

# Difrakce světla na štěrbině a dvojštěrbině

- Úkol:**
1. Pozorujte difrakci na štěrbině a dvojštěrbině.
  2. Z difrakčního obrazce (štěrbině) určete šířku štěrbině.
  3. Z difrakčního obrazce (dvojštěrbině) určete vzdálenost štěrbin.

**Potřeby:** Viz seznam v deskách u úlohy na pracovním stole.

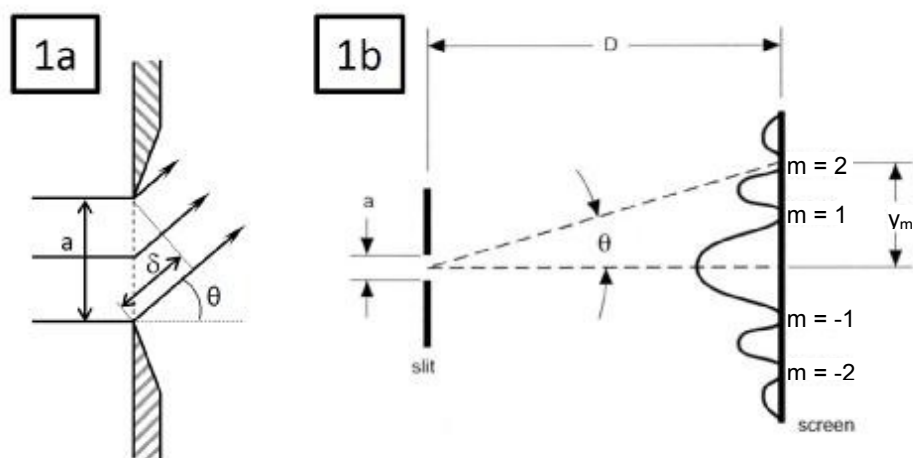
Přestože používaný laser má velmi nízký výstupní výkon ( $< 1 \text{ mW}$ ) vyvarujte se přímého pohledu do zdroje světla ! Do směru paprsku nevkládejte lesklé předměty, od nichž by mohlo dojít k zrcadlovému odrazu !

## ÚVOD

Při šíření světla v blízkosti překážek nastává jev nazývaný ohyb nebo difrakce světla. Světlo se šíří za překážkou i do míst, kam by se při přímočarém šíření podle zákonů geometrické optiky nemělo dostat. Příčinou je vlnová povaha světla, platnost Huygensova principu a interference světelných paprsků z různých míst základní vlnoplochy. Vzhledem k malé vlnové délce viditelného světla jsou ohybové jevy výrazné pouze při překážkách malých rozměrů nebo při pozorování v dostatečné vzdálenosti za překážkou. V dalším uvedeme základní vztahy popisující difrakci na štěrbině, dvojštěrbině a optické mřížce

### 1. Štěrbině

Případ ohybu světla na štěrbině je znázorněn na Obr.1. Na štěrbinu o šířce  $a$  dopadá kolmo rovnoběžný svazek paprsků monochromatického světla vlnové délky  $\lambda$ . Podle Huygensova principu vycházejí z každého bodu štěrbině paprsky na všechny strany.



Obr. 1 OHYB SVĚTLA NA ŠTĚRBINĚ

Pokud pro dráhový rozdíl krajních paprsků štěrbin platí (viz. Obr 1a)

$$\delta = a \sin \theta_m = m\lambda \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (1)$$

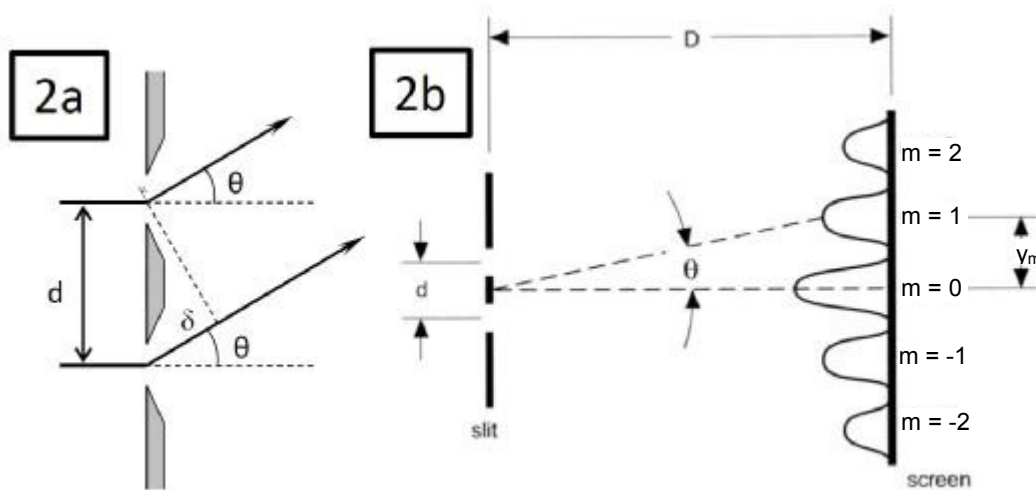
potom dochází k destruktivní interferenci a ve směru úhlů  $\theta_m$ , splňujících rovnici

$$\sin \theta_m = \frac{m\lambda}{a} \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (2)$$

vzniká okolo centrálního maxima ( $\theta = 0$ ) řada difrakčních minim (viz. Obr 1b).

## 2. Dvojštěrbina

Je-li dvojštěrbina, se štěrbinami vzdálenými od sebe  $d$ , osvětlena rovnoběžným svazkem paprsků dopadajícím na ni kolmo, je dráhový rozdíl paprsků vycházejících z obou štěrbin pod stejným úhlem  $\theta$  dán výrazem  $\delta = d \cdot \sin \theta$  (viz obr. 2a).



Obr. 2 OHYB SVĚTLA NA DVOJŠTĚRBINĚ

Tyto paprsky se maximálně zesilují ve směrech, které jsou určeny úhly  $\theta_m$ , splňujícími podmínku

$$\sin \theta_m = \frac{m\lambda}{d} \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (3)$$

V těchto směrech tedy vznikají interferenční maxima. Číslo  $m$  se nazývá **řád maxima**.

## 3. Optická mřížka

Soustava velkého počtu rovnoběžných stejně vzdálených velmi tenkých štěrbin se nazývá difrakční (optická) mřížka. Může to být např. planoparalelní skleněná destička pokrytá velkým počtem pro světlo neprůchozích vrypů, oddělených průhlednými proužky (štěrbinami). Vzdálenost mezi štěrbinami se nazývá **mřížková konstanta** (perioda mřížky). Hustota štěrbin, tj. jejich počet na 1 mm, je pro případ viditelného světla řádově  $10^{-2} - 10^{-3}$ . Dopadá-li na mřížku bílé světlo, je maximum nultého řádu bílé zatímco ve vedlejších interferenčních maximech pozorujeme rozklad světla, čehož se používá například při konstrukci optických spektroskopů a monochromátorů. Difrakční maxima v difrakčním obrazci mřížky jsou určena stejnými relacemi jako v případě dvojštěrbiny (viz. vztah 3). Toho lze využít pro změření mřížkové konstanty.

## PRINCIP MĚŘENÍ

K pozorování a měření difrakce světla použijeme zařízení schematicky naznačené na obr. 3. Zdroj světla (laser) vysílá rovnoběžný svazek paprsků koherentního monochromatického světla známé vlnové délky. Paprsek prochází kolmo buď štěrbinou šířky  $a$ , nebo dvojštěrbinou se vzdáleností štěrbin  $d$ ; tyto hodnoty mají být určeny. Po průchodu štěrbinou event. dvojštěrbinou dopadá světlo na stínítko ve vzdálenosti  $D$  od štěrbin (viz. Obr.1, 2), na kterém můžeme pozorovat hlavní a vedlejší maxima vzniklá interferencí.



Obr. 3 OPTICKÁ LAVICE (SCHEMATICKY)

Šířku štěrbin  $a$  lze vypočítat podle upraveného vztahu (2) jako

$$a = \frac{m\lambda}{\sin \theta_m} \quad (5)$$

Úhel  $\theta_m$  lze vypočítat na základě podobnosti trojúhelníků (viz. obr. 1) s využitím vztahu

$$\operatorname{tg} \theta_m = \frac{y_m}{D} \quad (6)$$

V případě dvojštěrbiny lze využít pro výpočet vzdálenosti štěrbin  $d$  upravenou rovnici (3)

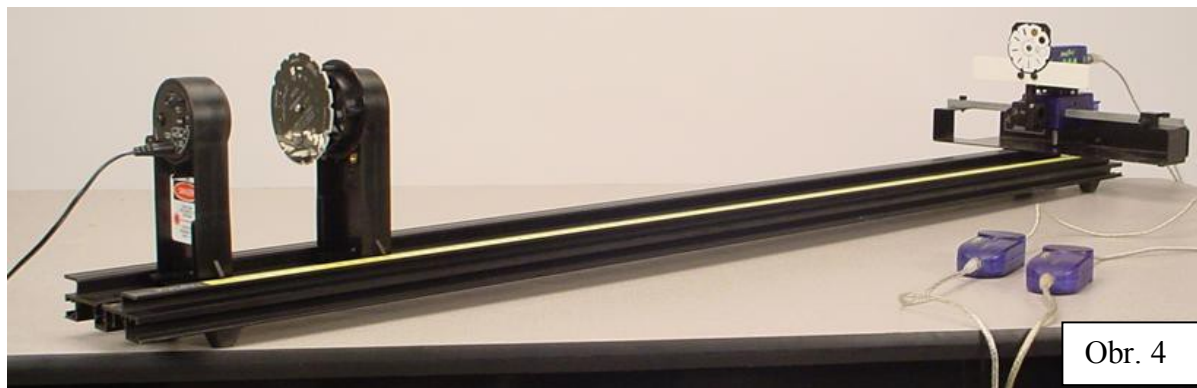
$$d = \frac{m\lambda}{\sin \theta_m} \quad (7)$$

Pokud je úhel  $\theta_m$  malý (menší než  $10^\circ$ ) lze mřížkovou konstantu vypočítat přibližně také podle rovnice

$$d = \frac{\lambda D}{y_m} \cdot m \quad (8)$$

kde  $m$  je řád difrakčního minima, v případě štěrbin, a difrakčního maxima, v případě dvojštěrbiny (mřížky).

## POSTUP MĚŘENÍ



Obr. 4

K proměření difrakčního obrazce použijete optickou lavici (viz. Obr. 4) na níž je umístěn laser (první zleva), kotouč se štěrbinami (Slit wheel) a detektor intenzity optického záření se stínítkem a kotoučem se vstupními štěrbinami. Detektorem je možné manuálně pohybovat ve směru kolmém k dopadajícímu svazku (směr  $y$  na Obr. 1. a 2.), a tak zaznamenat průběh intenzity difrakčních minim a maxim. Poloha detektoru a intenzita optického záření se přenáší prostřednictvím datalogeru automatickým sběrem dat do počítače, kde lze naměřený difrakční obrazec kvantitativně zpracovat v programovém prostředí DataStudio. Před samotným měřením je třeba prověřit správné nastavení laseru, štěrbinu a detektoru.

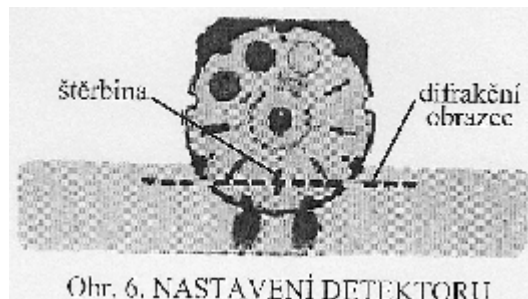
### Nastavení laserového svazku, štěrbinu a detektoru

Umístěte držák kotouče se štěrbinami asi 6cm od laseru tak, aby kotouč čelil laseru (viz Obr. 5). Zapněte laserovou diodu (vypínačem na zadní straně).

**UPOZORNĚNÍ → Nikdy se přímo nedívejte do laserového svazku !!!**



Obr. 5. Nastavení laserového paprsku



Nastavte pozici laserového svazku tak, aby byl centrován na vybrané štěrbině. Když pootočíte na další štěrbinu, svazek by měl zůstat vycentrován. Je-li potřeba, nastavte výšku detektoru tak, aby se difrakční obrazec zobrazil na úrovni detektoru (viz Obr. 6). Nakonec prověřte, že je datový kabel polohového senzoru a detektoru zapojen do datalogru a ten prostřednictvím USB rozhraní s počítačem.



### Vizuální pozorování difrakce na štěrbině a dvojštěrbině

Posuňte jezdec detektoru stranou, tak aby paprsek laseru dopadal na zeď za ním. Postupným otáčením kotouče (Single Slit wheel) vyměňujte štěrbinu a pozorujte difrakční obrazce na zdi. Slovy popište pozorování a kvalitativně určete vztah mezi šířkou štěrbinu a difrakčním obrazcem. Výsledek porovnejte s teoretickou předpovědí. Zaměňte držák nesoucí kotouč Single Slit Wheel za držák s kotoučem označeným Multiple Slit Wheel a pozorování i s kvalitativním vyhodnocením proveďte pro různé dvojštěrbinu.

### Měření šířky štěrbinu

S pomocí učitele proveďte následující postup:

1. Vyměňte jezdec s Multiple Slit wheel za Single Slit wheel a umístěte ho do vzdálenosti cca 20 cm od laseru. Pro měření vyberte štěrbinu se šířkou 0.08mm nebo 0.04 mm. Změřte vzdálenost  $D$  mezi štěrbinou a stínítkem detektoru.

2. Nastavte (pokud je to potřeba) **vstupní štěrbinu detektoru číslo 2** (viz. Obr. 6). Před zahájením záznamu dat posuňte jezdec detektoru na okraj difrakčního obrazce.
3. Zapněte interface **Xplorer GLX**.  
Spusťte **počítač**. Pokud se nespustí program DataStudio automaticky, vyberte v nabídnutém okně PAS Portal **Launch DataStudio**.
4. Nabídnutý Graph 1 a File Manager zrušte
5. Otevřete **Setup** (objeví se obrázek Xploreru GLX a pod ním ikony používaných čidel)  
Aktivujte okno pro **polohové čidlo** (Rotary Motion Sensor). Pokud nebude okno aktivováno automaticky ho otevřete kliknutím na ikonu   
V menu **Measurements** zvolte **Linear Position** a deaktivujte Angular Position.  
Nastavte **Sample Rate** na 200 Hz  
Přepněte do menu Rotary Motion Sensor v rolovacím okně **Linear Scale** vyberte volbu **Rack&Pinion**  
Aktivujte okno pro **čidlo měření intensity světla** (Light Intensity) kliknutím na příslušnou ikonu („žlutá žárovka“)  
Nastavte **Sample Rate** na 200 Hz  
Zavřete Setup
6. V menu na levé straně obrazovky otevřete dvojkliknutím na **Graph** nový graf. V nabídnutém okně (Choose a Data Source) zvolte kliknutím **Light Intensity**.
7. Úprava grafu  
Kliknutím na Time na ose x otevřete okno a vyberte Linear Position  
Nastavení délky osy x (několik desítek cm). Umístěním kurzoru na libovolnou číslici na stupnici se objeví . Při stisknutém levém tlačítku myši lze tahem doprava změnit stupnici na ose x  
Nastavte rozlišení přesné odečítání polohy detektoru. Kliknutím na Linear Position (v menu vlevo nahoře) otevřete okno, ve kterém nastavíte po aktivaci **Numeric** počet desetinných míst na 5.
8. Zvětšíte graf na celou obrazovku
9. **Ztemněte** místnost a začněte měření tlačítkem **START** programu DataStudio. Následně pomalu a pokud možno plynule posunujte detektorem napříč celým difrakčním obrazcem. Tlačítkem **STOP** ukončíte měření
10. Pomocí funkce **Smart Tool** (spustit kliknutím na příslušnou ikonu v menu nahoře) změřte vzdálenost mezi prvními minimy na obou stranách hlavního maxima. Poloviční hodnota této vzdálenosti potom určuje veličinu  $y_1$   
Obdobně proměřte vzdálenost mezi difrakčními minimy vyšších řádů a určete hodnoty  $y_2, y_3, \dots$ ). Hodnoty přehledně zpracujte do tabulky
11. Naměřený difraktogram uložte s pomocí funkce **Print Screen** (např. do editoru WORD), pak na svoji externí paměť (**Flash Disk**) a později přiložte jako obrázek do protokolu.

12. Vypočítejte šířky štěrbin  $a$  pomocí rovnic (5) a (6) pro minima různých řádů  
Vlnová délka světla u zeleného laseru  $\lambda = 532 \text{ nm}$ , u červeného  $\lambda = 650 \text{ nm}$ .  
Výslednou šířku štěrbin určete jako aritmetický průměr spolu s pravděpodobnou chybou

## Měření vzdálenosti štěrbin ve dvojštěrbině

1. Zaměňte Single Slit Disk za Multiple Slit Disk. Nastavte Multiple Slit Disk na dvojštěrbině  
a parametry  $0.25 \text{ mm}$  ( $d$ ),  $0.04 \text{ mm}$  ( $a$ ).
2. Nastavte **vstupní štěrbinu detektoru č. 2** (Obr. 6). Před započítáním záznamu dat posuňte detektor na okraj difrakčního obrazce.
3. Zatemněte místnost a začněte měření tlačítkem **START** programu DataStudio. Následně pomalu posunujte detektorem napříč celým difrakčním obrazcem. Tlačítkem **STOP** ukončíte měření.
4. Použijte funkci zoom pro zvětšení oblasti hlavního a prvních difrakčních maxim. Pomocí **Smart tool**  
změřte hodnoty veličiny  $y_1$  (viz. Obr.2), tj. vzdálenosti mezi hlavním maximem ( $m=0$ ) a maximy prvního řádu ( $m=\pm 1$ )
5. Obdobně proměřte vzdálenosti mezi hlavním maximem ( $m=0$ ) a maximy vyšších řádů ( $m= \pm 2, \pm 3, \pm 4 \dots$ ), tj. hodnoty veličiny  $y_m$
6. Naměřený difraktogram uložte s pomocí funkce **Print Screen** (např. do editoru WORD), pak na svoji externí paměť (**Flash Disk**) a později přiložte jako obrázek do protokolu.
7. Určete vzdálenost  $D$  mezi detektorem a dvojštěrbinou a pomocí rovnice (7) případně (8) vypočítejte vzdálenost štěrbin  $d$ . Všechny naměřené i vypočítané hodnoty přehledně zpracujte do tabulky. Výslednou vzdálenost  $d$  určete jako aritmetický průměr spolu s pravděpodobnou chybou.
8. Opakujte postup 3 až 6 pro další dvojštěrbinu ( $a/d = 0.04/0.50 \text{ mm}$ ). Nastavte přitom vhodnou vstupní štěrbinu před detektorem (např. číslo 2).

Přestože používaný laser má velmi nízký výstupní výkon ( $< 1 \text{ mW}$ )  
vyvarujte se přímého pohledu do zdroje světla !  
Do směru paprsku nevkládejte lesklé předměty, od nichž by mohlo  
dojít k zrcadlovému odrazu !