

Základní experimenty s lasery

O. Dobrý¹, O. Hotový², O. Petřík³, R. Uhlířová⁴
Gymnázium Plasy¹, Gymnázium tř. Kpt. Jaroše Brno², Gymnázium
Čajkovského Olomouc³, Gymnázium Dr. K. Polesného Znojmo⁴

Abstrakt:

Cílem této práce bylo prozkoumat chování paprsku He-Ne laseru na štěrbinách a difrakčních mřížkách a možnosti praktického využití tohoto chování. Konkrétně se jednalo o difrakci a následnou interferenci paprsku. Pomocí těchto jevů lze zkoumat vlastnosti laseru i štěrbin a mřížek, jak ukazují provedená měření. Pomocí nich jsme byli schopni určit vlnovou délku laseru, vzdálenost štěrbin na cloně s více štěrbinami, mřížkovou konstantu difrakční mřížky i kompaktního disku.

1 Úvod

- I. Ohyb (difrakce) na štěrbině – laserový paprsek dopadá kolmo na štěrbinu svým rozměrem srovnatelnou s vlnovou délkou světla, po průchodu nastává ve společné části prostoru skládání vln (interference) a na vzdálené projekční ploše se vytváří interferenční obraz, na němž můžeme pozorovat světlé (volněji nazývané též maxima) a tmavé proužky (volněji minima). Známe-li vzdálenosti středů maxim nebo minim, vzdálenost štěrbin od projekční plochy a šířku štěrbin, jsme schopni určit vlnovou délku laseru.
- II. Vícenásobná štěrbina – při průchodu paprsku vícenásobnou štěrbinou vznikají na stínítku tzv. hlavní maxima, která jsou na rozdíl od maxim vznikajících na jedné štěrbině složena z maxim vedlejších.
- III. Difrakční mřížka – tenká skleněná destička, do níž jsou v pravidelných intervalech vyryty rovnoběžné, stejně široké vrypy. Difrakční mřížky mohou být konstruovány pro průchod nebo odraz dopadajícího paprsku.
- IV. Michelsonův interferometr – soustava dvou zrcadel, polopropustného děliče svazku a laserového zdroje. Paprsek dopadající na dělič svazku se částečně odrazí a částečně projde. Přes rovinná zrcadla se oba paprsky vrátí zpět na rozhraní a odrazí se, resp. projdou, interferují a dopadají na stínítko, kde vytváří interferenční obraz (kroužky nebo proužky).

2 Výsledky experimentů

I. Určování vlnové délky paprsku He-Ne laseru ohybem na štěrbině

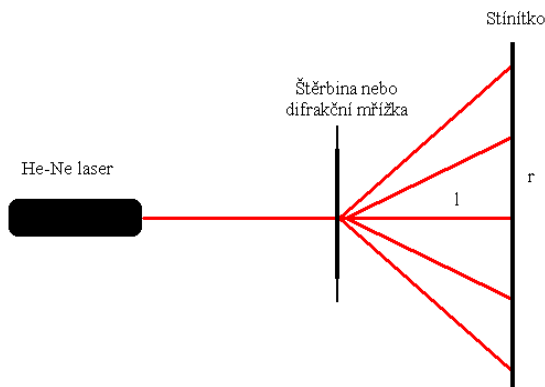


Schéma sestavení aparatury při měřeních I., II. a III.

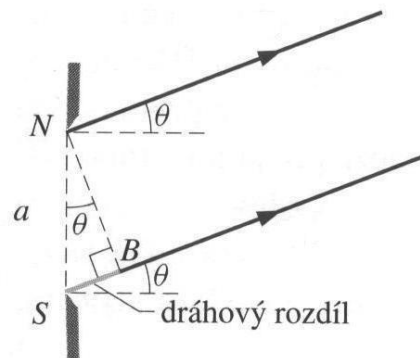


Schéma difrakce na jedné štěrbině

Při určování vlnové délky pomocí interferenčních obrazců jsme používali vztahu:

$$\lambda = \frac{2 \times a \times \sin \varphi}{2k + 1} \quad \text{kde } \varphi = \arctg \frac{r}{l}$$

k (řád maxima)	l [mm]	r [mm]	a [mm]	φ [rad]	λ _e [nm]
1	2350	7,575	0,27	0,003251	585,19
2	2350	12,55	0,27	0,005386	581,71

Průměrná hodnota zjištěné vlnové délky $\lambda_e = 583,45$ nm přibližně odpovídá skutečné vlnové délce He-Ne laseru $\lambda = 632,8$ nm.

II. Experimenty s vícenásobnými štěrbinami a určování vzdálenosti mezi dvěma štěrbinami

Experimenty s vícenásobnými štěrbinami odhalily skutečnost, že na stínítku se tvoří interferenční obrazce s různým počtem vedlejších maxim (pro trojštěrbinu je jedno vedlejší maximum mezi dvěma hlavními, pro pětištěrbinu jsou takováto vedlejší maxima dvě) a došlo k pořízení fotozáznamů.

Na dvojštěrbině jsme pomocí interferenčních obrazců určili vzdálenost mezi štěrbinami použitím vztahu:

$$d = \frac{k \times \lambda}{\sin \varphi}$$

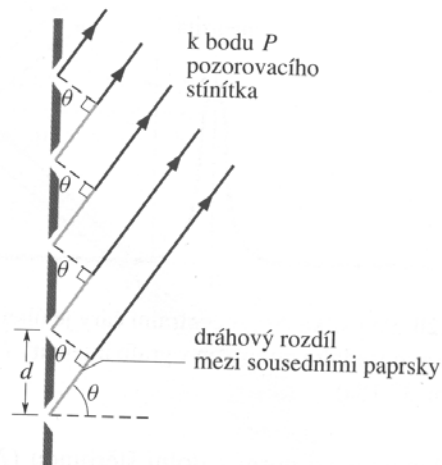


Schéma difrakce na vícenásobné štěrbině či mřížce

k (řád maxima)	l [mm]	r [mm]	λ [nm]	φ [rad]	d [mm]
1	2440	15,35	632,8	0,006291	0,1006
2	2440	30,80	632,8	0,012622	0,1003

Zjištěná průměrná hodnota vzdálenosti mezi šterbinami $d = 0,10055$ mm se blíží hodnotě $d' = 0,11251$ mm naměřené pro srovnání pod mikroskopem.

III. Určování mřížkové konstanty difrakční mřížky na průchod a odraz (kompaktní disk)

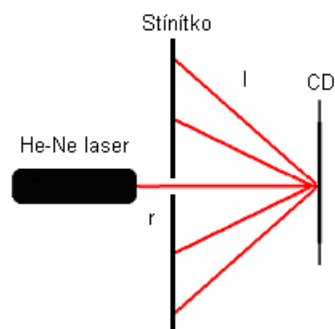


Schéma sestavené aparatury při práci s CD

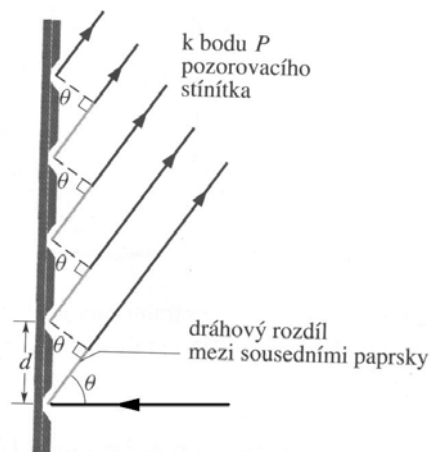


Schéma odrazné difrakční mřížky na povrchu kompaktního disku

Při určování mřížkové konstanty obou difrakčních mřížek pomocí interferenčních obrazců (tzv. čar) jsme používali vztah:

$$d = \frac{k \times \lambda}{\sin \varphi}$$

Difrakční mřížka na průchod:

k (řád maxima)	l [mm]	r [mm]	λ [nm]	φ [rad]	d [mm]
1	1035	431	632,8	0,394585	0,001646
2	1035	1231	632,8	0,875661	0,001648

Průměrná zjištěná hodnota mřížkové konstanty $d = 0,001647$ mm se blíží skutečné (na mřížce uvedené) hodnotě mřížkové konstanty $d' = 0,001667$ mm.

Difrakční mřížka na odraz (kompaktní disk):

k (řád maxima)	l [mm]	r [mm]	λ [nm]	φ [rad]	d [mm]
1	607	263,0	632,8	0,408862	0,001592
2	607	809,5	632,8	0,927394	0,001582

Průměrná zjištěná hodnota mřížkové konstanty kompaktního disku je $d'' = 0,001587$ mm.

IV. Určování vlnové délky paprsku He-Ne laseru pomocí Michelsonova interferometru

Na stínítku Michelsonova interferometru vznikají interferenční kroužky. Při přiblížení zrcadla M_2 o Δx dojde k mizení kroužků ve středu obrazce. Z toho lze vypočítat vlnovou délku použitého světla při použití

$$\text{vztahu: } \lambda = \frac{2 \times \Delta x}{k}.$$

k	Δx [mm]	λ' [nm]
100	0,0328	656

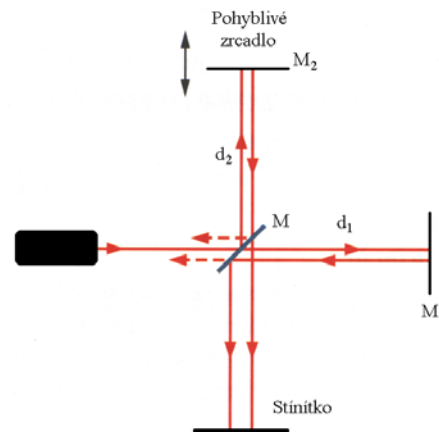


Schéma Michelsonova interferometru

Zjištěná hodnota vlnové délky laseru $\lambda' = 656 \text{ nm}$ se příliš neliší od skutečné hodnoty $\lambda = 632,8 \text{ nm}$.

3 Shrnutí

Za cíle projektu bylo stanoveno následující: prozkoumání difrakčních a interferenčních jevů a možnosti jejich praktického využití.

Během projektu jsme pozorovali interferenční obrazce vznikající na stínítku a pořídili z pozorování fotodokumentaci.

Ověřili jsme, že použité metody umožňují pomocí relativně jednoduchých měření délkovými měřidly v řádech cca 10^{-3} m změřit velikosti v řádech až 10^{-9} m .

Obou cílů tedy bylo dosaženo.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat FJFI za poskytnutí zázemí pro práci na tomto miniprojektu a našemu supervisorovi Ing. Liboru Škodovi za teoretickou i praktickou podporu.

Reference:

- [1] HALLIDAY, D. – RESNICK, R. – WALKER, J.: *Fyzika – Část 4*. Nakladatelství Vitium, Nakladatelství Prometheus, 2000, - str. 950 – 967, 978 – 995.
- [2] HORÁK, Z. – KRUPKA, F. – ŠINDELÁŘ, V.: *Technická fyzika* MÍR, 1961, str. 1211 - 1213.
- [3] Kolektiv katedry fyziky: *Fyzikální praktikum* Ediční středisko ČVUT, 1989.