, že pořád platí zákon odrazu. Děti si narýsují dráhu 2 - 3 paprsků, které se odrazí od dutého kulového zrcadla. Postupně si představíme základní pojmy a nakonec vysvětlíme, jak se paprsky chovají v blízkosti optické osy. Pokud je to možné, rýsujte na tabuli to samé co děti.

Pomůcky:

1. čistý (nelinkovaný) papír
2. kružítko
3. úhloměr
4. pravítko, pravoúhlé pravítko



5. tužka
6. barevné pastelky (dobře ořezané, aby se s nimi dalo rýsovat)
7. duté kulové zrcadlo

Postup:

1. Dětem ukážeme duté kulové zrcadlo a řekneme jim, že si ho zkusíme namalovat.
2. Otočíme papír delší stranou k sobě. Do středu papíru (tabule) vyznačíme bod S.
3. Tužkou na papír narýsujeme přerušovanou vodorovnou čáru tak, aby byla rovnoběžná s horní a dolní stranou papíru a procházela bodem S.
4. Narýsujeme kružnici se středem v bodě S a s co největším poloměrem.
5. Modrou pastelkou vyznačíme kruhovou výseč. Dětem řekneme, aby si naši kružnici představily ve 3D, tedy jako kouli. Vysvětlíme, že modrá část značí zrcadlo, a protože je to část koule, říkáme jí „kulové zrcadlo“. Střed kružnice S pak nazýváme *střed křivosti* a obdobně poloměr kružnice r voláme *poloměr křivosti*. Přerušovaná čára je *optická osa*. Vrchol zrcadla pak je bod, kterým prochází optická osa zrcadla. Jak se budou paprsky od takového zrcadla odrážet? Navedeme děti, aby si připomněly zákon odrazu.
6. Narýsujeme (barevně) dopadající paprsek rovnoběžný s optickou osou.
7. Abychom věděli, kde se bude odrážet, musíme nejdříve narýsovat kolmici. Vezmeme další barevnou pastelku a spojíme bod S a bod, kde paprsek dopadá na zrcadlo.
8. Změříme úhel dopadu a pomocí této hodnoty už umíme narýsovat, kam se náš paprsek odrazí. Vyznačíme bod, kde protne optickou osu.
9. Stejný postup zopakujeme pro další rovnoběžný paprsek. Některé mohou být o něco blíže a některé o něco dále od optické osy. Oba případy můžeme vyznačit na tabuli, a to i s vyznačením úhlů.
10. Všimneme si, že čím blíže optické ose paprsek na zrcadlo dopadá, tím menší je úhel dopadu. Vysvětlíme dětem, že nás zajímají hlavně paprsky, které na zrcadlo dopadají pod malým úhlem – tedy paprsky, které jsou blízko optické osy. Zajímají nás proto, že po odrazu v zrcadle všechny protnou optickou osu v jednom bodě. (Můžeme zmínit, že to souvisí goniometrií.) Tento bod F leží ve středu vzdálenosti mezi středem křivosti a vrcholem zrcadla a nazýváme ho *ohnisko*. Vzdálenost ohniska od vrcholu zrcadla je pak *ohnisková vzdálenost*.

Pro dutá kulová zrcadla v blízkosti optické osy tedy platí následující::

- *Paprsek rovnoběžný s optickou osou zrcadla podle zákona odrazu mění svůj směr a odráží se do ohniska. U dutého zrcadla se tyto paprsky v ohnisku skutečně protínají, ohnisko dutého zrcadla je skutečné.*

A opačně to musí fungovat stejně:

- *Paprsek procházející ohniskem se odráží rovnoběžně s optickou osou zrcadla.*

11. Nakonec narýsujeme paprsek, který bude procházet středem křivosti a necháme děti přijít na to, že se opět odrazí do středu křivosti. Platí teda:

- *Paprsek procházející středem křivosti bude po odrazu od zrcadla opět procházet středem křivosti.*

Diskuse:

1. Co vlastně znamenají tato pravidla pro zobrazování dutým kulovým zrcadlem?

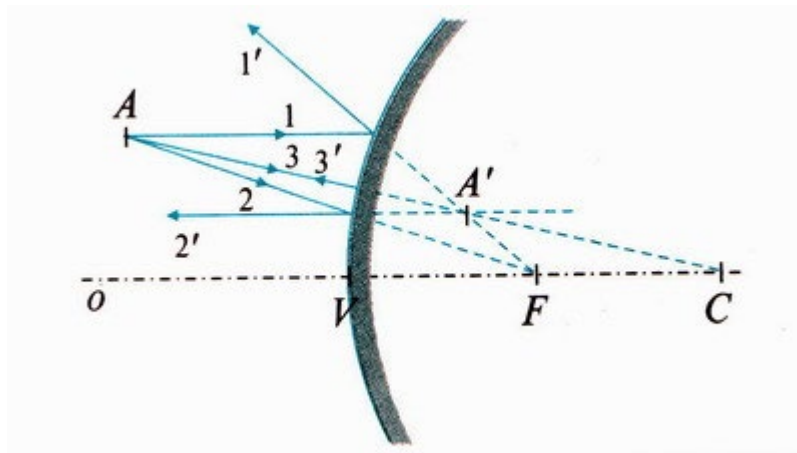
Pro rychlé a názorné pochopení mohou být nápomocná např. tato videa:

https://www.youtube.com/watch?v=gCsoWePrFmI&list=PLmdFyQYShrjCj7wMSvQMOz6x_CH768kxB&index=3

https://www.youtube.com/watch?v=Hp0PsU6mUGs&list=PLmdFyQYShrjCj7wMSvQMOz6x_CH768kxB&index=4

Vypuklé kulové zrcadlo

Vypuklé kulové zrcadlo získáme, když se na kulovou plochu budeme dívat zepředu. Opět platí ta samá pravidla jako pro duté zrcadlo, jenom je musíme správně interpretovat. V blízkosti optické osy tedy platí:



http://www.soukyjov.cz/fm/files/Martykan/optika/zrc_kulove.htm

- *Paprsek rovnoběžný s optickou osou bude mít po odrazu směr jako kdyby vycházel z ohniska zrcadla.*
- *Paprsek mířící do ohniska zrcadla se bude po odrazu šířit rovnoběžně s optickou osou.*

- *Paprsek mířící do středu křivosti bude po odrazu mířit ze středu křivosti.*

Jakmile známe směr odražených paprsků, stačí je prodloužit do „vnitřku“ zrcadla a v místě, kde se protnou vznikne obraz. Ten sice není skutečný – vždyť skutečné paprsky se rozbíhají. Když je naše ale naše oko vidí, tak se mu zdá, jako by se „za zrcadlem“ skutečně protínaly.

Pro lepší představu, jaký obraz vzniká, můžeme opět použít video, např.:

https://www.youtube.com/watch?v=TpN6xuYxwms&list=PLmdFyQYShrjCJ7wMSvQMOz6x_CH768kx_B&index=5

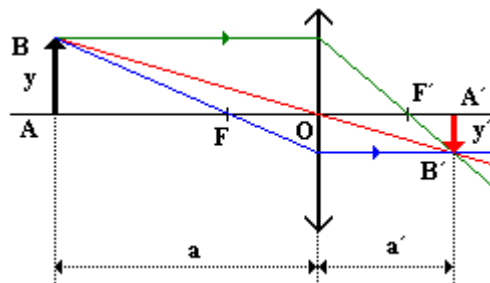
Otázka k zamyšlení: Kde všude nalezneme kulové zrcadlo?

Čočky

Víte, k čemu slouží lidem čočky? Kde všude je můžeme najít? Nejčastěji se s nimi setkáváme v brýlích, ale také jsou velmi důležité v různých optických přístrojích, jako je dalekohled nebo mikroskop. Od zrcadel se liší tím, že světlo přes ně prochází – paprsky se na nich lámou. Pokud se lámou tak, že se paprsky po průchodu sbíhají, hovoříme o spojné čočce. Pokud se rozbíhají, jedná se o rozptylnou čočku. Stejně jako kulová zrcadla, mají i čočky své ohnisko. Dokonce rozlišujeme ohnisko na straně čočky, kde je obraz – to nazýváme předmětové ohnisko F a ohnisko, které je na druhé straně čočky, nazýváme obrazové ohnisko F' . Již z toho vyplývá, že u čoček rozlišujeme máme předmětovou a obrazovou ohniskovou vzdálenost. V pravidlech pro zobrazování pomocí čoček nalezneme podobnost s kulovými zrcadly.

Pro *spojnou* čočku platí následující:

- *Paprsek rovnoběžný s optickou osou bude po průchodu protínat ohnisko F' .*
- *Paprsek protínající ohnisko F bude po průchodu rovnoběžný s optickou osou.*
- *Paprsek mířící do středu čočky O po průchodu čočkou nezmění svůj směr.*

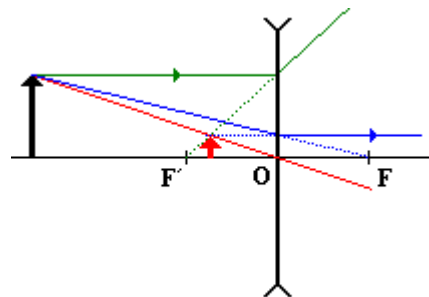


: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/481-zobrazeni-tenkou-cockou>

Pro rozptylnou čočku platí stejná pravidla, jenom se tu vymění předmětové a obrazové ohnisko – předmětové ohnisko je v obrazovém prostoru a obrazové ohnisko je v předmětovém prostoru. To dává smysl, protože obraz tu vzniká na té straně čočky, kde je předmět. Pro lepší představu bychom mohli první pravidlo zobrazování pro rozptylku přepsat jako:

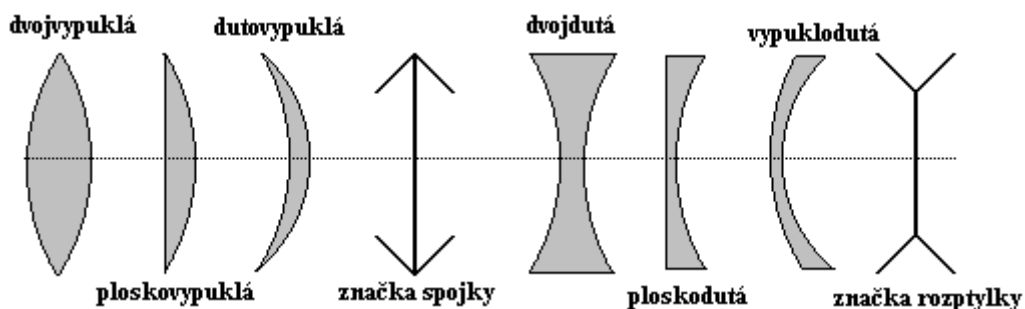
- *Paprsek rovnoběžný s optickou osou se bude lámat tak, že pozorovateli za čočkou se bude zdát, že paprsek vychází z ohniska, které je na téže straně čočky, jako je zobrazovaný předmět.*

Je to vlastně podobná situace jako v případě vypuklého zrcadla.



<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/481-zobrazeni-tenkou-cockou>

Na výše uvedených obrázcích jsou spojka a rozptylka rozlišené pomocí směru šipek na jejich koncích. Snadno si můžeme zapamatovat, která je která, protože tyto šipky označují skutečný tvar spojky a rozptylky, viz obrázek níže.



<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/480-cocky>

Jak daleko bude vzniklý obraz od čočky zjistíme pomocí zobrazovací rovnice:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

kde a je vzdálenost předmětu od čočky, b je vzdálenost obrazu od čočky a f je ohnisková vzdálenost čočky (vzdálenosti od středu čočky k předmětovému i k obrazovému ohnisku jsou stejné).

**EXPERIMENT: OHNISKO SPOJNÉ ČOČKY**

Úvod pro děti: Abychom mohli čočky opravdu využívat, musíme své teoretické znalosti uplatnit v praxi. Pojdme se blíže podívat na zobrazování spojnými čočkami.

Popis: Pomocí zobrazovací rovnice vypočítáme ohniskovou vzdálenost dané spojné čočky. Poté naopak vypočteme vzdálenost, ve které by se měl vzniknout obraz předmětu.

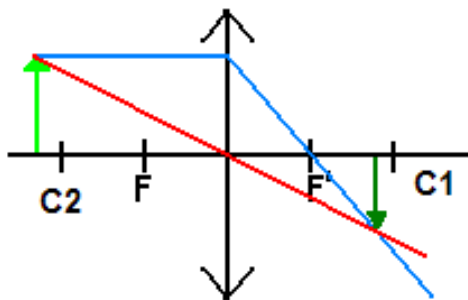
Pomůcky:

1. čočka se známou ohniskovou vzdáleností
2. stínítko
3. mobil
4. stojany na čočku, stínítko i mobil
5. optická lavice, po které můžeme stojany s předměty posunovat

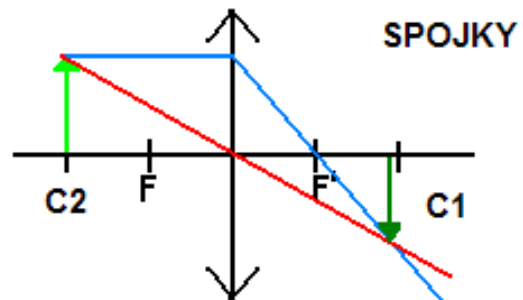
Postup:

1. Mobilní telefon, čočku a stínítko umístíme za sebou.
2. Mobil nastavíme tak, aby nezhasínal displej.
3. Pohybujeme s mobilem tam a zpět tak, abychom našli co nejostřejší obraz.
4. Když už máme ostrý obraz, změříme vzdálenost mezi čočkou a mobilem (a) a mezi mobilem a čočkou (b) vyznačíme si je do tabulky. Také si povšimneme a zapíšeme vlastnosti obrazu – je přímý/převrácený, zvětšený/zmenšený?
5. Pohneme čočkou, čím rozostříme obraz. Pak opět hledáme ostrý obraz – celkem zopakujeme třikrát.
6. Pro každé měření vypočteme ohniskovou vzdálenost čočky.
7. Ze získaných výsledků určíme průměr a porovnáme ho se skutečnou ohniskovou vzdáleností.
8. Zvolíme si pevnou vzdálenost mezi čočkou a mobilem (a) a změříme ji.
 - Už se znalostí ohniskové vzdálenosti čočky vypočteme, v jaké vzdálenosti od čočky se mobil zobrazí.
 - Do dané vzdálenosti položíme stínítko a zjistíme, jestli jsme opravdu našli nejostřejší obraz (nezískáme lepší obraz, když stínítko trochu posuneme?)

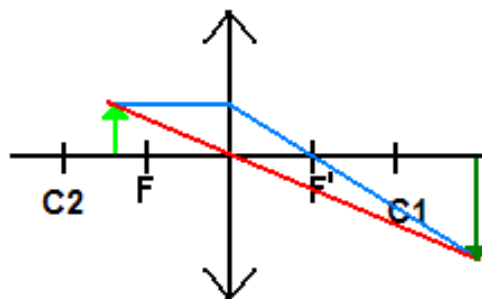
Diskuse: Proč má obraz různé vlastnosti v závislosti od toho, jak daleko je od čočky? Odpovědět na tuto otázku mohou pomoci následující obrázky:



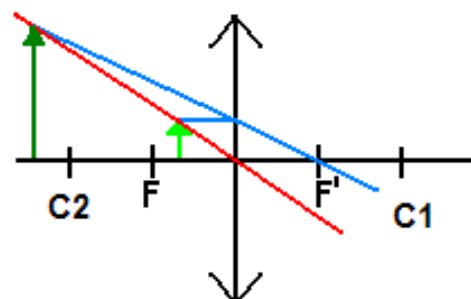
skutečný, převrácený, zmenšený



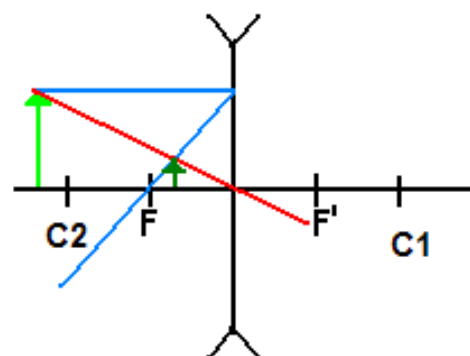
skutečný, převrácený, stejně velký



skutečný, převrácený, zvětšený



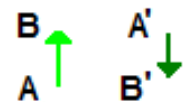
zdánlivý, přímý, zvětšený



zdánlivý, přímý, zmenšený - **vždy stejné**

ROZPTYLKA

šipky popsat:



Maturitní otázky z
www.sdraco.cz

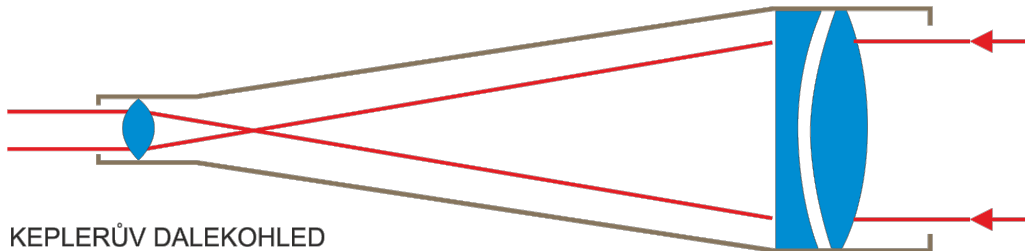
Obrázek 11: <https://www.itnetwork.cz/maturitni-otazka-fyzika-zobrazeni-cocky-zrcadla-pristroje>

Zajímavé rozšíření takového měření naleznete zde:

<http://fyzikalnipokusy.cz/1683/zobrazovani-predmetu-spojku>

EXPERIMENT: VÝROBA DALEKOHLEDU

Úvod pro děti: Co se ale stane, když za sebe umístíme 2 čočky? Vznikne dalekohled! Na obrázku je schéma Keplerova dalekohledu. Takový si zkusíme postavit.



KEPLERŮV DALEKOHLED

<https://www.aldebaran.cz/astrofyzika/orientace/dalekohledy.php>

Popis: Vytvoření jednoduchého Keplerova teleskopu.

Pomůcky:

1. Dvě spojné čočky – jedna s ohniskovou vzdáleností přibližně 3 cm a druhá s ohniskovou vzdáleností cca 30 cm
2. Dvě lepenkové tuby. V ideálním případě by se jedna měla dát zasunout do druhé. Musí být alespoň tak dlouhé, aby délka mezi začátkem jedné a koncem druhé (když jsou spojeny) byla rovna součtu ohniskových vzdáleností čoček.
3. Řezací nůž
4. Karton
5. Pravítko, propiska, kružítko
6. Silné lepidlo, lepicí páska
7. Papír

Postup:

1. Pokud nemáme tubusy, které jdou do sebe zasouvat a jedna přesně zapadne do druhé, musíme je upravit. Můžeme to udělat například tak, že menší tubu obalíme vrstvou papíru a nebo podél tuby nalepíme 4 užší pásy kartonu, které z každé strany vyplní mezeru mezi menší a větší trubkou. Pokud máme 2 stejné trubky, tak jednu podélně rozřízneme a pak ji zase slepíme dohromady tak, aby byl její obvod o kousek menší.
2. Vezmeme čočku s menší ohniskovou vzdáleností. Přiložíme jí k tubusu – čočka bude pravděpodobně menší. V takovém případě vyrobíme pomocí kružítko a lepenky kroužek pro čočku tak, aby do tuby seděla.

3. Takovou čočku pak můžeme umístit na začátek menšího tubusu, ale ideální by však bylo, kdybychom tubus někde u začátku nařízli do půlky a vložili tam čočku v jejím prstenci. Poté ji ještě shora zalepíme lepicí páskou.
4. Stejný postup zopakujeme i s větší čočkou a větší trubici.
5. Nakonec tubusy zasuneme do sebe a pozorujeme!

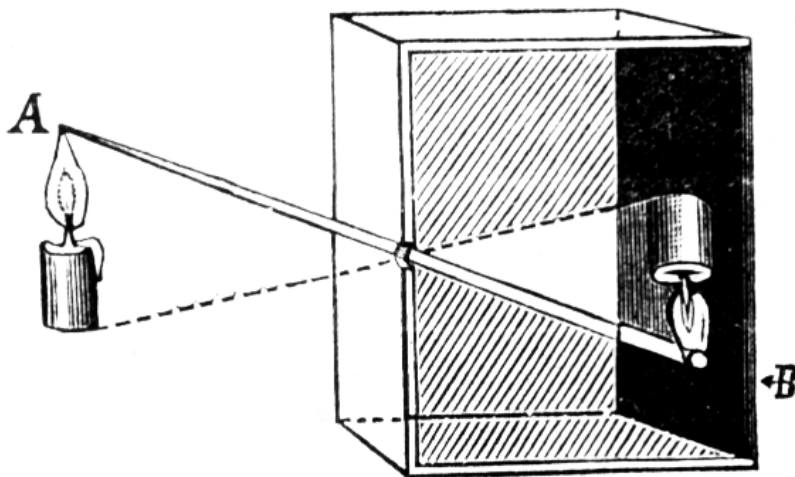
Diskuse:

1. Jaký obraz v dalekohledu vidíme – vzpřímený/stranově převrácený, zvětšený/zmenšený? Uměli byste pomocí schéma dalekohledu ukázat, proč tomu tak je?

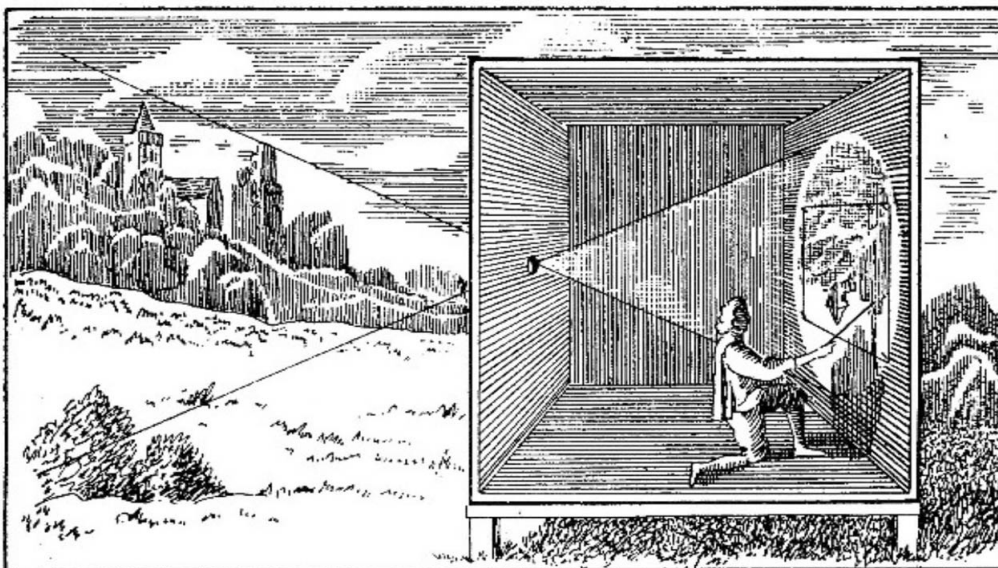
Nakonec se podíváme ještě na jeden optický přístroj, který je předchůdcem dnešního fotoaparátu. Jmenuje se camera obscura neboli „dírková komora“.

EXPERIMENT: VÝROBA DÍRKOVÉ KOMORY (CAMERA OBSCURA)

Úvod pro děti: Camera obscura původně sloužila malířům k rychlému a snadnému namalování věrohodného obrazu. Jak jim to pomohlo? Pomocí tohoto optického přístroje totiž dokážete promítat cokoli z reality na papír. Malíři pak tento obraz na papíře obkreslili a dílo bylo na světě. A to všechno jen pomocí krabice s malinkou dírkou:



<http://www.dierkovakomora.sk/historia-princip-camery-obscury/>



<https://magazine.artland.com/agents-of-change-camera-obscura/>

Popis: Vytvoření dírkové komory

Pomůcky:

1. Dvě stejné lepenkové trubky nebo jedna delší.
2. Řezací nůž
3. Pravítko, propiska
4. Silné lepidlo, lepicí páska
5. Černý papír
6. Pauzovací papír
7. Špendlík

Postup:

1. Pokud nemáme trubky, které jdou do sebe přímo zasouvat a jedna přesně zapadne do druhé, musíme je upravit. Můžeme to udělat například tak, že menší tubu obalíme vrstvou papíru a nebo podél trubky nalepíme 4 užší pásky kartonu, které z každé strany vyplní mezeru mezi menší a větší trubkou. Pokud máme 2 stejné trubky, tak jednu podélně rozřízneme a pak jí zase slepíme dohromady tak, aby byl její obvod o kousek menší.
2. Konec větší trubky zakryjeme alobalem a přilepíme ho.

3. Konec menší trubky překryjeme pauzovacím papírem a přilepíme. Papír by se neměl nijak zvlnit, proto je vhodné nastříhat jeho okraje, které vyčnívají za obvod trubky a až pak slepit.
4. Vezmeme větší trubku a pomocí špendlíku alobal propíchneme uprostřed.
5. Nakonec trubky vložíme do sebe a pozorujeme! V ideálním případě uchopíme kameru obscuru rukama těsně před okem tak, aby naše pozorování nebylo ovlivněno světlem ze stran.

Diskuse:

1. Jaký obraz vidíme – vzpřímený/stranově převrácený?
2. Co kdybychom obraz z camery obscury promítali na fotografický papír? Myslíte, že by z něho mohla být fotografie?

2. SVĚTLO JAKO VLNĚNÍ

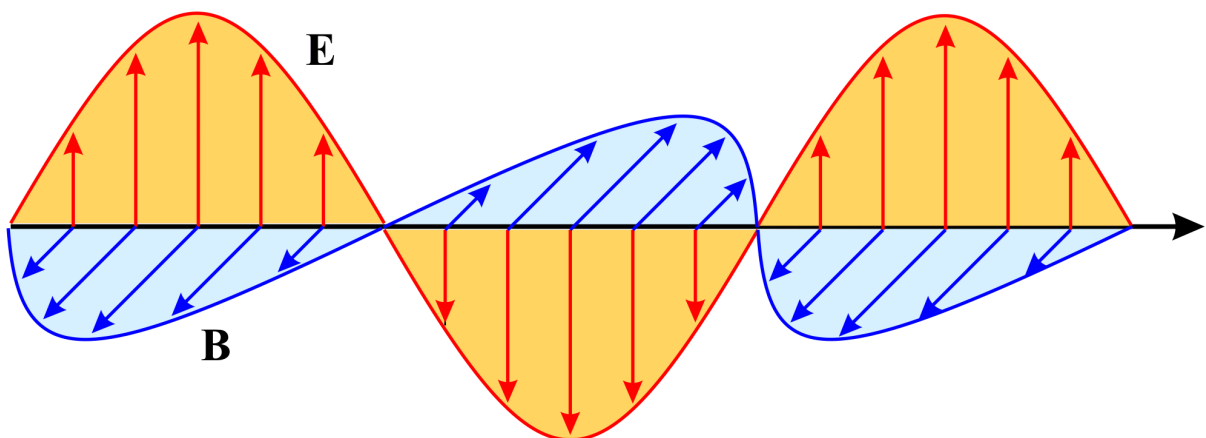
A. Vztah vlnové délky a barvy, vztah s indexem lomu

Doporučené výchozí znalosti: pojmy odraz světla, lom světla, index lomu

Teorie: Když jsme hovořili o odrazu světla, všimli jsme si, že předměty vidíme díky tomu, že se od nich světlo odráží do našeho oka. Náš mozek pak tento obraz zpracuje a my tak můžeme vnímat náš svět plný tvarů a barev. Ale co je to vlastně barva?

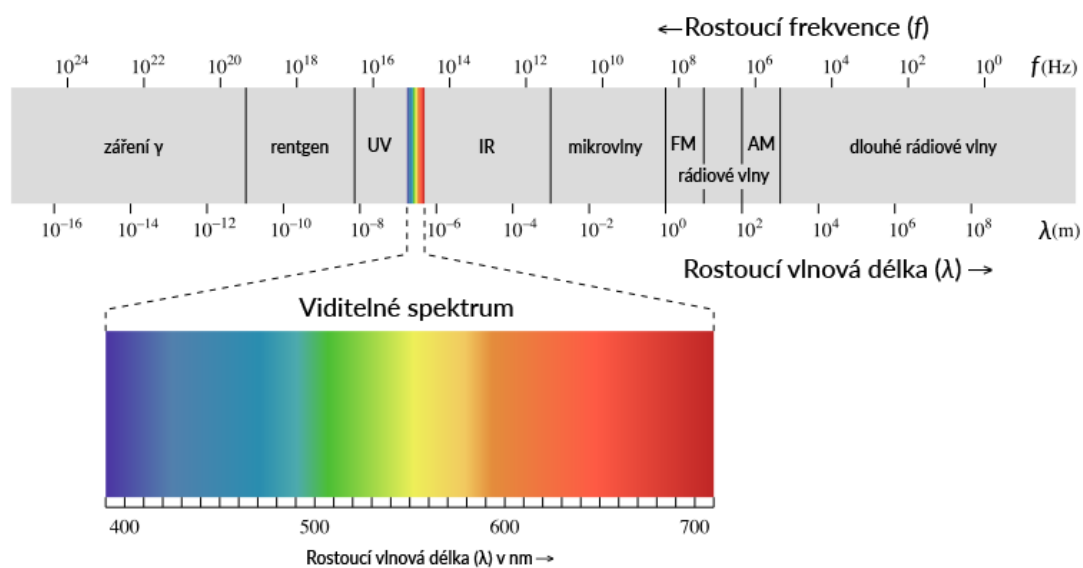
Protože informaci o tom, jak věci vypadají, nám předává světlo, můžeme lehce odhalit, že světlo, které nám říká „tahle miska je červená“ a „tahle je zase zelená“, bude trochu odlišné. Abychom pochopili, v čem přesně se světlo s různou barvou liší, potřebujeme nejdříve vědět, co to světlo je.

Světlo si můžeme představit jako vlnění, přesněji řečeno elektromagnetické vlnění – to znamená, že světlo má elektrickou a magnetickou složku a obě se „vlní“ jako na obrázku níže, kde červenou je zobrazená elektrická složka a modrou zase magnetická.



https://www.aldebaran.cz/tabulky/tb_spektrum.php

Tyto vlny mohou být různě dlouhé, přičemž za jednu vlnu považujeme jeden „kopeček“ směrem dolů a jeden směrem „nahoru“ - (dohromady, ne jen nahoru nebo jen dolu). Délka jedné vlny se nazývá vlnová délka λ . No a právě ta určuje, jakou barvu vidíme. Zdroje světla (jako je naše Slunce) obvykle vyzařují světlo o různých vlnových délkách – mají v sobě různé barvy. Když nějaký předmět vnímáme jako modrý, znamená to, že pohltil všechny vlnové délky světla kromě té, která patří modré barvě. Světlo s takovou vlnovou délkou se odrazí, a když dorazí do našeho oka, náš mozek nám řekne, že je „modré“. Na obrázku níže jsou znázorněny vlnové délky různých barev. Jedná se o velmi malé délky, řádově stovky nanometrů. Pro představu, v jednom milimetru je tolik nanometrů, kolik je milimetrů v 1000 kilometrech. Existují také vlnové délky, které jsou příliš dlouhé nebo příliš krátké na to, aby je naše oko bylo schopno rozlišit. Naše oko je tedy ve skutečnosti schopno rozlišit jen malou část elektromagnetického záření. To, co vidíme na obrázku níže, se nazývá spektrum.



Spektrum: <https://cs.khanacademy.org/science/obecna-chemie>

BAREVNÉ EXPERIMENTY

Úvod pro děti: Určitě jste si už všimli, že mícháním barev dokážete získat jinou barvu. Co vás ale možná překvapí je fakt, že na vytvoření jakékoliv barvy vám postačí pouze tři barvy - a to červená, zelená a modrá – ve zkratce RGB (jako red, green, blue). Ať se vám to může zdát jakkoli neuvěřitelné, bílá barva obsahuje všechny tyto barvy, zatímco černá neobsahuje žádnou. To je také například důvod, proč v horkých letních dnech raději nosíte bílé oblečení než černé, ve kterém je nám nejvíce horko. Funguje to tak proto, že bílá barva obsahuje všechny barvy, a tak si ze sluníčka, které v sobě nese mnoho barev, nepotřebuje žádnou nechat a téměř všechno světlo odrazí. Naopak černá barva má nedostatek všech barev, a proto záření ze sluníčka



pohlcuje, téměř nic neodráží a zahřívá se. Co myslíte, která barva bude víc pohlcovat záření – červená nebo oranžová? Žlutá nebo zelená? A proč?

Popis: Děti se blíže seznámí s pojmem barva. Uvědomí si, že pohlcené záření se může projevat jako teplo. Současně s tímto experimentem doporučujeme vykonat i následující spektroskopický pokus. Vyplníte tak čekací dobu, kterou si tento pokus vyžaduje a navíc si děti ověří, že sluneční světlo opravdu obsahuje více barev.

Tento experiment rozhodně nejdříve vyzkoušejte – může se stát, že barvy na předmětech, které zrovna využijete, budou zvláště namíchané, a pak by experiment nemusel vyjít (např. kdyby zelená nebyla opravdu zelená, ale byla by nějak namíchaná).

Pomůcky:

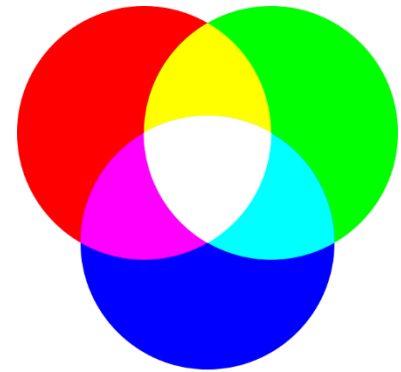
1. Jakýkoli předmět, který budete mít v bílé, černé, červené, zelené, modré, oranžové, žluté či jiné barvě. Tyto předměty by měly mít stejný tvar a velikost. Samozřejmě můžete zvolit i jinou vhodnou kombinaci barev.
2. Termokamera
3. Rovnoměrně sluncem ozářenou plochu, na kterou se vejdou všechny připravené předměty

Postup:

1. Předměty rozložíme po osvětlené ploše.
2. Po dobu 50 minut měřte teplotu každého objektu termokamerou.

Diskuse:

1. Při jaké barvě jste pozorovali nejnižší a při jaké nejvyšší teplotu?
2. Odpovídalo to vašim předpokladům?



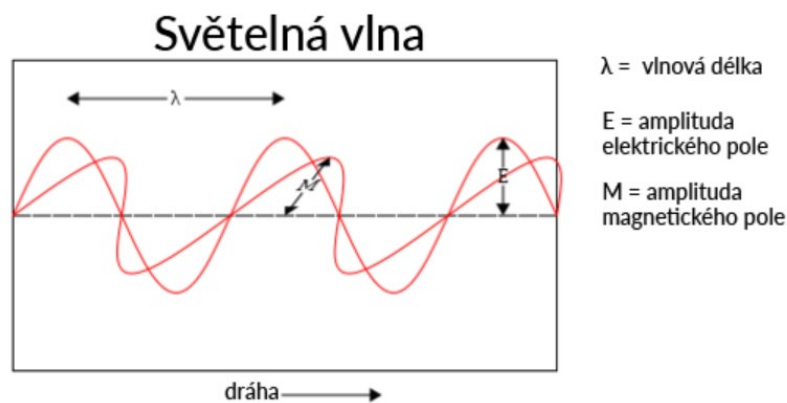
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RGB_color_model.svg

Další inspiraci, jak dětem přiblížit RGB model barev, naleznete například zde:

<https://www.khanacademy.org/computing/pixar/color/color-101/v/color-2>

EXPERIMENT: OPTICKÝ HRANOL

Úvod pro děti: Už tedy víme, co je spektrum. První, kdo ho popsal, byl Isaac Newton, kterému posloužil obyčejný optický hranol. Co se stane se světlem, když prochází hranolem? Odkud kam prochází? Bude mít vzduch stejnou optickou hustotu jako hranol? A co to znamená? Správně, světlo se na rozhraní bude lámat. Světlo s různou vlnovou délkou se láme různě. A právě tato skutečnost poskytuje nejjednodušší způsob, jak zjistit, zda světlo obsahuje více barev.



<https://cs.khanacademy.org/science/obecna-chemie/xfed2aace53b0e2de:atomy-a-jejich-vlastnosti/xfed2aace53b0e2de:fotoelektronova-spektroskopie/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>

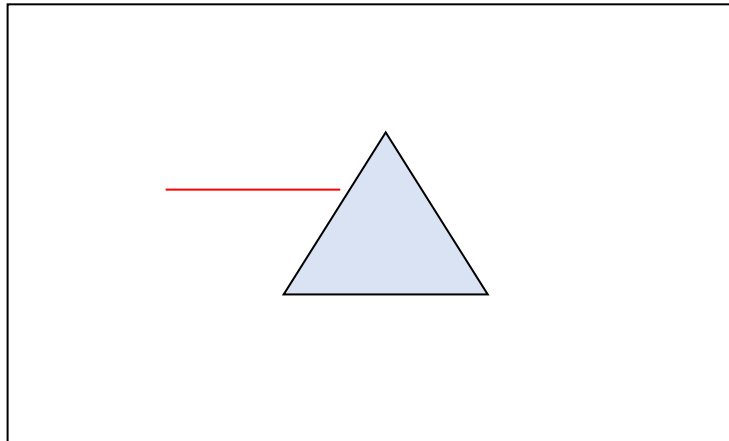
Popis: V tomto experimentu se děti přesvědčí, že laserové paprsky různých barev se na optickém hranolu lámou různě. Vyzkouší si seřadit světla různých barev podle vlnové délky.

Pomůcky:

1. Laserové ukazovátka různých barev (alespoň dvě)
2. Pastelky stejné barvy jako laserové ukazovátka
3. Optický hranol
4. Papír
5. Tužka
6. Pravítko

Postup:

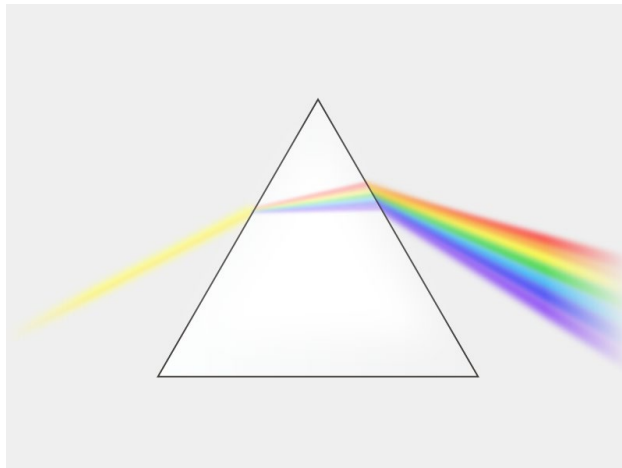
1. Položte na papír optický hranol (aby byl orientován jako na obrázku níže) a obkreslete ho tužkou.

*Obkreslený hranol*

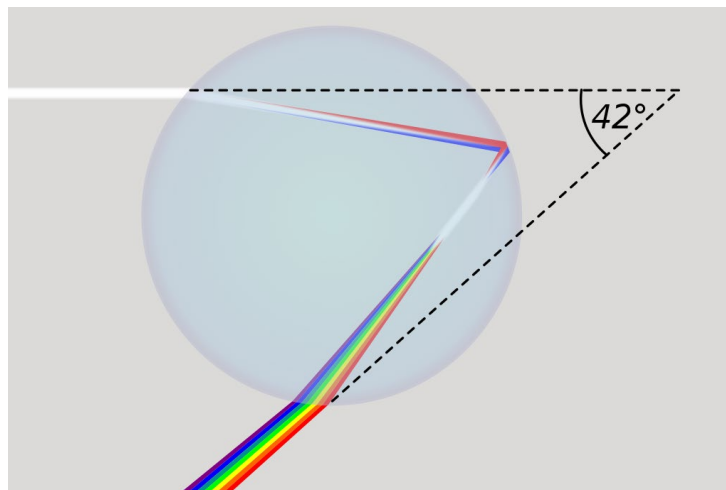
2. Pomocí pravítka narýsujte vodorovnou čáru jako je ta červená na obrázku výše. Ta poslouží jako vodítko pro oko.
3. Posviťte laserem na optický hranol tak, aby laserový paprsek překrýval narýsovanou čáru. Paprsek se na hranolu zlomí a vyjde z něj pod určitým úhlem. Pomocí pravítka „obkreslete“ počáteční paprsek na papír příslušnou barvou.
4. Umístěte hranol mimo papír a pomocí pravítka spojte příslušnou barvou bod, kde do hranolu paprsek vešel a bod, kde paprsek z hranolu vyšel.
5. Vraťte hranol opět na svoje místo a opakujte kroky 3 a 4 opakujte pro co nejvíce barev.

Otázky k zamyšlení:

1. Světlo s kratší vlnovou délkou se láme nejvíce. Která z vámi zkoumaných barev má nejdelší a která nejkratší vlnovou délku?
2. Vezměte hranol na sluneční světlo a zapište si/nakreslete, jak popořadě hranol rozložil bílé světlo na různé barvy. Shoduje se výsledek s vaším pozorováním s laserovými ukazovátkami?
3. Jak to může souviset s duhou? Má stejné barvy, jako když rozložíme sluneční světlo hranolem? A co je na obloze namísto hranolu?



Autor: Suidroot – Vlastní dílo, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3728535>



Autor: KES47 – Vlastní dílo, Volné dílo,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10636870>

EXPERIMENT: SPEKTRUM – A JE TO VŠECHNO?

Úvod pro děti: Pomocí hranolu jsme rozdělili bílé světlo na různé barvy. Na obrázku výše jsme ale viděli, že barvy, které umíme zachytit pouhým okem, tvoří jenom kousek celého spektra. Myslíte, že sluneční světlo obsahuje i barvy, které už volným okem nevidíme? Jestli ano, tak po průchodu hranolem by se mělo zobrazit před fialovou nebo za červenou barvou. Jenže jak to zjistíme?



Popis: Děti budou díky optickému hranolu rozkládat sluneční spektrum. Pomocí teplocitlivé fólie a fluorescenčního papíru budou zkoumat, zda je v něm něco víc, než co můžeme vidět pouhým okem.

Pomůcky:

1. Teplocitlivý papír
2. Fluorescenční papír
3. Hranol
4. Držák na hranol

Postup:

1. Pomocí hranolu rozložíme sluneční světlo na spektrum, přičemž hranol uložíme do držáku.
2. Do horní části spektra položíme teplocitlivou folii tak, aby přesahovala spektrum na jednom i na druhém konci.
3. Do dolní části spektra zase položíme fluorescenční papír, opět tak, aby přesahoval oba konce spektra.
4. Nějakou dobu počkáme. Měli bychom pozorovat, jak se teplocitlivá fólie zabarvuje v oblasti za červenou barvou a na druhé straně bychom měli pozorovat záření fluorescenční pásky v oblasti, kam se zobrazí ultrafialové světlo.

Otázky k zamyšlení:

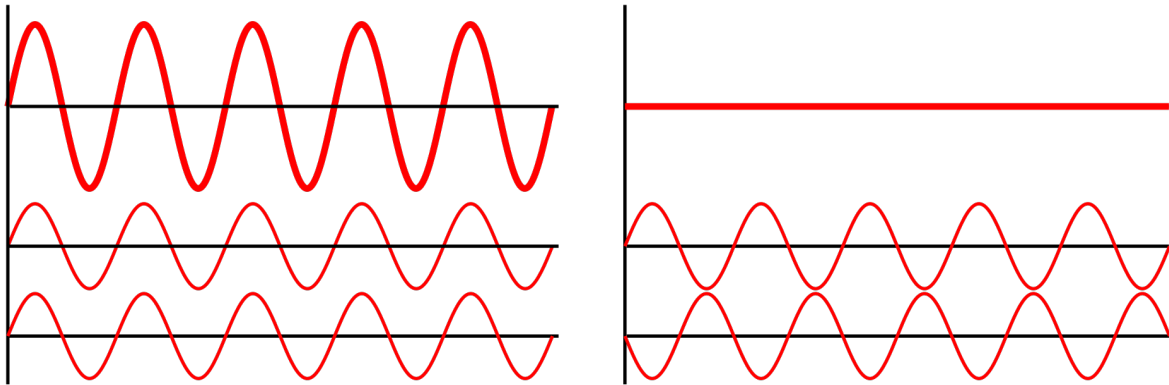
1. Obsahuje sluneční záření i vlnové délky, které nejsme schopni vidět volným okem?
2. Která část slunečního spektra způsobuje záření fluorescenční fólie?
3. Která část z pozorovaného spektra nám přináší nejvíce tepla?

B. Interference a difrakce

(měření tloušťky vlasu, spektrometr, dvojtěrbínový pokus a propojení s gravitačními vlnami, vrypy na CD a DVD, přiřazování difrakčního obrazce k danému jednoduchému vzoru)

Teorie: Již jsme zjistili, že světlo můžeme rozkládat do spektra nejenom hranolem, ve kterém se světlo láme podle zákona lomu, ale například i pomocí CD. Jak je to ale možné? CD má na sobě totiž malinkaté vrypy a když se od nich světlo odráží, vytvoří se spektrum. Pojdme na to ale pěkně popořádku. Abychom takovému rozkladu opravdu porozuměli, podíváme se nejdříve na to, co je to interference světla.

Zní to docela složitě – „interference“, ale ve skutečnosti to není tak těžké. My už víme, že světlo jsou vlastně vlny. Představme si, že máme dvě takovéto vlny a že se potkají. Co se asi může stát? Vysvětlíme si to na obrázku níže.



By original version: Haade;vectorization: Wjh31, Quibik - Vecorized from File:Interference of two waves.png, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10073387>

Na obrázku jsou vždy dole dvě vlny, které se potkají a nahoře je vlna, kterou společně vytvoří. Vidíme tu dva případy. Nalevo se setkávají dvě vlny tak, že jdou najednou „dolů“ a najednou „nahoru“, tak se spojí a vytvoří větší vlnu. Kdybyste chtěli znít opravdu vědecky, můžete tomuto případu říkat „konstruktivní interference“. Napravo se zase setkávají dvě vlny, které jsou „opačné“ – když jde jedna „nahoru“, druhá jde „dolů“ a naopak. Není nijak překvapivé, že když se spojí, tak se vynulují. Říká se tomu „destruktivní interference“. A co to znamená v praxi? Čím je vlna vyšší, tím je světlo jasnější – říkáme, že má větší intenzitu. V případě nalevo tedy vzniká intenzivnější světlo, zatímco napravo bude intenzita nulová a nevidíme vůbec nic.

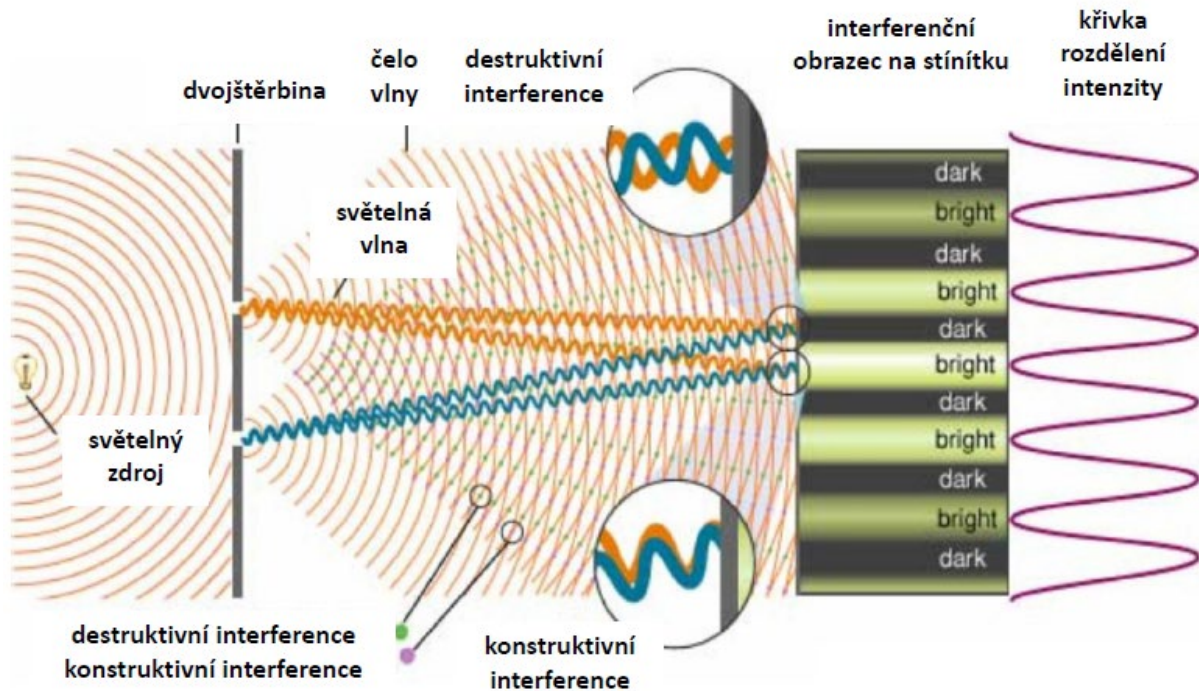
<https://www.youtube.com/watch?v=luv6hY6zsd0>

<https://www.youtube.com/watch?v=kKdaRJ3vAmA>

EXPERIMENT: DVOUŠTĚRBINOVÝ POKUS

Úvod pro děti: Na obrázku vypadá interference celkem hezky, ale jak můžeme dosáhnout toho, aby se těmito způsoby potkaly dvě vlny ve skutečnosti? Úplně jednoduše – necháme projít „hezké“ světlo (řekněme, že hezké světlo je takové, které má vlny dobře uspořádané) přes dvě malé dírkky jako na obrázku níže. V něm je světlo znázorněno jako čáry – ty představují světelné vlny. Když taková světelná vlna projde dírkou, tak se z ní zase bude šířit dál jako vlna do všech směrů. Díky tomu se světlo z jedné dírkky potká se světlem z druhé dírkky. A to je přesně odpověď na otázku, kterou jsme si položili na začátku – přesně takhle dosáhneme toho, že se dvě hezké vlny potkají ve skutečnosti. Na některých místech se potkají dvě vlny tak, že obě půjdou „nahoru“ nebo půjdou obě „dolů“ a na některých se potkají tak, že jedna půjde

„nahoru“ a druhá „dolů“. Proto se někde vytvoří konstruktivní a někde zase destruktivní interference.



<https://www.britannica.com/science/light/Youngs-double-slit-experiment>

Video: <https://www.khanacademy.org/science/physics/light-waves/interference-of-light-waves/v/youngs-double-slit-part-2>

Popis: Děti napodobí Youngův dvouštěrbinový experiment, ukážou si tak interferenci světla v praxi a také dokážou vlnové vlastnosti světla.

Pomůcky:

1. laserové ukazovátko
2. izolační (elektrická) páska
3. tenký drátek
4. nůžky

Postup:

1. Přichystáme si dva malé kousky izolepy a každý přilepíme z jedné strany na laserové ukazovátko na místě, odkud vychází laserový paprsek – při lepení máme ale laser samozřejmě vypnutý. Přilepíme je tak, aby mezi těmito kousky izolepy byla štěrbina o něco větší než je šířka drátku. Po zapnutí laseru a namíření na stěnu bychom měli namísto tečky vidět podlouhlou světelnou stopu.

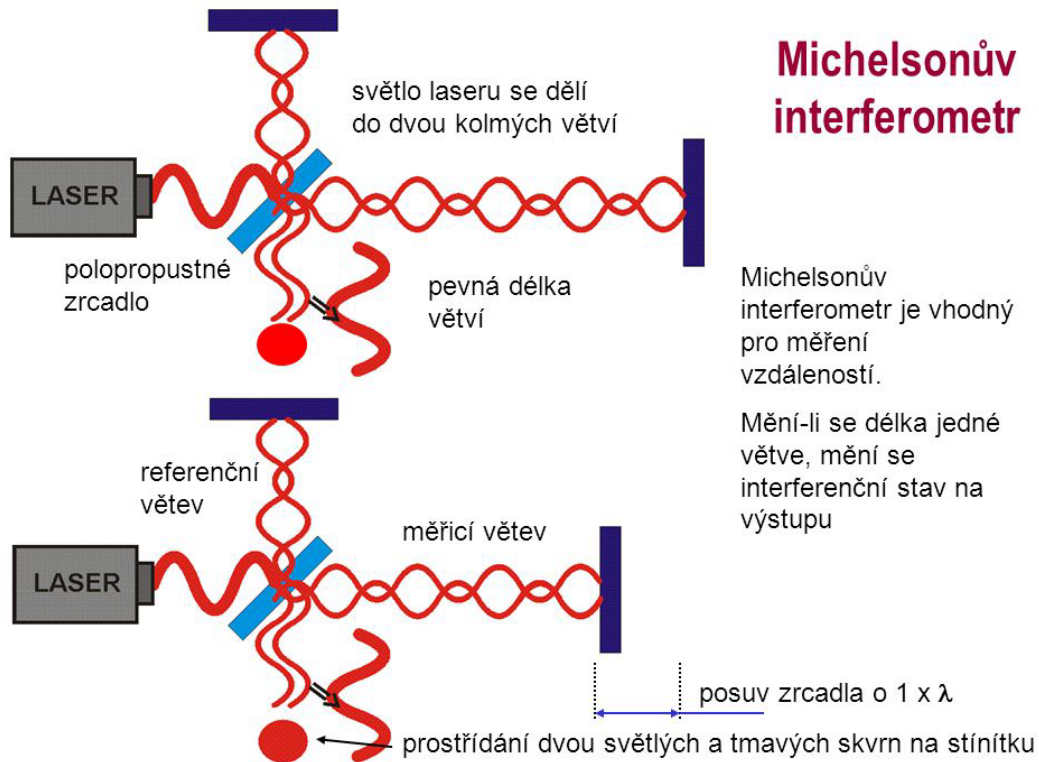


2. Pak pomocí izolepy připevníme na laser drátek tak, aby procházel středem štěrbin, čímž štěrbinu „rozpůlíme“ a vytvoříme tak dvě menší.
3. My ale potřebujeme ještě menší štěrbin. Toho dosáhneme opět pomocí izolepy, nalepíme další kousky blíž k drátku.
4. Když už máme takto připravené dvě štěrbin, zatemníme místnost, zapneme laser, namíříme ho na stěnu nebo na stínítko a pozorujeme, co se děje.

Diskuse:

1. Co se děje ve světlých a co v tmavých místech, které pozorujeme?
2. Myslíte, že vzdálenost světlých/tmavých bodů by se změnila, pokud bychom použili laser o jiné vlnové délce? Proč? Při téhle otázce zkuste děti nasměřovat tím, že si nakreslí dvouštěrbinový experiment jako v teorii dvakrát vedle sebe, přičemž na jednom bude kratší vlnová délka (čáry značící maxima budou blíže k sobě) a na druhém zase delší (čáry budou od sebe dál). Je mezi nimi rozdíl? V tomhle bodě je velice důležité, aby děti použily pravítko (v obou obrázcích musí být stínítko stejně vzdálené od přepážky s dírkami a také dírký musejí být od sebe stejně vzdálené) a kružítko, do kterého pak budou nanášet v prvním obrázku kružnice o poloměru například 7 mm, 14 mm, 21 mm.... A ve druhém například 14 mm, 28 mm, 42 mm...
3. V tomto experimentu můžeme krásně vidět, že světlo se opravdu chová jako vlnění – jinak bychom nemohli pozorovat interferenci na stínítku. Proč ne? Tady zkusíme navést děti na myšlenku, že kdyby světlo nebylo vlna, tak by se některé vlny nemohly vyrušit nebo naopak spojit a udělat větší vlnu (tedy bychom nepozorovali jasná a tmavá místa na stínítku). Navíc by se světlo po průchodu dvěma štěrbinami vůbec nedostalo všude do prostoru, ale z každé dírky by vycházel jednom úzký paprsek světla a na stínítku bychom pozorovali jenom dvě světlé tečky – od každé dírky jednu.

Existují i jiné způsoby, jak rozdělit zdroj světla tak, aby spolu interferovalo. Jedním z nich je Michelsonův interferometr načrtnutý na obrázku níže. Funguje tak, že laserem zasvítíme na speciální polopropustné zrcátko. To je pokovené tak, aby půlku světla odrazilo nahoru do horního zrcátka a druhou půlku propustilo přímo dál na druhé zrcátko. Horní zrcátko i zrcátko napravo pak světlo odrazí



<https://slideplayer.cz/slide/2004999/>

zpátky na polopropustné zrcadlo. Tohle polopropustné zrcadlo pak světlo z horního zrcátka nechá projít dolů na stínítko a světlo z pravého zrcátka odrazí – také dolů na stínítko. Paprsky se tedy zase spojí. Pokud jsou zrcátka vzdálená od polopropustného zrcátka stejně, tak světlo urazí stejnou vzdálenost a vlny se potkají tak, že vytvoří konstruktivní interferenci. Když ale jedno zrcátko mírně posuneme, tak vlny, které se pak potkají, budou také trochu posunuté (protože světlo na jedné dráze urazilo větší vzdálenost než na druhé). V takovém případě se interferenční obrazec změní. Pokud posuneme zrcátko tak, že potkávající se světlo se bude vlnit přesně opačně, vytvoří se destruktivní interference a my nevidíme vůbec nic.

Pěkná animace: <https://www.youtube.com/watch?v=UA1qG7Fjc2A>

Jak vypadá takový experiment doopravdy:

<https://www.youtube.com/watch?v=4vV4OtlD5Yg>

<https://www.youtube.com/watch?v=McvliH3vHII>

Takový interferometr už pomohl vyvrátit či dokázat některé fyzikální teorie. Například se s jeho pomocí podařilo potvrdit existenci gravitačních vln. To jsou vlny, které putují vesmírem. Když taková vlna

projde Zemí, tak jí jemně zdeformuje. Je to ale opravdu malinkatá změna, a proto je velice obtížné tuto deformaci změřit. Pomocí obrovského interferometru se to ale vědcům před pár lety konečně podařilo! Jak to přesně funguje se můžete dozvědět například v tomhle videu:

<https://www.youtube.com/watch?v=1I7AhrT76nl>

<https://clanky.rvp.cz/clanek/o/g/2069/DIFRAKCE-NA-STERBINE-A-NA-MRIZCE.html/>

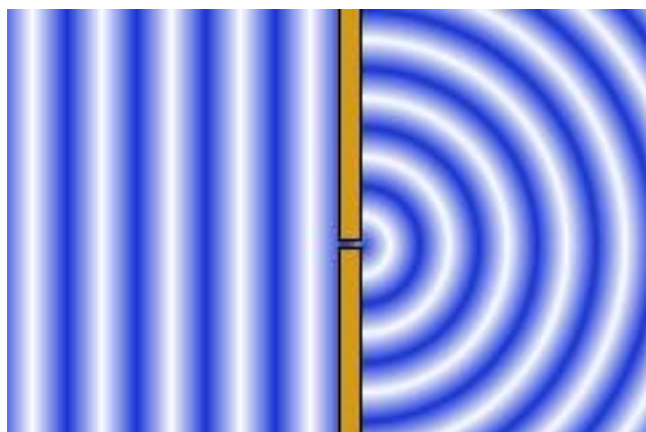
Difrakce

Ve dvoušterbinovém experimentu jsme se dozvěděli, že když světlo projde dírkou, tak netvoří jeden úzký paprsek, ale že se dál vlní do prostoru – i do stran. Světlo tedy nejde „přímo“ nebo „rovně“ dál na stínítko, protože se „rozprostře“ v prostoru. V podstatě tedy mění svůj směr. Našli jsme tedy druhý způsob, jakým světlo může změnit svůj směr. První byl lom na rozhraní dvou různých optických prostředí. Tento druhý způsob, kdy se světlo „ohýbá“, ale neprochází rozhraním mezi dvěma prostředími, se jmenuje difrakce. V našem případě se světlo ohnulo při průchodu šterbinami. Pořád se ale šířilo vzduchem, takže k přechodu z jednoho do druhého optického prostředí nedošlo.

Díky difrakci jsme tedy získali vlny, které spolu interferovaly a my jsme pak pozorovali na stínítku tmavá a světlá místa. Říkáme, že vznikl difrakční obrazec. Také již víme, že vzdálenost mezi tmavými/světlými místy je různá při různých vlnových délkách. Takže nás už nepřekvapí, že se tato vzdálenost změní, i když posuneme stínítko blíže nebo dál od našich dvou dírek. No a samozřejmě se vzdálenost mezi světlými body změní, když budou dírky od sebe různě daleko.

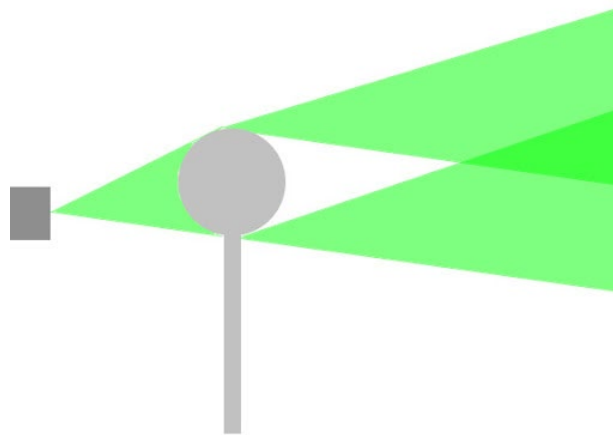
EXPERIMENT: MĚŘENÍ TLOUŠTKY VLASU

Úvod pro děti: Ve dvoušterbinovém experimentu se ze šterbin staly zdroje vln, které pak spolu interferovaly. Víme, že je to možné díky difrakci. Světlo se po průchodu malinkatou šterbinou chová jako na tomto obrázku:



Autor: Pajs – Vlastní dílo, Volné dílo,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2182664>

Difrakce ale vzniká, když se vlny dostanou k jakékoli malinké překážce, nebo i na velice ostré hraně nějakého předmětu. Stejně tak se světlo ohýbá i na hranách vlasu:



<http://physicsed.buffalostate.edu/pubs/StudentIndepStudy/EURP09/Young/Young.html>

Na každé straně vlasu se tak světlo ohne a podobně jako při dvouštěrbinovém pokusu pak spolu tyto ohnuté vlny interferují. Už nás asi nepřekvapí, že vzdálenost světlých bodů bude záviset na tloušťce vlasu. Když známe vlnovou délku světla a víme, jak je stínítko daleko od vlasu, tak podle vzdálenosti světlých míst na stínítku můžeme vypočítat, jak tlustý je náš vlas.

Popis: Děti pomocí difrakce určí tloušťku vlasu.

Pomůcky:

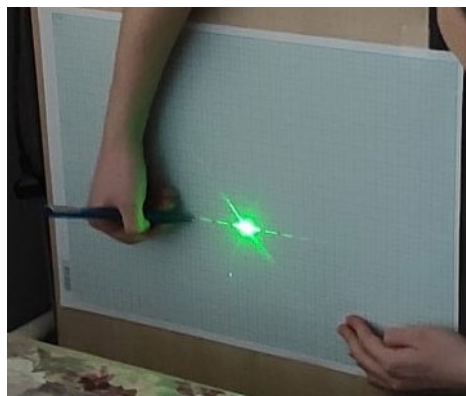
1. laserové ukazovátko
2. vlas
3. rám na fotografii
4. lepicí páska
5. metr
6. stínidlo (nejlépe milimetrový papír)
7. nůžky
8. stojan na laser (může posloužit prakticky cokoli, i knihy, na které laser položíme)
9. propiska

Postup:

1. Odštířený vlas připevníme pomocí lepící pásky k prázdnému rámu na fotografii tak, aby byl napnutý.
2. Laser připevníme na stojan (třeba na knihu pomocí lepící pásky) a před něj položíme rám s vlasem. Laser by měl být namířený na stěnu (nebo tabuli nebo na cokoli, kam můžeme připevnit stínítko). Zároveň by pak vlas a stínítko měly být od sebe co nejvíce vzdáleny.



3. Zapneme laser a tam, kde se nám zobrazí difrakční obrazec, připevníme stínítko. Pokud je to milimetrový papír, tak ho upevníme tak, aby jeho vodorovné čáry nebyly vůči difrakčnímu obrazci nakloněné.
4. Po upevnění stínítka zatemníme místnost a vyznačíme tmavá místa v difrakčním obrázku.





5. Změříme vzdálenost mezi vlasem a stínítkem (a to v tom bodě na stínítku, kde se na difrakčním obrazci objeví nejjasnější bod – právě ve středu).

6. Na stínítku změříme nebo odečteme z milimetrového papíru vzdálenost prvních minim (neboli vzdálenost tmavých míst, které byly nejbliže ke středu difrakčního obrazce, tedy nejbliže k nejjasnějšímu bodu).

7. Tloušťku vlasu pak vypočteme jako:

$$h = \frac{2 \cdot \lambda \cdot l}{d}$$

kde λ je vlnová délka laseru, l je vzdálenost vlasu od stínítka a d je vzájemná vzdálenost prvních minim. Nezapomeneme všechny hodnoty převést do stejných jednotek.

8. Výpočet opakujeme s dalšími minimy. Pak je třeba výše uvedený vztah ještě vynásobit příslušným řádem minima. To znamená, že pokud budeme počítat vzdálenost minim, které jsou v pořadí druhé od maxima, mají řád 2, pokud jsou třetí v pořadí, mají řád 3. Když budeme tedy počítat vzdálenost mezi minimy řádu 2, bude vzoreček výše upraven následovně:

$$h = 2 \cdot \frac{2 \cdot \lambda \cdot l}{d}$$

Diskuse:

1. Zkuste najít na internetu, jakou tloušťku může vlas mít. Shoduje se s tím, co jste naměřili vy?
2. Pokud jste zkusili vypočítat tloušťku vlasu i z dalších řádů minim, vyšla vám pokaždé stejná hodnota? Pokud ne, co to znamená?
3. Jak bychom mohli naše měření zpřesnit? Zkusme děti navést na to, že bychom potřebovali přesněji určit polohy minim.

Difrakční mřížka

Při posledních experimentech jsme si vytvořili interferenční (difrakční) obrazce, kde se střídala světlá a tmavá místa (neboli minima a maxima). Když jsme se snažili vyznačit na stínítku, kde jsou nejtmaší a kde přesně jsou nejsvětější body, tak jsme zjistili, že to není tak jednoduché – tato minima a maxima byla trochu „rozmazaná“. To se dá ale poměrně jednoduše napravit tím, že světlu najednou poskytneme víc takových překážek, na kterých se může lámat – například dvoušterbinový experiment můžeme vylepšit tak, že namísto dvou šterbin jich budeme mít mnoho. Musíme si jenom dát pozor, aby všechny tyto šterbiny byly od sebe stejně vzdálené. Takováto věc se pak nazývá difrakční mřížka.

EXPERIMENT: VRYPY NA CD A DVD

Úvod pro děti: Difrakční mřížka se běžně používá v opravdovém výzkumu. Taková mřížka, jak jsme si ji popsali výše, se nazývá mřížka na průchod, protože světlo přes ni prochází. Podobná mřížka se dá vyrýt třeba i na zrcadlo. Když na takovou mřížku zasvítíme, světlo se odrazí a my tak můžeme vidět difrakční obrazec na stejné straně, jako je laser. Říkáme, že je to difrakční mřížka na odraz. Víte, že CD a DVD mají na sobě malinkaté vrypy? Plocha CD a DVD působí, že dokáže celkem dobře odrážet světlo. Pojdme zkusit, jestli se chovají jako difrakční mřížka na odraz. Pokud je to opravdu tak, určitě zvládneme vypočíst i to, jak daleko od sebe vrypy jsou!

Popis: Děti zjistí, že CD a DVD se chovají jako difrakční mřížka a také vypočtou vzdálenost mezi vrypy.

Pomůcky:

1. laserové ukazovátko – ideálně ve dvou barvách
2. papírové čtvrtky
3. úhloměr
4. nůžky
5. tužka
6. lepidlo
7. lepicí páska
8. tužka

Postup:

Vyrobíme si pomůcku ze čtvrtky papíru, která bude nakonec vypadat jako na obrázku níže:



- Nejdříve obkreslíme úhloměr na čtvrtku a vystříhneme ho. Vyznačíme si ještě střed rovné strany – na obrázku výše vyznačen čárkou ve středu úhloměru.
 - Teď už máme „půdorys“, ale k němu ještě potřebujeme okraj, který přilepíme na oblou stranu půdorysu. Ten opět vyrobíme ze čtvrtky a to tak, že narýsuje obdélník široký alespoň 2,5 cm a dlouhý akorát tak, aby pokryl oblou stranu našeho půdorysu. Ještě ale nestříháme! Před stříháním dokreslíme na jednu dlouhou stranu obdélníku „zoubky“ a spolu s těmi už můžeme okraj naší pomůcky vystříhnout.
 - Přesně ve středu právě vytvořeného okraje ještě vystříhneme kulatý otvor, přes který pak budeme svítit laserem. Je dobré, aby byl blíže ke spodní straně okraje – tedy blíže k „zoubkům“.
 - Teď už můžeme půdorys a okraj slepit, přičemž nám dobře poslouží přidané „zoubky“. Ty ohneme a přilepíme ze spodní strany k půdorysu pomocí lepidla a případně i lepicí pásky.
1. Když už máme pomůcku hotovou, můžeme začít měřit. Přes kruhový otvor zasvítíme pomocí laseru na CD jako na obrázku níže. Dáváme přitom pozor, aby laserový paprsek dopadal na CD na místo, které leží nad středem naší pomůcky – to jsme si vyznačili ještě v úplně prvním kroku po vystříhnutí půdorysu. S dětmi zároveň zjistíme, že CD opravdu funguje jako difrakční mřížka.



2. Polohy maxim pak zaznačíme pomocí tužky.
3. Nakonec přiložíme úhloměr a odečteme, kolik stupňů od místa, odkud svítil laser, ležela naše maxima. Tento úhel označíme α .



4. Vzdálenost vrypů h pak vypočteme pomocí vztahu:

$$h = \frac{\lambda}{\alpha}$$

kde λ je vlnová délka použitého laseru.

5. Asi nás nepřekvapí, že tento vzoreček a vzoreček, pomocí kterého jsme počítali tloušťku vlasu, vychází z jednoho a toho samého vztahu. Pokaždé se jenom použije trochu jiné přibližné vyjádření tohoto vztahu. Nemusíte se ale bát, tyto upravené vzorce jsou sice trochu nepřesné, ale tak malinko, že to ani nepoznáte. Používáme je proto, aby se nám snadněji počítalo. No a protože vychází ze stejného vztahu, opět platí, že když se budeme snažit vypočíst vzdálenost vrypů na CD z druhého nebo třetího maxima, celý vztah jenom vynásobíme příslušným řádem maxima.
6. Postup pak zopakujeme ještě s alespoň jedním laserovým ukazovátkem s jinou vlnovou délkou.
7. Nakonec ještě postup zopakujeme s DVD, s alespoň jedním laserovým ukazovátkem.

Diskuse:

1. Kde jsou vrypy hustší – na CD a nebo na DVD? Pomocí těchto vrypů se ukládají data. Co tedy bude mít větší kapacitu? Souhlasí to s tím, že na CD bývají skladby a na DVD i filmy?
2. Co se stalo, když jste vyměnili vlnovou délku světla? A co by se stalo, kdybychom na DVD posvítily třeba bílým laserem? Proč na CD-čku běžně vidíme barevné odlesky?

Inspirováno: http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/optika/difrakce_na_discich.pdf

CD bychom mohli použít také pro rozklad světla na spektrum. Fungovalo by totiž jako difrakční mřížka a my už dobře víme, že vzájemná vzdálenost maxim a minim na difrakčním obrázku závisí na vlnové délce světla. Maximum každé vlnové délky se tak zobrazí někde jinde, a my pak můžeme pozorovat spektrum.

EXPERIMENT: DIFRAKČNÍ OBRAZCE

Úvod pro děti: Nakonec pojďme zjistit, co se stane, když projde světlo malými otvory různých tvarů. Jak budou asi vypadat difrakční obrazce?

Popis: Děti zjistí, že když světlo projde různými malými otvory, vzniknou různé obrazce. Nakonec se podíváme, že díky tomu můžeme například zjistit, jak vypadají třeba takové molekuly.

**Pomůcky:**

1. laserové ukazovátko
2. průmyslové optické mřížky
3. kuchyňská sítko (nejlépe jedno velké kovové na těstoviny a jedno menší sítkové na čaj)
4. stínítko

Postup:

1. Vysvětlíme dětem, že optické mřížky, které budeme používat, jsou difrakční mřížky na průchod a že je tvoří spousta vláken uložených vedle sebe. Zatemníme místnost.
2. Nejdříve pozorujeme obrazec, který vznikne po průchodu laserového paprsku přes jednu optickou mřížku.
3. Pak přidáme druhou mřížku, kterou otočíme vůči první o 90 °.
4. Nakonec přidáme třetí, přičemž se tyto tři pokusíme dát do vzájemné polohy tak, aby směr vláken vytvořil třeba trojúhelník.
5. Namísto optických mřížek vložíme laserovému paprsku do cesty kuchyňské sítko – nejdříve menší a pak větší.

Diskuse:

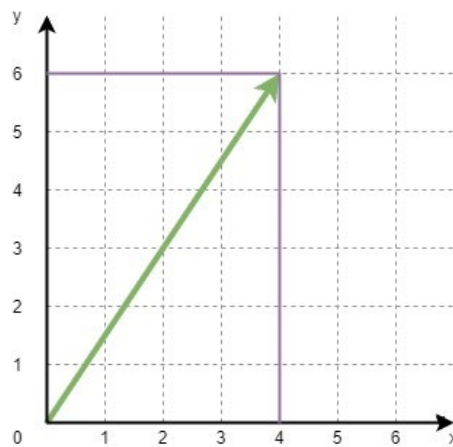
1. Jaký tvar měly difrakční obrazce?
2. Jak souvisí velikost otvorů, na kterých docházelo k difrakci, a velikost difrakčních obrazců, které tak vznikaly?

V posledním experimentu jsme zjistili, že předměty zobrazené difrakcí zachovávají svůj tvar. Také je zde souvislost mezi velikostí předmětů a daných obrazců – čím menší je předmět, tím větší je jeho difrakční obrazec. Ukázalo se, že když si takto posvítíme na opravdu malé věci – jako třeba molekuly, ze kterých se skládá látka – tak můžeme taky pozorovat jejich difrakční obrazce. A díky tomu, že víme, jak souvisí tvar předmětu a tvar obrazce, umíme také zjistit, jak takovéto velmi malé předměty vypadají!

C. Polarizace světla (pokusy s polarizátory a s odrazem)

Teorie: Již jsme si řekli, že světlo je složené z elektrické a magnetické složky – jedná se o tzv. elektromagnetické *vlnění*. Často však můžeme magnetickou složku světla zanedbat a stejně tak tomu bude i v našem případě.

Elektrickou složku světla popisujeme pomocí tzv. *elektrické intenzity* \vec{E} . Jde o vektorovou veličinu, což zjednodušeně znamená, že si ji můžeme představit jako šipku. Tím, že se tato šipka zvětšuje a zmenšuje, a zároveň pohybuje prostorem, tak vytváří naše známé světelné vlny. Abychom si však tuto šipku mohli představit opravdu dobře, musíme vědět, kde se nachází, jak je velká a kam v danou chvíli míří. Na to využíváme souřadnicový systém:

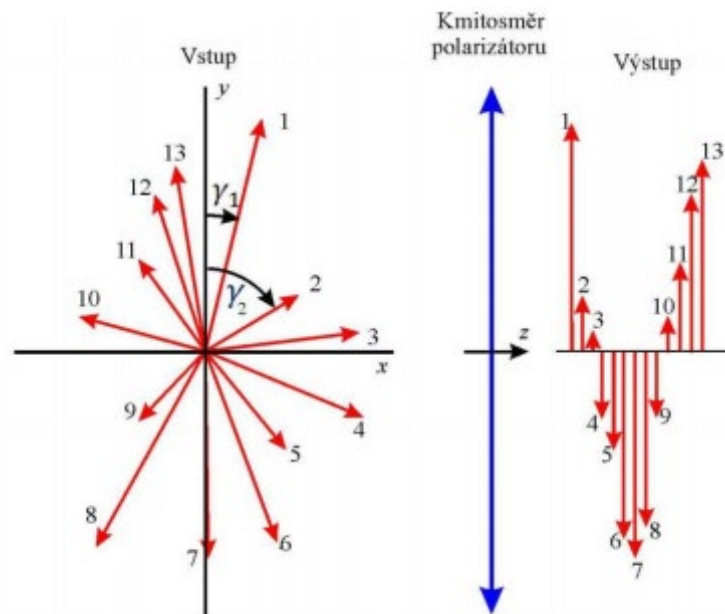


Souřadnicový systém využívaný pro popis světla

Šipku na obrázku výše budeme nazývat vektor, v našem případě *vektor elektrické intenzity* \vec{E} . Pomocí souřadnicového systému už dokážeme určit, že x-ová složka vektoru má velikost $E_x = 4$ a y-nová $E_y = 6$.

$$\begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ 6 \end{pmatrix}$$

Kdybychom ale chtěli zobrazit běžné světlo, které není nijak upravené, vypadalo by jako na obrázku níže vlevo. Takovému světlu se říká, že je *nepolarizované*. Existují však metody, jak nepolarizované světlo „upravit“. Můžeme ho například nechat projít polarizátorem, který má tu vlastnost, že propustí jen část vektorů \vec{E} . Jak pak budou vypadat vektory \vec{E} po průchodu polarizátorem závisí na úhlu natočení polarizátoru. Na obrázku níže modrý polarizátor propustí jen y-nové složky vektoru \vec{E} . Světlo, které z polarizátoru vyjde, nazýváme *polarizované*.



Průchod nepolarizovaného světla polarizátorem:

http://fu.mff.cuni.cz/semicond/media/files/courses/kapitola-2-polarizace-text-18-12-19_MABEry9.pdf

EXPERIMENT: FILTRACE SVĚTLA

Úvod pro děti: Polarizátor propustí jenom část světla. To znamená, že když jím světlo projde, bude slabší. Čas od času je ale výhodné světlo takhle „filtrvat“. Když máme nepolarizované světlo, nevíme, jak přesně jsou v něm umístěné vektory elektrické intenzity \vec{E} . Když ho ale polarizátorem „přefiltrujeme“, tak pustíme jenom takové vektory \vec{E} , které kmitají (zvětšují a zmenšují se) v určitém směru. Toho lze dobře využít – pojďme se podívat jak.

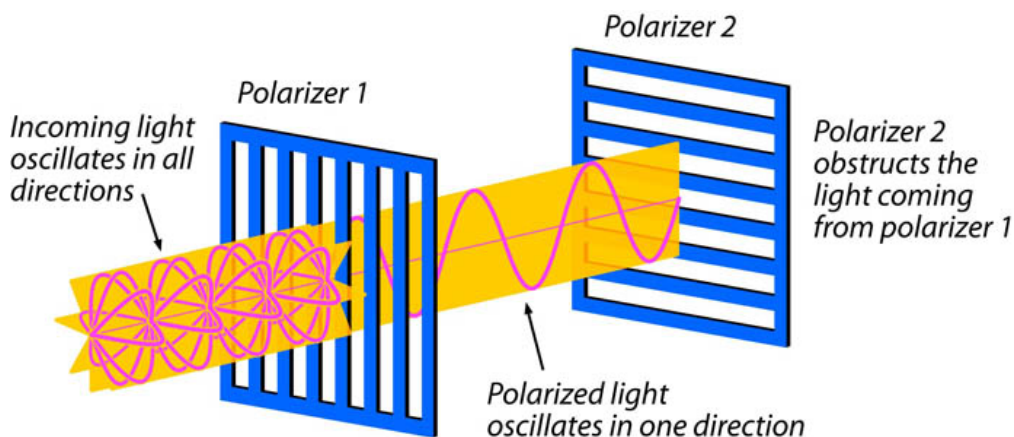
Popis: Děti se seznámí s polarizátory, zjistí, co polarizátory dělají v praxi se světlem a jak je lze využít k odhalení pnutí nebo deformací v látce. Také zjistí, že polarizátory nejsou jediná možnost, jak získat polarizované světlo.

Pomůcky:

1. tři lineární polarizátory
2. spojná čočka
3. halogenová žárovka/baterka
4. držáky na polarizátory, čočku a žárovku
5. staré pravitko nebo skleněná tabulka (z plexiskla), která byla namáhaná tlakem
6. fotoaparát s polarizačním filtrem

Postup a průběžná diskuse:

1. Zatemníme místnost. Žárovku umístěnou ve stojanu zapneme a umístíme za ní spojnou čočku (tak, aby žárovka byla v ohnisku čočky). Za čočku umístíme polarizátor a natočíme ho tak, aby propouštěl světlo jenom ve vertikálním směru. Pak vezmeme i druhý polarizátor a podíváme se na žárovku přes oba. Během toho začneme druhým polarizátorem pomalu otáčet, až světlo ze žárovky úplně zmizí – to bude právě tehdy, když ho natočíme tak, aby propouštělo světlo jenom v horizontálním směru. Polarizátory v téhle poloze upevníme na držáky. Proč světlo zmizelo? Můžeme si pomoci obrázkem níže:



<https://www.vitensenteret.com/en/mod377e>

2. Na chvilku opustíme naši optickou soustavu, ale nerozebíráme ji, protože se k ní zase vrátíme. Ukážeme dětem fotoaparát s polarizačním filtrem a vysvětlíme jim, že je schopen „přefiltrovat“ obraz tak, aby na něm nebyly nechtěné odrazky. Například když chceme vyfotit něco přes okno, tak v něm kromě výhledu z něj můžeme vidět i vlastní odraz, který zrovna na výsledné fotografii nechceme. A proč takové světlo dokážeme filtrovat pomocí polarizátoru? Děti už v tomto momentě možná samy přijdou na to, že odražené světlo musí být nějak polarizované. Zároveň tím ukážeme, že je i jiný způsob, jak získat polarizované světlo.



3. Necháme děti, ať po třídě hledají odrazy a pak se na ně dívají přes polarizátory, kterými otáčejí.

4. Polarizátory v této poloze upevníme na držáky. Pak mezi ně vložíme třetí polarizátor, který natočíme šikmo. Když se pak podíváme přes všechny tři polarizátory, najednou něco uvidíme! To je dáno tím, že střední polarizátor zase trochu pozmění směr, ve kterém vektor \vec{E} kmitá. Pro lepší představu si můžeme pustit toto video:

<https://www.youtube.com/watch?v=8YkfEft4p-w>

Video je sice delší, ale lze na něm pěkně pochopit, jak se vektory \vec{E} sčítají a také co přesně se děje při průchodu polarizátory. Pokud máte málo času, lze přeskočit rovnou na čas 12:30.

5. Střední polarizátor odebereme a na jeho místo pak vložíme pravítko/skleněnou tabulku, které bylo už velice namáhané/mikrotenový sáček. Pravítko můžeme zkusit ohnout, sáček natahovat – až tak, že ho téměř přetřhneme. Na tabulku se také můžeme pokusit vyvinout tlak.

6. Nakonec můžeme na plexisklo nalepit kousky lepící pásky – někde jenom jednu vrstvu, někde jich nalepíme tolik, aby se překrývaly dvě, tři, nebo i více vrstev. Plexisklo opět uložíme mezi dva zkřížené polarizátory.

3. ODBOČKA DO ATOMOVÉ FYZIKY aneb JAK FUNGUJE LASER

Doporučené výchozí znalosti: energie, atom se skládá z jádra a elektronů, elektřina, statická elektřina

A. Světlo jako částice

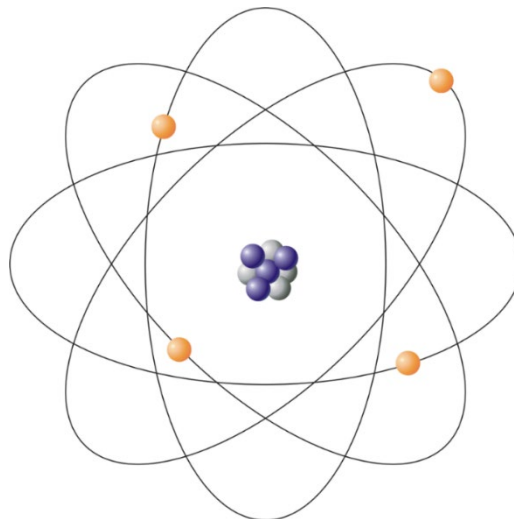
Určitě jste již slyšeli o fotonech – částicích, které představují světlo. My jsme si už ukázali mnoho experimentů, které dokazují, že světlo se chová jako vlny. Historie objevování je ale dlouhá a za tu dobu se objevila také řada experimentů, které ukázaly, že světlo se může chovat rovněž jako částice. Jedním z nich je fotoelektrický jev.

EXPERIMENT: FOTOELEKTRICKÝ JEV

Úvod pro děti: Hmota kolem nás se skládá z atomů – malých částiček hmoty. Každý atom má své jádro a kolem něj jsou elektrony. Jádro je nabitě kladně a elektrony záporně. Proto se k sobě přitahují podobně jako opačné póly magnetů. Nemyslete si ale, že jsou na sobě nalepené jako dva magnety – elektrony mají kolem atomového jádra své dráhy, ve kterých se můžou pohybovat a které jsou od jádra relativně daleko. Kdysi si vědci mysleli, že atom vypadá podobně jako Sluneční soustava – že elektrony obíhají kolem atomového jádra podobně jako planety kolem Slunce. Dnes už víme, že je to mnohem komplikovanější, ale pro první přiblížení nám tato představa dobře poslouží.

Podobnost slov „elektřina“ a „elektron“ není vůbec náhodná. Tyto malé záporně nabitě částice skutečně putují elektrickými sítěmi a umožňují nám využívat výtěžky elektřiny. Možná se vám zdá, že jsme se od světla poněkud vzdálili – opak je ale pravdou. S právě nabytými (nebo čerstvě osvěženými) znalostmi už můžeme porozumět fotoelektrickému jevu.

Popis: Děti si ověří, že světlo má i částicový charakter.



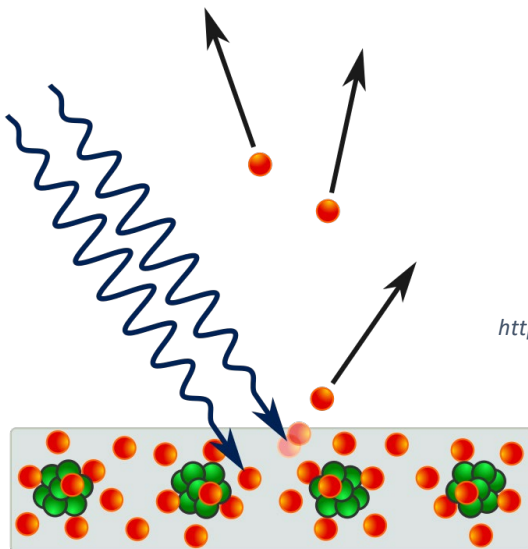
<https://glossary.periodni.com/glossary.php?en=atom>

Pomůcky:

1. elektroskop
2. zinková destička
3. nafouknutý balónek
4. UV lampa

Postup:

1. Vysvětlíme dětem, že elektroskop nám ukazuje, zdali je na jeho horní desce kladný anebo záporný náboj. Pokud ano, tak se „ručičky“ na něm od sebe odchýlí, a to tím víc, čím víc náboje na desce je. Pak na něj položíme zinkovou destičku a řekneme, že pokud bude destička nabitá, elektroskop to ukáže, protože se zinková destička nachází na jeho desce.
2. Když je něco nabitě záporně, tak má přebytek elektronů a když kladně, tak má naopak elektronů méně. Pro náš experiment budeme potřebovat, aby na zinkové desce byl přebytek elektronů. Jak na ní ale elektrony dostaneme? Pomocí statické elektřiny! Vezmeme balón, dobře ho otřeme třeba o vlasy a tím ho záporně nabijeme. Dětem řekneme, že na balónu jsou teď elektrony. Otřeme balón o zinkovou destičku a všimneme si, že elektroskop už ukazuje přítomnost náboje.
3. Rozsvítíme normální světlo v místnosti a pozorujeme, že elektroskop ukazuje pořád stejnou hodnotu náboje.
4. Pak na zinkovou desku posvítíme UV lampou a pozorujeme elektroskop. Náboj zmizel, přebývající elektrony se tedy musely dostat pryč. Jednoduše řečeno – fotony z UV lampy je ze zinku „vyrázily“ podobně, jako když v kulečnicku vrazíte jednou koulí do jiné, a ta se někam posune. Jak to v principu vypadalo v zinku, je zobrazeno na obrázku níže:



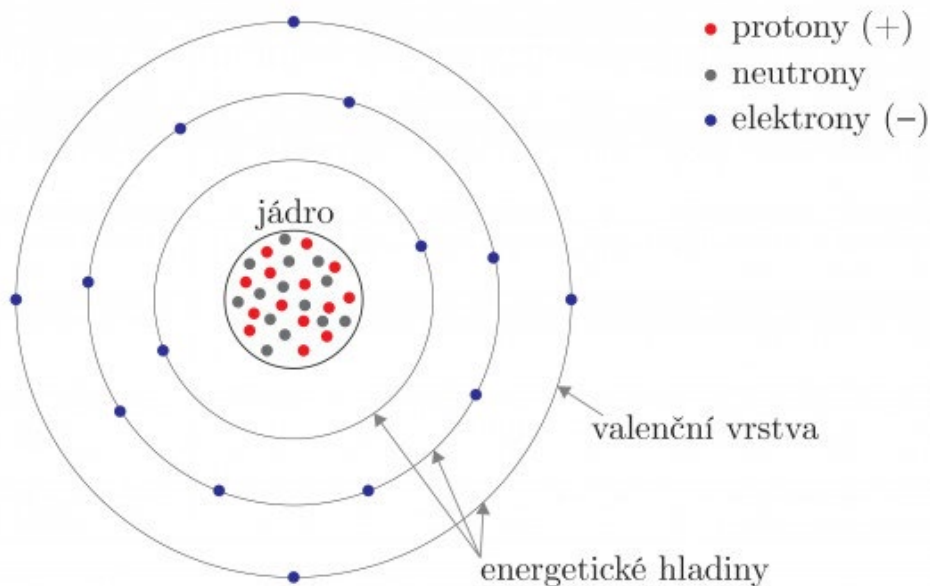
Autor: Ponor – Vlastní dílo, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=92684859>

Diskuse:

1. Světlo z normální lampy nezpůsobilo fotoefekt, ale UV lampy ano. V čem se tato světla liší?
2. Vraťme se ještě ke kulečnicku. Koule, do které udeříme, si představme jako foton, který vychází z lampy. Touhle koulí – fotonem, pak strefíme další kouli, která bude představovat elektron. Když do fotonu udeříme jenom malinko, bude mít malou rychlost a energii a když dorazí k elektronu, maximálně do něj jemně „túkne“, ale neposune ho. Elektron tedy zůstane tam, kde byl. Pokud ale do fotonu udeříme dostatečně silně, tak elektron vyrazí ze svého místa. Co si myslíte, které světlo má tedy větší energii – viditelné z normální lampy anebo UV světlo?
3. Vidíme, že fotoefekt se opravdu vysvětluje dobře pomocí fotonů. Jejich energie je ale spjatá s vlnovou délkou světla. Čím kratší vlnovou délku máme, tím větší je energie fotonů.

B. Energetické hladiny, excitace a emise

Pojďme se ještě jednou podívat na to, jak vypadá atom. Ve středu je jádro a kolem něj jsou elektrony. My už víme, že ty se mohou pohybovat po svých drahách. Elektrony, které mají svoje dráhy blíže k jádru, mají menší energii než ty, které jsou dál.



<https://www.vovcr.cz/odz/tech/586/page02.html>



Řekněme třeba, že na první dráze – energetické hladině – je jeden dílek energie a na druhé hladině jsou dva dílky energie. Co se asi stane, když elektronu na první hladině dodáme právě jeden dílek energie? „Přeskočí“ na vyšší dráhu – na vyšší energetickou hladinu se 2 dílky energie. Říkáme, že je v excitovaném (vybuzeném) stavu. Teď přijde to překvapení: co se ale stane, pokud se pokusím dát elektronu pouze polovinu dílku energie? Nestane se vůbec nic. Elektronu by takováto energie nestačila na to, aby přeskočil na vyšší energetickou hladinu a mezi nimi žádná jiná hladina není. Atomy jsou v tomto opravdu striktní – mají zavedené své dráhy pro elektrony a žádné nové prostě vytvořit nechtějí.

Jak ale elektronu dodáme takovou energii? No třeba pomocí světla, při fotoelektrickém jevu jsme si přeci ukázali, že to opravdu jde. Pokud ale takto „nevyrazíme“ elektron z látky úplně, ale jenom jej „posuneme“ na vyšší hladinu, dlouho tam nevydrží. Atomy chtějí totiž vždycky být pěkně uspořádány, a tak se pokoušejí dostat zpátky do původního stavu. Elektron z našeho příkladu výše tedy nakonec z druhé hladiny opět přejde na první. Aby se ale zachoval atomový řád, elektron přitom musí zase ztratit ten svůj dílek energie, který zpočátku získal. To udělá tak, že vyšle foton s energií toho jednoho dílku. A jak už víme, čím vyšší energii bude tenhle dílek v sobě mít, tím kratší vlnovou délku bude vyzářené světlo mít.

Obecně ale může elektron získat energii pro přesun na vyšší energetickou hladinu nejenom srážkou s fotonem, ale i s jinou částicí. Takto například vzniká i polární záře: Ze Slunce k nám putují velice rychlé nabitě částice. Když se pak dostanou do kontaktu se zemskou atmosférou, narazí tam do částic, které atmosféru tvoří (dusík, kyslík...). Při tomto nárazu dodají elektronům energii a ty se přesunou na vyšší energetickou hladinu. Dlouho tam ale nevydrží a když se vrací na své původní místo, vyzáří energii ve formě světla a my vidíme polární záři. Proč jí vidíme hlavně na pólech se můžete dozvědět například v tomhle videu:

<https://www.youtube.com/watch?v=1DXHE4kt3Fw>

EXPERIMENT: JAK FUNGUJE LASER

Úvod pro děti: Díky tomu, jak fungují přesuny elektronů mezi energetickými hladinami se můžeme přesvědčit třeba o tom, že laserové ukazovátka vysílá světlo s UV zářením, i když toto záření volným okem nemůžeme vidět.

Popis: Děti se přesvědčí, že excitace a emise fotonu opravdu funguje. Tento experiment jim zároveň pomůže, aby si dokázaly představit, co se děje uvnitř laseru.

Pomůcky:

1. UV laser
2. tekutina obsahující molekulu chinin (například tonik) v plastové dóze (pozor, sklo většinu UV záření nepropustí, s ním by experiment nefungoval!)

Postup:

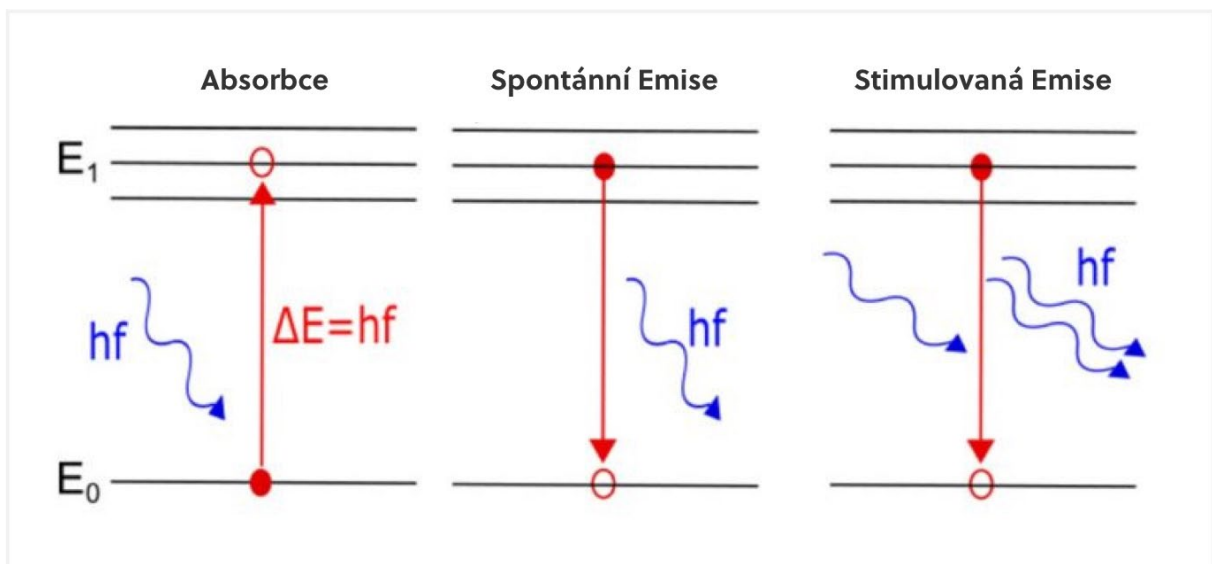
1. Zasvítíme laserem do nádoby s tekutinou

2. Pozorujeme, že v tekutině se laserový paprsek změnil na modrý. Vysvětlíme dětem, že paprsek laseru excitoval chinin. Elektrony se ale chtěly rychle dostat na menší energetickou hladinu, a tak vyslaly energii ve formě modrého světla.

Diskuse:

1. Které světlo má větší energii – UV anebo modré? Pomozte si obrázkem spektra elektromagnetického záření a znalostí, že čím větší energii světlo nese, tím menší vlnovou délku má.
2. Teď už víme, že chinin přijal foton s větší energií než s jakou foton vydal, když se vracel do základního stavu. To se taky děje v laserech. Pojdme se podívat, jak to přesně funguje a k čemu je to dobré.

Když elektron přijme energii od fotonu, říkáme, že ho absorbuje. Když se pak vrací na svou původní energetickou hladinu a foton vyzáří, je to emise – to proto, že emituje světlo. Pokud tak učiní sám od sebe, tak je to spontánní emise. To mu netrvá moc dlouho, ale přece mu to chvíli zabere, chvíli opravdu zůstane na vyšší hladině. Když tam je a projde kolem něho foton, který má *přesně* takovou energii, jakou musí elektron vyzářit, aby se vrátil na své původní místo, stane se něco zvláštního. Elektron v tu chvíli uvolní energii, vrátí se zpátky a vyzáří foton. Z jednoho fotonu tak máme najednou dva se stejnou energií. Tomu říkáme stimulovaná emise. Absorpce, spontánní a i stimulovaná emise jsou zobrazeny na obrázku níže.

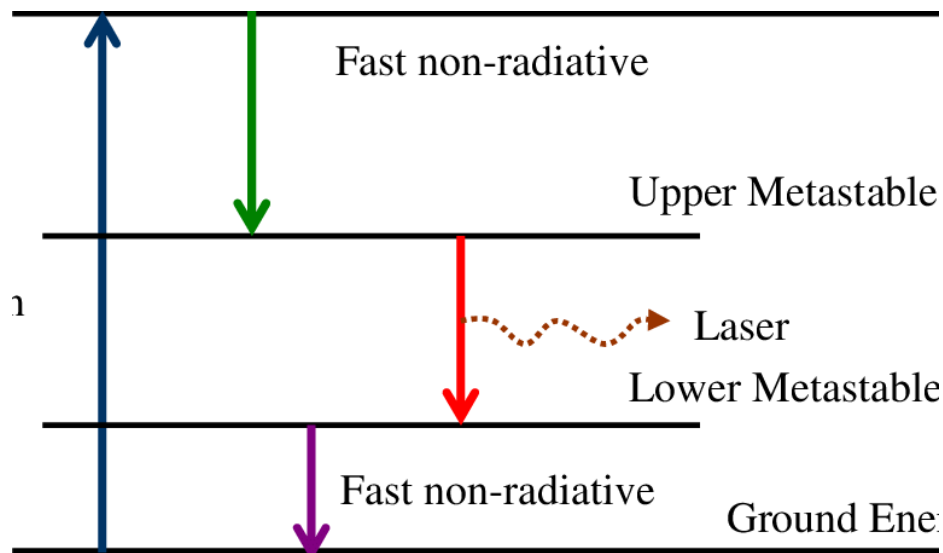


<https://czechlasers.cz/studovna/laser-2/>



Na principu stimulované emise funguje také laser. V něm máme více stejných excitovaných atomů. Když do nich vyšleme foton se správnou energií, tak z každého atomu dostaneme foton se stejnou energií jako měl původní foton, který jsme tam vyslali. Když mají stejnou energii, mají i stejnou vlnovou délku. Princip stimulované emise v laseru pěkně vysvětluje tato animace: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File%3ALaser-princip-cz.webm>

Není to ovšem až tak jednoduché. My ty atomy v laseru nejdříve musíme nějak excitovat. Na animaci bylo vidět, že aby zesílení světla fungovalo, musíme mít excitovaných atomů v jednom okamžiku opravdu hodně. Když máme jenom dvě energetické hladiny, tak to může být problém. Představme si, že za sebou vysíláme řadu fotonů, abychom excitovali spoustu atomů. První foton se srazí s prvním atomem, druhý s druhým, třetí s třetím a POZOR čtvrtý foton náhodou narazí zrovna do prvního, který je už ale excitovaný. A my už víme, co se stane – spustí spontánní emisi a vrátí atom z excitovaného do základního stavu. A tak ještě před tím, než by se excitoval poslední atom, většina předchozích už by se vrátila do základního stavu. Jednoduše řečeno – ve dvouhladinovém laseru nikdy nedosáhneme toho, že většina atomů bude excitována. Proto byl vymyšlen čtyřhladinový laser. Ten funguje tak, že na atomy pošleme fotony s větší energií. Elektron v atomech tak nepřeskočí o jednu hladinu výše, ale rovnou o 3 hladiny výše – až na hladinu číslo 4. Pak se ale tento elektron bude na své místo vracet postupně. Nejdříve se posune na třetí hladinu, přičemž ale nevyzáří foton. Elektron se energie zbaví jinak – třeba tím, že odevzdá okolí nějaké teplo. Do tohoto stavu, kdy jsou elektrony na 3. hladině, se atomy dostávají velice rychle. Těm už nevádí, když se potkají s fotony, kterými excitujeme atomy. Ty už nemůžou vzbudit stimulovanou emisi. Proč? Řekli jsme si přece, že stimulovaná emise může nastat jedině tehdy, když kolem excitovaného atomu proletí foton s přesně takovou energií, jakou musí elektron v excitovaném atomu ztratit, aby se vrátil na nižší hladinu. No a protože excitované atomy v našem laseru už jsou na třetí a ne na čtvrté hladině, tak foton, který k němu vyšleme, má větší energii než jakou musí elektron vyzářit, aby se dostal zpátky na první hladinu. Můžeme si to představit tak, že fotony, kterými atomy excitujeme, nesou 3 dílky energie. Ale elektrony, které jsou na 3. hladině, už se můžou posunout jenom na druhou nebo na první hladinu, takže už nemají kam odevzdat 3 dílky energie. Ve výsledku tak na rozdíl od dvouhladinového laseru můžeme získat mnoho atomů, které jsou najednou excitované. Když se v jednom z nich spustí spontánní emise a při průchodu na druhou hladinu vyzáří foton, tak to spustí stimulovanou emisi ve všech ostatních excitovaných atomech – to je přesně to, co ukazuje animace. Elektrony z druhé hladiny se pak na první dostanou uvolněním energie podobně jako ze čtvrté na třetí, tedy bez vyzáření fotonu.



https://www.researchgate.net/figure/Four-level-laser-energy-diagram-46_fig1_48189940

Možná vám ještě vrtá hlavou, k čemu nám to vlastně je – ve výsledku dostaneme tak či tak stejné množství fotonů jako jsme tam poslali, abychom atomy excitovali. To je sice pravda, ale na rozdíl od vstupních fotonů mají ty na výstupu úplně stejné vlastnosti – nejenom vlnovou délku, ale například i fázi a podobně. Navíc má světlo na výstupu větší intenzitu.

Světlo vycházející ze čtyřhladinového laseru má menší energii než původní světlo, kterým jsme atomy excitovali. To je ale jasné – původní světlo mělo takovou energii, že elektron „vykoplo“ až o 3 hladiny výš. Tento elektron pak ale vyzářil foton, když procházel jenom přes jednu energetickou hladinu. A to se dělo i v našem pokusu, kdy jsme UV-laserem dostali elektrony v chininu na vyšší hladinu. Elektrony pak část své energie ztratil odevzdáním tepla a na vyzáření fotonu jim zůstalo méně energie. Tím, že světlo mělo menší energii než UV světlo, muselo mít větší vlnovou délku. Díky tomu jsme pak viděli světlo modré barvy.

EXPERIMENT: KRESLÍME UV SVĚTLEM

Úvod pro děti: Nakonec si s UV světlem užijeme ještě trochu zábavy.

Popis: Děti si znovu ověří znalosti o excitaci a emisi.

Pomůcky:

1. UV laser a zelený laser (anebo i červený nebo jiný okem viditelný)
2. fluorescenční papíry
3. opalovací krém s vyšším SPF (Sun Protection Factor)

Postup:



1. Zасvítíme UV laserem na fluorescenční papír. Pak necháme děti tímto způsobem něco hezkého namalovat.
2. Zkusíme takto něco namalovat pomocí zeleného/červeného laseru.
3. Nakonec necháme děti, aby na fluorescenční papír/papíry něco nakreslily pomocí opalovacího krému, přičemž vrstva, se kterou kreslí, by měla být dostatečně tlustá.
4. Pokreslené papíry necháme „nabít“ na přímém slunečním záření.
5. V zatemněné místnosti pozorujeme, jak náš papír svítí.

Diskuse:

1. Jaký je rozdíl mezi světlem, které UV světlo vyvolalo v chininu a na fluorescenčním papíru? Který z nich svítil déle? A jakou měly barvu?
2. Fluorescenční papír svítil déle, protože v něm se elektrony drží v průměru déle v excitovaném stavu.
3. Co to znamená, když měly jinou barvu? Dětem tu vysvětlíme, že je to tím, že energetické hladiny v chininu byly od sebe dál než ty v papíru. To znamená, že náš výsledek svícení závisí na tom, v jakém materiálu částice excitujeme. Podle toho, kolik mají elektronů, zabírají různé množství energetických hladin. A to se pak odrazí na tom, jak reagují, když na ně posvítíme.

4. PŘENOS INFORMACÍ SVĚTLEM

Doporučené výchozí znalosti: Odraz a lom, index lomu, mezní úhel. První část této kapitoly je velice intuitivní, ale je výhodné ponechat jí nakonec, aby děti měly více možností, jak provést následující aktivitu

EXPERIMENT: SVĚTELNÉ BLUDIŠTĚ

Úvod pro děti: Světlo lze využívat i na přenos informací. Představte si, že byste byli v noci od svého kamaráda tak daleko, že byste se neslyšeli, ale dost blízko na to, aby kamarád viděl světlo z baterky, kterou držíte. Jak byste mu pomocí baterky mohli předat nějakou zprávu?

Popis: Děti si pošlou zprávy pomocí světla a morseovky.

Pomůcky:

1. laserové ukazovátka (s viditelným světlem)
2. řada překážek v místnosti



- alespoň zrcadla a stínítko, ale ideálně taky čočky, polarizátory a nebo cokoli, co jste během studia optiky už použili
- 2 papíry s morseovkou

Postup:

- Dětem dáme za úkol poslat si světlem zprávu do druhé místnosti/za roh/za překážky (budou muset využít minimálně zrcadla).
- V krátkosti jim vysvětlíme princip morseovky. Když zasvítí krátce, bude to jako tečka a když trochu déle, tak čárka.
- Řekneme jim, že světlo můžou zhasínat manuálně na laseru, anebo i jakkoli jinak (můžou třeba přerušovat svazek tím, že do něj budou vkládat ruku anebo pomocí překřížení polarizátoru, jestli to bude efektivní).
- Můžou zkusit vymyslet „smajlíky“ tím, že nějakým způsobem změni tvar laserové stopy.
- Necháme děti, ať se baví a ať vymýšlejí svoje způsoby, jak informaci předat. Můžeme děti rozdělit i na víc skupinek.

Diskuse:

- Podařilo se vám poslat si zprávu pomocí světla?
- Jak jste postavili vaši dráhu pro světlo?
- Měli jste nějaké potíže? Pokud ano, jak jste je vyřešili?
- Je něco, co byste příště udělali jinak – lépe?

Jak ale informace pomocí světla můžeme posílat na opravdu velké vzdálenosti? Abychom měli dobrou představu, podíváme se na poslední experiment.

EXPERIMENT: OPTICKÉ VLÁKNO

Úvod pro děti: Připomeňme si, že světlo se na rozhraní dvou prostředí může lámat i odrážet. Pokud světlo na rozhraní dopadá pod úhlem, jež je větší než mezní, tak se všechno světlo odrazí. Jinými slovy, žádné světlo neprojde přes rozhraní do druhého prostředí. Právě to se využívá v tzv. optických kabelech.

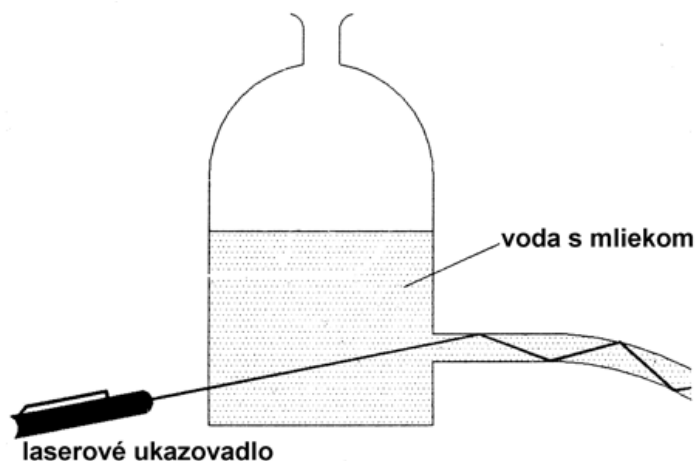
Popis: Znázornění, jak funguje optický kabel.

Pomůcky:

1. laserové ukazovátko s viditelným světlem
2. láhev, která má díru se zátkou ve své spodní části (blízko dna)
3. voda
4. mléko
5. nádoba na zachycení vylité tekutiny

Postup:

1. Do nádoby se zátkou nalijeme vodu s trochou mléka.
2. Uvolníme zátku a necháme tak vytékat tekutinu z láhve.
3. Zasvítíme laserovým ukazovátkem do láhve tak, abychom laserový paprsek nasměrovali do proudu vytékající tekutiny (viz obrázek).
4. Ujistíme se, že svítíme pod správným úhlem – že laserový paprsek „nevychází“ z proudu.

**Diskuse:**

1. Na rozhraní jakých dvou prostředí se laserový paprsek odrážel?
<https://vnuf.cz/sbornik/prispevky/11-18-Onderova.html>
2. Co by se mohlo stát, pokud bychom do našeho optického „kabelu“ zasvítili pod menším úhlem?
3. Co myslíte, že se využívá v praxi pro vedení světla (voda s mlékem to asi nebude...)

Ilustrační video, jak je to ve skutečnosti: <https://www.youtube.com/watch?v=jZOg39v73c4>

Autorka: Beáta Plaskurová



Beáta Plaskurová aktuálně studuje Matematicko-Fyzikální fakultu Univerzity Karlovy. V roce 2017 se zúčastnila finále prvního ročníku Talentové akademie (www.talentovka.cz) a byla vybrána jako stážistka v laserovém Centru HiLASE (www.hilase.cz). Dlouhodobě se podílí na organizaci soutěží pro středoškoláky, např. Expedice Mars (www.expedice-mars.eu). Zvítězila v celostátní přehlídce SOČ a umístila se na prvním místě festivalu vědy a techniky AMAVET (www.amavet.cz). V rámci Expo-Sciences Europe úspěšně prezentovala metodiku na popularizaci astronomie na školách.

Garant: Mgr. Michal Vyvlčka



Michal Vyvlčka je bývalý vědecký pracovník laserového centra HiLASE, kde se zabýval nelineární optikou za vysokých energií. Aktuálně s Centrem HiLASE spolupracuje jako organizátor popularizačních aktivit pro studenty - Talentová akademie a Science Challenge (www.sciencechallenge.cz).

Jako PhD. student vídeňského programu CoQuS (Complex Quantum Systems) se zaměřuje na kvantové počítače. Dlouhodobě se věnuje popularizaci vědy, práci s talentovanou mládeží a propojování neformálního a formálního vzdělávání.

Michal Vyvlčka byl členem představenstva České rady dětí a mládeže, působil v Dětské tiskové agentuře a v dalších organizacích. Je autorem několika evropských vzdělávacích metodik, jako je například „Pathways: How to build educational activities“. V současné době je členem představenstva rakouské pobočky Service Civil International a vede unikátní česko-slovenskou soutěž pro mladé zájemce o přírodní vědy – Expedici Mars.

Online verze dokumentu: www.hilase.cz/spoluprace/studenti-absolventi/optika-a-lasery/

Laserové centrum HiLASE: www.hilase.cz

Videa o Hilase a laserových technologiích: www.youtube.com/c/hilasecentre