

TÉMA: MĚŘENÍ VLNOVÉ DÉLKY SVĚTLA

Vypracoval/a:

Třída:

Spolupracoval/a:

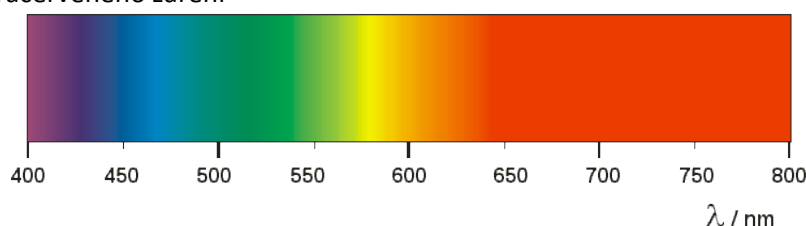
Datum:

ANOTACE:

V této laboratorní práci si žáci zopakují vlastnosti světla a jeho chování při dopadu na překážky srovnatelné s vlnovou délkou světla. V laboratorní práci využijí ohybu difrakce světla na štěrbině k měření vlnové délky světla pomocí optické mřížky.

TEORIE:

Viditelné světlo je elektromagnetické záření o vlnové délce 400–750 nm. Vlnové délky světla leží mezi vlnovými délkami ultrafialového záření a infračerveného záření



Obrázek 1 Spojité spektrum

Mezi tři základní vlastnosti světla jako elektromagnetického vlnění patří:

- a. svítivost (amplituda)
- b. barva (frekvence)
- c. polarizace (úhel vlnění).

Kvůli dualitě částice a vlnění má světlo vlastnosti jak vlnění, tak i částice.

- Difrakce** (česky **ohyb**) je jev, u kterého se vlnění dostává do oblasti geometrického stínu
- Difrakce světla nebo-li ohyb je jev způsobený vlnovými vlastnostmi světla.
- Ohyb se projevuje při dopadu světla na překážku, kdy se světlo šíří i za překážku do oblasti geometrického stínu, čili do prostoru, kam by na základě přímočarého šíření nemělo proniknout.
- Díky tomu nevzniká za překážkou ostrá hranice světla a stínu.
- Za překážkou také vzniká **ohybový (difrakční) obrazec** v podobě světlých a tmavých proužků.
- Tento obrazec je výsledkem interference světla, které do jednoho místa přichází z různých bodů vlnoplochy a tedy s různým fázovým rozdílem viz obrázek 2.



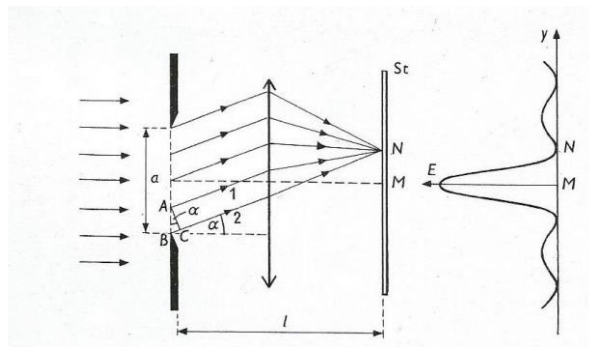
Obrázek 2 Ohyb bílého světla na mřížce

Tento proces lze sledovat, když prochází světlo štěrbinou, jejíž šířka je srovnatelná s vlnovou délkou světla. Za štěrbinou se na stínítku zobrazí difrakční neboli ohybové obrazce, tj. světlé a tmavé proužky různé šířky.

Ohyb světla na štěrbině

- Ohyb světla se projeví vznikem **ohybového obrazce**.
- Uprostřed tohoto obrazce vzniká interferenční maximum nultého řádu a po jeho obou stranách se následně střídají interferenční minima a maxima.
- Maximum** při ohybu světla **na štěrbině** o šířce a nastane ve směrech, pro které se dráhový rozdíl $\Delta l = a \cdot \sin \alpha$ se rovná lichému násobku $\frac{\lambda}{2}$.
- $a \cdot \sin \alpha = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$, kde $k = 0, 1, 2$,
- Minimum** při ohybu světla **na štěrbině** o šířce a nastane ve směrech, pro které se dráhový rozdíl $\Delta l = a \cdot \sin \alpha$ rovná sudému násobku $\frac{\lambda}{2}$.
- $a \cdot \sin \alpha = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}$, kde $k = 0, 1, 2, \dots$
- Z tohoto vztahu je patrné, že konečný tvar ohybového obrazce je dán šířkou štěrbinu.

- Užší štěrba způsobuje výraznější ohyb



Obrázek 3 Ohyb světla na štěrbíně

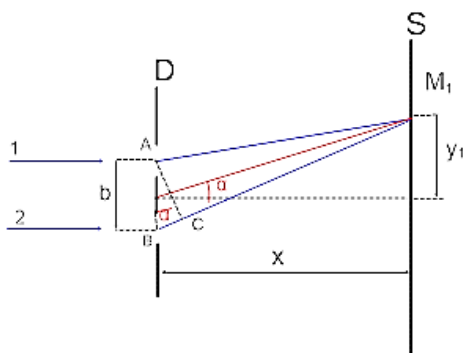
úhel α je úhel o který se světlo odchýlí od *původního směru*

kde a představuje šířku štěrbiny,

λ je vlnová délka světla,

$k = 0, 1, 2, 3, \dots$ je řád minima.

Ohyb světla na dvou štěrbínách



Obrázek 4 Zjednodušené schéma ohybu světla na dvou štěrbínách

Osvětíme-li dvě štěrby o šířce a umístěné ve vzájemné vzdálenosti b rovnoběžným svazkem paprsků 1 a 2, nastává ohyb světla na obou štěrbínách viz. obrázek 4.

- V tomto případě do každého bodu na stínítku dopadá světlo z obou štěrbín.
- Výsledný **interferenční obrazec** v sobě zahrnuje širší maxima a minima odpovídající ohybu na štěrbíně a dále užší maxima a minima odpovídající interferenci světla vycházejícího ze dvou různých zdrojů.
- **Interferenční maximum** nastane, jestliže se dráhový rozdíl viz obr. 3 $BC = \Delta l = b \cdot \sin \alpha$ rovná sudému násobku $\frac{\lambda}{2}$.
- $b \cdot \sin \alpha = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}$,
- $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ je řád maxima
- **Interferenční minimum** nastane, jestliže se dráhový rozdíl Δl rovná lichému násobku $\frac{\lambda}{2}$.
- $b \cdot \sin \alpha = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$, kde $k = 0, 1, 2, \dots$
- $b \dots$ vzdálenost středů dvou štěrbín
- λ je vlnová délka světla,
- $k = 1, 2, 3, \dots$ je řád minima.

Důvodem proč se používá v optické spektroskopii mřížka nikoli dvojštěrbina je, že má větší světelnost a též ostřejší maxima. Naopak pro ideální mřížku je šířka maxima nulová.

Ohyb světla na optické mřížce

optická mřížka:

je skleněná destička, na níž přesným dělicím přístrojem je vyryta diamantem řada rovnoběžných, stejně od sebe vzdálených vrypů.

Neporušená místa skla mezi vrypů tvoří soustavu štěrbin. Optické mřížky mívají na 1 mm i několik set vrypů. Nejlepší mřížky Rowlandovy (čti roulandovy) mají až 1700 vrypů na 1 mm.

Je soustava mnoha rovnoběžných štěrbin ve vzdálenosti **b**. Vzdálenost **b** nazýváme mřížková konstanta

Místo mřížkové konstanty je někdy uváděna převrácená hodnota – počet vrypů na 1 mm délky. Běžné optické mřížky mají 10 – 100 vrypů na 1 mm. na obrázku 5 má mřížka 1000 vrypů na 1 mm-

Dopadá-li svazek rovnoběžných paprsků jednobarevného světla na mřížku, projde světlo jednotlivými štěrbinami a po průchodu se šíří všemi směry. Protože paprsky jsou koherentní, mohou navzájem interferovat.



Obrázek 5 Optická mřížka

Optickou mřížku si můžeme představit, jako by byla složena z velkého počtu dvojštěrbin a proto nalezené podmínky pro dvojštěrbinu platí v prvním přiblížení i pro optickou mřížku.

Intenzita světlých proužků je tolikrát větší než při jedné štěrbině, kolik štěrbin má mřížka. Mezi světlým a tmavým pruhem není pozvolný přechod, nýbrž ostrá hranice.

Proto optickou mřížkou můžeme určit velmi přesně vlnovou délku dopadajícího jednobarevného světla, a to použitím vztahu pro maximum prvního řádu.

- ohybový obraz má úzká interferenční maxima
- maxima jsou vzdálena od sebe více, čím menší je perioda mřížky
- při kolmém dopadu světla platí pro interferenční maximum:
- **Maximum** nastane ve směrech, pro které platí
- $b \cdot \sin \alpha = k \cdot \lambda$, kde $k = 0, 1, 2, \dots$
- **Minimum** nastane ve směrech, pro které platí
- $b \cdot \sin \alpha = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$, kde $k = 0, 1, 2, \dots$
- $b \dots$ mřížková konstanta (perioda mřížky)
- $k \dots$ řád příslušného maxima (minima)

α - určuje směr ve kterém vzniká interferenční maximum

$k = 0, 1, 2 \dots$ - řád maxima

Velikost úhlu určíme nepřímou $\tan \alpha = \frac{y_k}{x}$

pro $\alpha < 5^\circ$ platí, že $\tan \alpha \approx \sin \alpha$

$x \dots$ vzdálenost mřížky M a stínítka S

$y_k \dots$ vzdálenost k-ého maxima od nultého

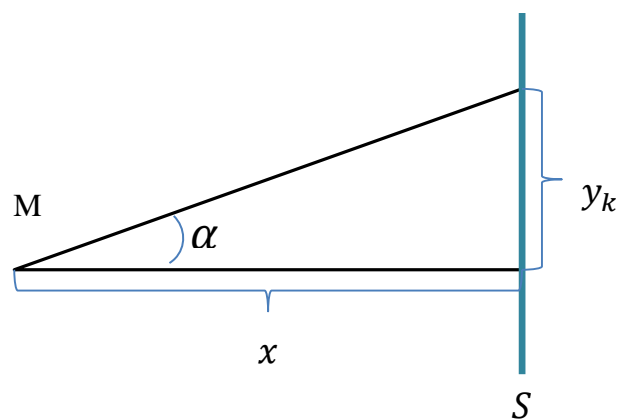
Při **ohybu bílého světla** nastane rozklad světla na barevné složky.

U **maxima nultého řádu** nenastane rozklad bílého světla na barevné složky.

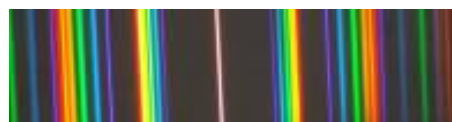
Maximum prvního řádu vznikne po obou stranách maxima nultého řádu, v bílém světle se vytvoří **spektra** ($\alpha_g > \alpha_f$).

Spektra vyšších řádů jsou stále širší, překrývají se a postupně slábnou.

Obrázek 6 Schéma pokusu s optickou mřížkou



Obrázek 7 Rozklad bílého světla optickou mřížkou



Spektra kolem nás pozorujeme různými prostředky, které si můžeme pořídit, například kompaktními disky CD, DVD, které se k dopadajícímu světlu chovají jako reflexní difrakční mřížka se zhruba **600** vrypů **na jednom milimetru** (soustava N identických šěrbin (vrypů), která může světlo buď propouštět, nebo odrážet.

PŘÍPRAVA:

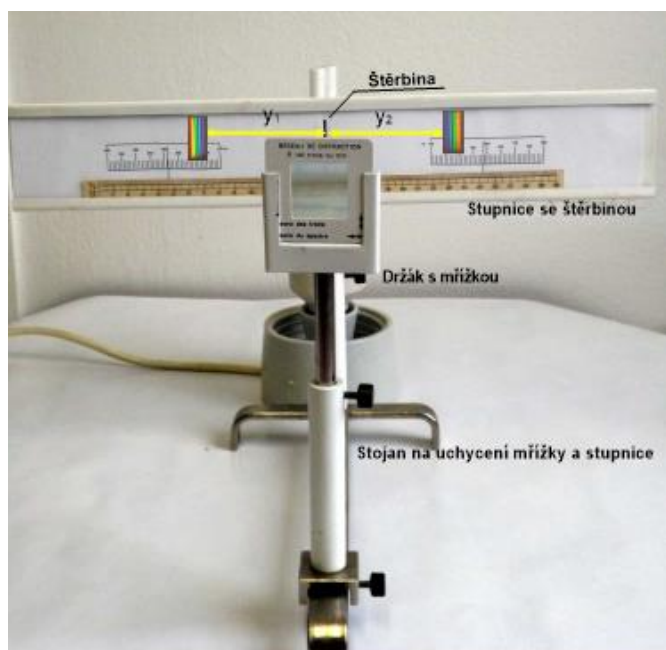
1. Zopakujte nebo prostudujte si učivo: Vlnová optika – ohyb světla
2. Za použití odborné literatury nebo internetových zdrojů vypracuj následující úkoly.
 1. Co je to světlo, jaké má základní vlastnosti?
 2. Proč vzniká ohyb světla?
 3. Co je optická mřížka?
 4. Proč při měření vlnové délky světla použijeme optickou mřížku a ne šěrbinu nebo dvojšěrbinu?

ÚKOL Č. 1

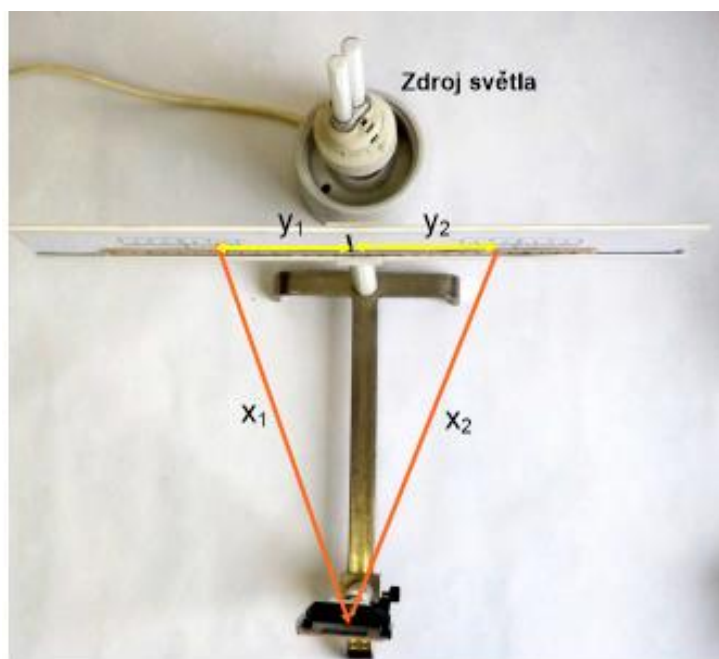
Změřte vlnovou délku červeného a fialového světla pomocí přístroje na měření vlnové délky světla

POMŮCKY:

Optická mřížka, přístroj na měření vlnové délky světla, zdroj bílého světla, stupnice s milimetrovým dělením

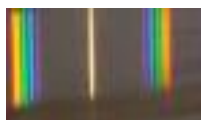


Obrázek 9 Přístroj na měření vlnové délky



Obrázek 10 Pohled se shora na přístroj na měření vlnové délky

Obrázek 8 Pohled přes optickou mřížku na stupnici



POSTUP:

K měření ohybových úhlů použijeme přístroj, který vidíme na obrázku 9 a 10. Přístroj tvoří držák s optickou mřížkou a proti ní je stupnice s milimetrovým dělením.

Uprostřed stupnice, v místě, kde by se na stupnici vytvořilo maximum nultého řádu, je štěrbinu.

Štěrbinu osvětlíme bílým světlem speciální výbojky a pozorujeme ji pohledem přes mřížku.

Po obou stranách od štěrbinu vidíme symetricky rozložená maxima prvního, druhého a vyšších řádů viz obr.11.

Na obrázku je půdorys této situace.

Pro přesnější měření budeme odečítat hodnoty pro světlo fialové a červené vpravo i vlevo od štěrbinu – y_1, y_2 .

Podobně zjistíme i vzdálenost daného proužku světla od mřížky – x_1, x_2 . viz. obr.10

Výsledné hodnoty x, y vypočteme aritmetickým průměrem obou naměřených veličin $x = \frac{x_1 + x_2}{2}$ $y = \frac{y_1 + y_2}{2}$

podle obrázku 10 vidíme: $\sin \alpha = \frac{y}{x}$

Pro každou hodnotu daného měření vypočteme odpovídající vlnovou délku monochromatického světla.

$$\lambda = b \sin \alpha_1 \approx b \frac{y}{x}$$

Víme, že bílé světlo je elektromagnetické záření s vlnovými délkami 390nm – fialové světlo; až 790nm – červené světlo. Z toho důvodu změříme vlnovou délku fialového a červeného světla.

Hodnoty odečítáme a zapisujeme do tabulky, aby měření bylo přesnější, provádíme měření 5 × při různé vzdálenosti x mřížky od stínidla.

Osvětlete štěrbinu speciální výbojkou a spektrum pozorujte okem umístěným do bezprostřední blízkosti mřížky.

VYPRACOVÁNÍ:

Tabulka 1 pro fialové světlo

Číslo měření	Vzdálenost y (mm)		Vzdálenost x (mm)		$y = \frac{y_1 + y_2}{2}$ (mm)	$x = \frac{x_1 + x_2}{2}$ (mm)	λ (nm)	$\Delta \lambda$ (nm)
	vlevo y_1	vpravo y_2	vlevo x_1	vpravo x_2				
1								
2								
3								
4								
5								
součet abs. hodnot								
aritmetický průměr								

$$\lambda = (371 \pm 2) \text{ nm} \quad \delta = 0,53\%$$

Tabulka 2 pro červené světlo

Číslo měření	Vzdálenost y (mm)		Vzdálenost x (mm)		$y = \frac{y_1 + y_2}{2}$ (mm)	$x = \frac{x_1 + x_2}{2}$ (mm)	λ (nm)	$\Delta \lambda$ (nm)
	vlevo y_1	vpravo y_2	vlevo x_1	vpravo x_2				
1								
2								
3								
4								
5								
součet abs. hodnot								
aritmetický průměr								

ZÁVĚR:

SHRNUTÍ:

K čemu slouží optická mřížka v praxi a jaké má využití?

SEZNAM ZDROJŮ:

- [01] Fyzika pro gymnázia Optika Oldřich Lepil, Přemysl Šedivý Prometheus Praha 2002, 205 s ISBN 80-7196-237-6
[02] Přehled středoškolské fyziky Emanuel Svoboda a kol. Prometheus 1998 497s. ISBN 80 7196 116-7

METODICKÝ LIST

Název školy	Gymnázium a Jazyková škola Zlín
Autor	Mgr. Albert Vacek
Vzdělávací oblast	Člověk a příroda
Vzdělávací obor	Fyzika
Tematický okruh	Ohyb světla
Druh učebního materiálu	Laboratorní cvičení – učitel
Cílová skupina	Žák, 17 – 18 let
Anotace	Pracovní list určen do výuky studentům – podklad pro laboratorní cvičení z fyziky. Informace student čerpá z vlastních poznámek, odborné literatury a internetu. Náplň: Ohyb světla