

Úloha č. 7

Difrakce na mřížce

Úkoly měření:

1. Prostudujte difrakci na mřížce, štěrbíně a dvojštěrbíně.
2. Na základě měření určete:
 - a) Vzdálenost štěrbín u zvolených mřížek.
 - b) Změřte a vypočítejte úhlovou šířku centrálního maxima při difrakci na štěrbíně (dvojštěrbíně).
3. V závěru protokolu porovnejte (pomocí tabulky) získané průměrné hodnoty s chybami měření pro jednotlivé systémy (mřížky, štěrbiny).

Použité přístroje a pomůcky:

1. Optická lavice se stínítkem, laser, kamera, software pro analýzu obrazu.
2. Štěrbina s nastavitelnou šířkou, dvojštěrbina, mřížka.

Základní pojmy, teoretický úvod:

Světlo a jeho vlnový charakter

Viditelné **světlo** je elektromagnetické vlnění o vlnových délkách z intervalu 400-750 nm. Experimentálně byl vlnový charakter světla prokázán Thomasem Youngem v roce 1801, viz obr. 1. V Youngově pokusu dopadá **svazek rovnoběžného monochromatického záření** na dvojici štěrbín. Dopadající záření se při průchodu štěrbínami rozdělí na dvě vlny, které kmitají se stejnou fází. Podle Huygensova principu se vlnění prošlé každou z této dvojice štěrbín šíří všemi směry.

V případě, že dráhový rozdíl vln dopadajících na stínítko je roven jejich celočíselnému násobku, dochází k tzv. **konstruktivní interferenci** a na stínítku pak pozorujeme **maximum** (světlý proužek, bod). V opačném případě může docházet k destruktivní interferenci a na stínítku pozorujeme **minimum** (tmavý proužek v barvě pozadí).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE

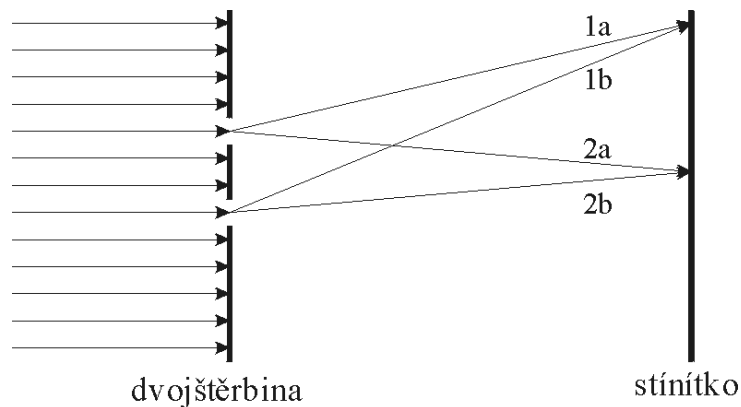


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická



Obr. 1: Youngův pokus.

Z obr. 1 vyplývá:

- Paprsky **2a a 2b** urazí od štěrbin ke stínítku **stejnou dráhu** a proto interference bude konstruktivní a na stínítku budeme uprostřed mezi štěrbinami pozorovat maximum.
- Paprsky **1a a 1b** urazí **různou dráhu** a výsledek interference na stínítku bude záviset na konkrétním **dráhovém rozdíl**.

Poznámka - základní pojmy:

Huygensův princip

Huygensův princip popisuje šíření vlnění v prostoru (tj. i světla). Podle tohoto principu všechny body na vlnoploše slouží jako bodové zdroje sekundárních kulových vlnoploch. Po určitém čase bude poloha vlnoplochy dána tečnou plochou k těmto sekundárním vlnoplochám.

Difrakce (ohyb)

Difrakce neboli ohyb světla je jev, jenž nelze vysvětlit odrazem nebo lomem světla, tzn. nestačí nám pro tyto účely klasická geometrická optika. K difrakci světla (jejíž přímým důsledkem je interference koherentního záření) dochází při průchodu záření otvory (mřížka, štěrbina) nebo okolo překážek o rozměrech srovnatelných s vlnovou délkou použitého světla.

Interference

Interference je konstruktivní (vznik maxim – světlé proužky) nebo destruktivní (vznik minim – tmavé proužky) skládání vlnění (viz kapitola skript Elektromagnetické vlny – ufmi.ft.utb.cz).

Koherence záření

Koherentní vlny mají stejný fázový rozdíl v čase i prostoru (tj. za koherentní můžeme považovat záření, jehož vlny vytvářejí pozorovatelný interferenční obrazec a s časem se nemění jejich fázový rozdíl).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Difrakce na mřížce

Při průchodu monochromatického světla mřížkou (soustavou štěrbin s konstantní vzdáleností) dochází v důsledku difrakce (ohybu) k interferenci vln procházejících jednotlivými štěrbinami.

Zvolme si na mřížce dvojici sousedících štěrbin, viz obr. 2. V případě, že je vzdálenost mezi štěrbinami zanedbatelná ve srovnání se vzdáleností mezi mřížkou a stínítkem, můžeme paprsek **b** považovat za rovnoběžný s paprskem **a**, viz obr. 2 vpravo. Z toho plyne, že úhly φ , svírané paprsky s normálou k mřížce budou stejné a paprsky lze prakticky považovat za rovnoběžné s dráhovým rozdílem Δ . Pro dráhový rozdíl potom platí vztah (1), kde d je vzdálenost štěrbin.

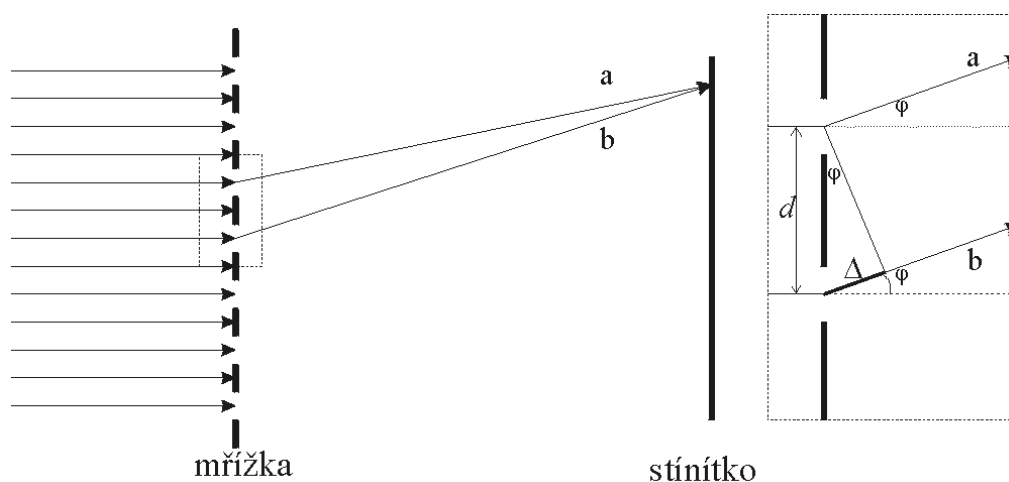
$$\Delta = d \sin \varphi . \quad (1)$$

Interferenční maximum zaznameneáme v bodech, ve kterých je dráhový rozdíl paprsků roven celému násobku vlnových délek, tj. platí:

$$\Delta = m \lambda , \quad (2)$$

kde m je celé číslo. Ze vztahů (1) a (2) můžeme odvodit rovnici pro polohu maxim při difrakci na mřížce:

$$d \sin \varphi = m \lambda . \quad (3)$$



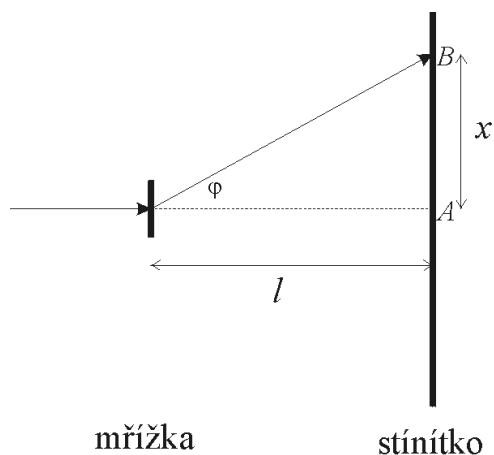
Obr. 2: Difrakce na mřížce.

Z ilustrativních důvodu je na obr. 2 vzdálenost štěrbin silně nadhodnocena ve srovnání se vzdáleností mezi mřížkou a stínítkem. Pokud tento obrázek překreslíme ve správnějším měřítku, viz obr. 3, lze odvodit vztah (4) pro výpočet úhlu φ , na základě experimentálně získaných údajů.

$$\left[\tan \varphi = \frac{x}{l} \right] \quad (4)$$

Kde l je vzdálenost mřížky od stínítka a x vzdálenost maxima v bodě B od hlavního maxima v bodě A (maxima nultého řádu).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.

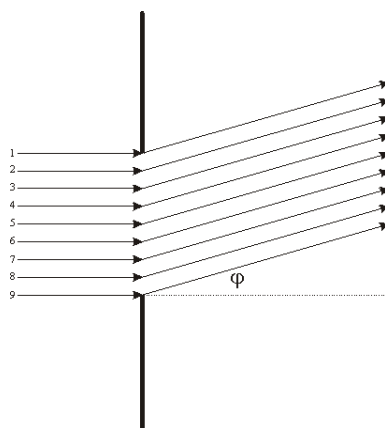


Obr. 3: Difrakce na mřížce – podrobnější náhled.

Difrakce na štěrbině

Při průchodu vlnění jednou štěrbinou dochází k interferenci jeho částí, jež prochází různými místy této štěrbiny. Z praktického hlediska má difrakce na jedné štěrbině (respektive kruhovém otvoru) význam pro určení rozlišovacích schopností optických přístrojů. Čočky takovýchto přístrojů můžeme považovat za otvory, na kterých dochází k difrakci. Z toho plyne, že paprsky, které by měla čočka soustředit do jednoho bodu, pak vytvoří kroužek o nějakém poloměru. Proto nelze rozeznat dva blízké zdroje světla a dochází k omezení rozlišovací schopnosti optických přístrojů.

Při praktických měřeních nás zajímá šířka centrálního maxima, tj. maximum ohraničeného prvními minimy. Podle Huygensova principu se pokusme odvodit polohu prvního minima, viz obr. 4. Po průchodu štěrbinou se paprsky šíří všemi směry. Zvolíme si paprsky vychýlené od přímého směru o úhel φ . Minimum potom zaznamenáme, když dojde k destruktivní interferenci paprsků – to znamená, že dráha paprsků se musí lišit o půl vlnové délky.



Obr. 4: Difrakce na štěrbině.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Pokud si šířku štěrbin, uvedené na obr. 4. označíme jako D , můžeme dráhový rozdíl mezi paprsky vyjádřit vztahem (5), s přihlédnutím k obr. 2 a rovnici (1).

$$\Delta = D/2 \sin\varphi . \quad (5)$$

Ke vzniku interferenčního minima dojde v případě dráhového rozdílu, jež je roven polovině vlnové délky $\Delta = \lambda/2$. To znamená, že musí platit:

$$D \sin\varphi = \lambda . \quad (6)$$

Postupy měření a pokyny k úloze:

!!!! Při měření v laboratoři se používá zdroj koherentního monochromatického záření, tj. **LASER**, jež vysílá úzký svazek světla o značné intenzitě. Proto je nutné dbát, aby paprsek nedopadl do oka Vám ani spolužákům. Přestože má náš laser jen malý výkon, mohlo by v krajním případě dojít k poškození zraku (oční čočka soustředí rovnoběžné paprsky laseru do bodu na sítnici a může tam vypálit díрку). **!!!!**

1. Difrakce na mřížce

- Nechejte dopadat laserové záření na mřížku.
- Změřte vzdálenost l mezi stínítkem a mřížkou.
- Zaznamenejte pomocí kamery difrakční obrazce pro 5 různých vzdáleností l .
- Měření opakujte pro tři různé mřížky.
- Ze získaných záznamů změřte vzdálenosti x_m , tj. maxim vyšších řádů od maxima prvního řádu. Ze vztahu (4) vypočítejte odpovídající úhly φ_m a pomocí vztahu (3) pak vzdálenost štěrbin.
- Zaznamenejte všechny naměřené hodnoty a výsledky do tabulek podle výše uvedeného zadání, včetně středních hodnot a chyb měření.

2. Difrakce na štěrbině

- Nechejte dopadat laserové záření na štěrbinu (respektive dvojštěrbinu).
- Změřte vzdálenost l mezi stínítkem a mřížkou.
- Zaznamenejte pomocí kamery difrakční obrazce pro 5 různých vzdáleností l .
- Měření opakujte pro tři různé dvojštěrbin. Nebo pro 4 různé šířky štěrbin za předpokladu, že štěrbin má regulovatelnou šířku a jedné otáčce šroubu odpovídá změna šířky štěrbin o 0,5 mm (krok volte od 0 do 0,5 mm po 0,125 mm)
- Ze získaných záznamů změřte šířku centrálního maxima pro danou šířku štěrbin (respektive dvojštěrbinu).
- Ze vztahu (6) vypočítejte očekávanou úhlovou šířku centrálního maxima pro všechny šířky štěrbin a pak pomocí vztahu (4) šířku maxima na stínítku. Vypočítané hodnoty srovnajte s hodnotami naměřenými.
- Zaznamenejte všechny naměřené hodnoty a výsledky do tabulek podle výše uvedeného zadání.

Seznam použité a doporučené literatury:

- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: Fyzika, VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM, (2000).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

