

Základní experimenty s lasery

Martin Malý^{1,4}, Vladislav Matuš¹, Martin Bouček², Lukáš Novák³
1 Gymnázium Českolipská, Praha 9, 2 Gymnázium Třebíč, 3 Gymnázium Sokolov
martin.maly@desineo.com⁴

Abstrakt:

Cílem našeho měření bylo obeznámení se se základními interferenčními a difrakčními jevy laserových paprsků. Pomocí naměřených veličin jsme byli schopni vypočítat velikost otvorů v kovové destičce, četnost vrypů v optické mřížce a vlnovou délku našeho laseru pomocí Michelsonova experimentu.

1 Úvod

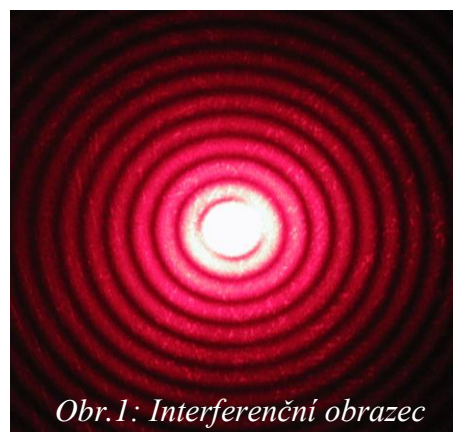
LASER je zkratkou anglického označení Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. První laser byl zkonstruován v USA v laboratořích Hughes Air Craft Co. T. Maimanem v roce 1960. Je to obecně řečeno paprsek světelného záření se stejnou vlnovou délkou, tzn. je vysoce monofrekvenční, koherentní a uspořádaný (jeho složky si udržují konstantní fázový rozdíl). Laserové světlo přenáší elektromagnetickou energii, která je soustředěna v malé oblasti prostoru, krátkém časovém intervalu a úzké oblasti vlnových délek. Funguje na principu stimulované emise, což je proces, kdy foton s určitou frekvencí dopadá na atom ve vyšším energetickém stavu a přiměje ho k přechodu do nižšího energetického stavu za současného vyzáření dalšího fotonu.

Lasery lze používat k zahřátí a roztavení neprůhledných materiálů, čehož se využívá v lékařství (laserový skalpel), při výrobě elektroniky, k zapisování na CD i jiná elektronická média apod. Dalším možným použitím laseru je umělecké gravírování.

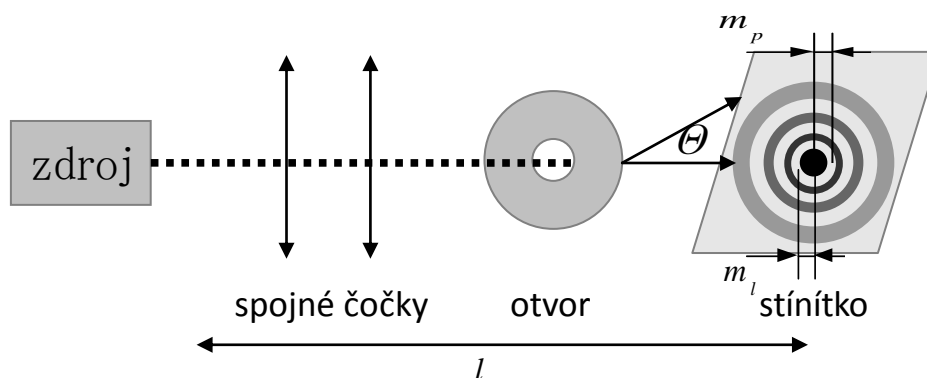
2 Měření kruhových otvorů

Při průchodu světelného záření a také laseru malým otvorem dochází k difrakci: na otvor dopadá rovinná vlnoplocha světelného záření laseru a každý bod otvoru se tak stává zdrojem elementárního vlnění, které se šíří všemi směry. Uprostřed stínítka se všechna elementární vlnění setkávají se stejnou fází, a proto zde vzniká interferenční maximum nultého řádu. Na stínítku vznikají interferenční maxima dalších řádů, která ovšem nejsou tak jasná.

Pomocí změřených vzdáleností jednotlivých interferenčních minim od interferenčního maxima nultého řádu můžeme vypočítat velikost otvoru, kterým laser prochází. Sestavili jsme aparaturu dle obrázku 2 a měření provedli pro tři různé otvory neznámých průměrů.



Obr.1: Interferenční obrazec



Obr. 2: Nákres experimentu pro měření kruhových otvorů.

Tab. 1.: Měření vzdáleností interferenčních minim, kde m_l je poloha levého minima, m_p je poloha pravého minima, d je průměr interferenčního kruhu a r je řád interferenčního minima.

	m_l [cm]	m_p [cm]	d [cm]	r [-]
1. otvor	7,05	5,62	1,43	1
	7,67	5,10	2,57	2
	8,26	4,40	3,86	3
2. otvor	3,49	2,98	0,51	1
	3,90	2,63	1,27	2
	4,18	2,31	1,87	3
3. otvor	5,68	5,41	0,27	1
	5,85	5,20	0,65	2
	6,21	5,10	1,11	3

Vztah pro výpočet velikosti otvoru je

$$\sin \theta = \frac{n_i \lambda}{R} \quad (1)$$

Po úpravě jsme určili vztah pro poloměr otvoru jako

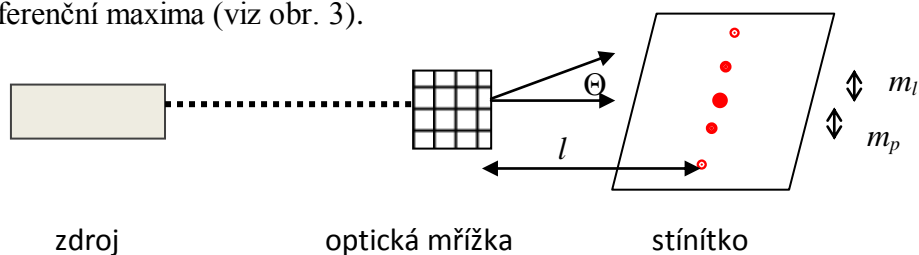
$$R = \frac{n_i \lambda}{\sin(\tan^{-1} \frac{m_l - m_p}{2l})} \quad (2)$$

kde n_i pro $i = \{1, 2, 3\}$ je konstanta pro i -té interferenční minimum ($n_1 = 0,6098$, $n_2 = 1,1166$, $n_3 = 1,6192$), l je vzdálenost mezi otvorem a stínítkem ($l = 436,5$ cm) a λ je vlnová délka použitého laseru ($\lambda = 633$ nm).

Naměřené hodnoty otvorů jsou $R_1 = (0,233 \pm 0,002)$ mm, $R_2 = (0,5 \pm 0,1)$ mm a $R_3 = (1,0 \pm 0,2)$ mm.

3 Určení mřížkové konstanty

Při průchodu laseru skrz optickou mřížku dochází také k difrakci. Na stínítku vznikají interferenční maxima (viz obr. 3).



Obr. 3: Nákres experimentu pro změření mřížkové konstanty

Tab. 2.: Měření vzdáleností interferenčních maxim, kde l je vzdálenost optické mřížky od stínítka, m_l je vzdálenost levého maxima od nultého maxima a m_p je vzdálenost pravého maxima od nultého minima.

l [cm]	m_l [cm]	m_p [cm]
110	45,5	44,8
126	53,0	51,0
135	56,7	55,2
142	59,0	58,5

Pro interferenční maxima optické mřížky platí

$$\sin \theta = \frac{n\lambda}{D} \quad (3)$$

Mřížkovou konstantu D určíme jako

$$D = \frac{n\lambda}{\sin(\tan^{-1} \frac{m_{l,p}}{l})} \quad (4)$$

kde λ je vlnová délka použitého laseru ($\lambda = 633$ nm) a n je řád interferenčního maxima ($n = 1$). Z naměřených hodnot po dosazení do rovnice (6) se nám podařilo určit mřížkovou konstantu.

$$D = (1,66 \pm 0,02) \mu\text{m}$$

a to odpovídá počtu vrypů na optické mřížce

$$k = (603 \pm 7) \text{ lines/mm} .$$

4 Michelsonův experiment – určení vlnové délky laseru

Michelsonův interferometr je zařízení pro měření velmi malých rozdílů délek. Zkonstruoval ho americký fyzik A. A. Michelson. Jeho hlavním úmyslem bylo dokázání existence tzv. éteru, Michelsonovi se ovšem k jeho překvapení povedlo dokázat pravý opak.

Měření je založeno na určování dráhových rozdílů dvou světelných paprsků, jejichž interferencí vzniká interferogram s charakteristickými světlými a tmavými proužky. Z rozložení proužků a jejich vzdálenosti lze dráhový rozdíl změřit velmi přesně a pomocí vztahů lze spočítat např. vlnovou délku použitého laseru.



Obr. 4: Náčrt Michelsonova interferometru

Dle obrázku 4 jsme sestavili aparaturu Michelsonova interferometru. Paprsky odrážející se od obou zrcadel se nám podařilo usměrnit, aby na stínítko dopadaly do jednoho bodu, kde došlo k interferenci. Poté jsme vynulovali mikrometrický šroub posuvného zrcadla

(1 dílek = 200 nm). Vyznačili jsme si na stínítku bod, podle něhož jsme porovnávali změny na interferogramu. Otáčením mikrometrického šroubu se postupně posouval obraz o šířku jednoho proužku. Po přechodu deseti proužků jsme zaznamenali velikost posunu zrcadla (viz tab. 3).

Tab. 3.: Měření pomocí Michelsonova interferometru, kde Δx je velikost posunu zrcadla

číslo měření	$\Delta x * 200$ [nm]
1	16
2	17
3	23
4	17

Měření č. 3 jsme vyřadili, protože se značně vymyká ostatním měřením již na první pohled. Pro vlnovou délku světla λ platí

$$\lambda = \frac{2\Delta x}{N} \quad (5)$$

kde Δx je velikost posunu zrcadla a N je počet přešlých proužků ($N = 10$). Naměřená hodnota vlnové délky je $\lambda = (670 \pm 20)$ nm.

5 Diskuze

Při našem měření otvoru s poloměrem 0,25 mm jsme naměřili hodnotu $R_1 = (0,233 \pm 0,002)$ mm, pro otvor s poloměrem 0,5 mm jsme naměřili $R_2 = (0,5 \pm 0,1)$ mm a pro otvor s poloměrem 1 mm jsme naměřili $R_3 = (1,0 \pm 0,2)$ mm. Chyby měření jsou způsobeny otřesy v laboratoři, které mohli vychýlit paprsek, čímž posunuly interferenční obrazec a také náročným určením přesné polohy interferenčního minima.

Při dalším měření jsme změřili mřížkovou konstantu $D = (1,66 \pm 0,02)$ μm , což odpovídá $k = (603 \pm 7)$ vrypů na mm. Hodnota uvedená na mřížce byla 600 na mm. Toto měření je velice přesné, co potvrzuje dobrá shoda naměřené hodnoty s naměřenou.

Při poslední měření jsme pomocí Michelsonova interferometru změřili vlnovou délku našeho laseru $\lambda = (670 \pm 20)$ nm. Pro použitý laser byla uvedená vlnová délka $\lambda = 633$ nm. Experiment byl citlivý na otřesy v okolí způsobené chůzí. Obtížné také bylo určit počet průchozích čar.

6 Shrnutí

Během měření se nám podařilo určit průměry 3 malých otvorů $R_1 = (0,233 \pm 0,002)$ mm, $R_2 = (0,5 \pm 0,1)$ mm a $R_3 = (1,0 \pm 0,2)$ mm, určit počet vrypů na mřížce $k = (603 \pm 7)$ lines/mm a vlnovou délku pomocí Michelsonova experimentu $\lambda = (670 \pm 20)$ nm.

Poděkování

Chceli by sme sa veľmi poďakovať Kamile Šramkovej za jej odbornú pomoc pri plnení týchto úloh. Dále bychom rádi poděkovali organizátorům Týdne vědy za připravení této úžasné akce.

Reference:

- [1] LEPIL, O.: *Fyzika pro gymnázia – Optika*, Prometheus, 2011, s. 92–98.
- [2] ŠTOLL, I.: *Fyzika pro gymnázia – Fyzika mikrosvěta*, Prometheus, 2010, s. 84–90.
- [3] ŠRÁMKOVÁ, K.: *Fyzikální praktikum II - 10. Interferencia a ohyb světla*, FJFI ČVUT, 2011