

INTERFERENCE A DIFRAKCE SVĚTLA

J. Kozma¹, A. Havlatová¹, M. Cajthaml², Daniel Cyrus³

¹Gymnázium, Ústí nad Labem, Jateční 22

²Gymnázium Václava Hraběte, Hořovice, Jiráskova 617

³Střední škola Teleinformatiky, Ostrava, Opavská 12

kozma.jiri@seznam.cz, annahavlatova@icloud.com,
martin.the.cajthaml@gmail.com, Gdanycz@seznam.cz

Abstrakt

Zaměřili jsme se na experimentální dokazování vlnové podstaty světla, a to především na jeho schopnost interference a difrakce. Pomocí navrhnuté optické soustavy a He-Ne laseru jsme zrealizovali řadu pokusů odkazujících se na Michelsonův interferometr, Keplerův dalekohled a v neposlední řadě na rozptyl světla na štěrbině, respektive na optické mřížce. Hlavním cílem se stala analýza získaných dat společně se zamyšlením nad aplikací výše uvedených experimentálních procedur v běžném životě.

1 Úvod

Jest znán konsenzus, že elektromagnetické vlnění, v našem případě viditelné světlo, má duální charakter – někdy se chová jako proud částic (fotonů) a jindy opět jako záření. Druhý zmíněný způsob nahlížení hraje pro naši práci ústřední roli. Díky principu superpozic (tj. konstrukčního a destruktivního skládání) jsme při sérii dále uvedených pokusů vytvořili na stínítku interferenční obrazce, ze kterých jsme sbírali (např. pomocí pásmového metru či mikrometrického šroubu) údaje k bližšímu zkoumání.

Použitý He-Ne laser generuje světlo o vlnové délce $\lambda = 633$ nm. V matematických formulacích se odkazujeme právě na tuto hodnotu jako vlnou délku světla vyslaného ze zdroje Z . Další potřebné parametry (popřípadě schémata) experimentálního rozložení jsou uvedeny buď v infografice, nebo přímo v textu.

Interferenci rozlišujeme od difrakce tím, že se během ní skládají vlny vyslané z diskretních (tj. rozlišitelných bodových) zdrojů. Zatímco u difrakce dochází k zesílení nebo zeslabení kvůli skládání vln ze spojitě rozložených zdrojů. Pro nás je však důležité, že se oba principy chovají podle Maxwellových rovnic pro elektromagnetické vlny.

2 Interference a difrakce světla

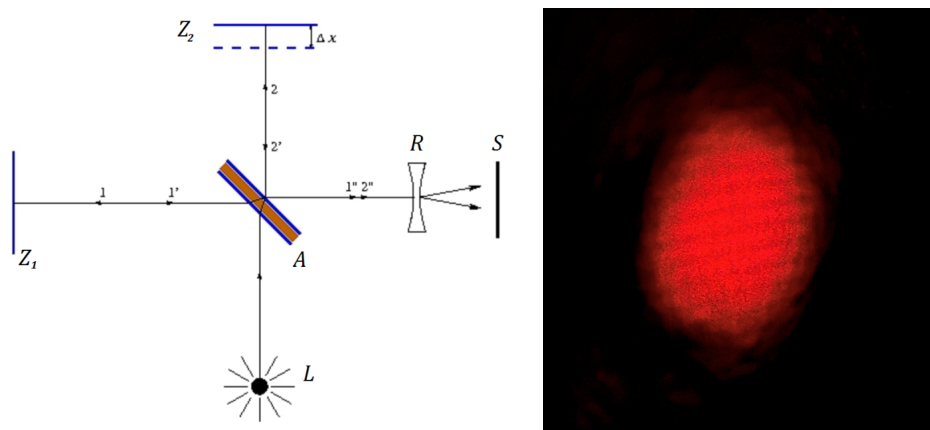
Interference a difrakce světla se dá využít u mnoha experimentálních metod např. v krystalografii (při pozorování proteinů) nebo v astrofyzice (u zaznamenávání gravitačních vln). My jsme pozorovali interferenční obrazce a na základě měření jsme změřili vlnovou délku světla, mřížkovou konstantu a rozměry malých objektů.

2.1 Michelsonův interferometr

Aparaturu Michelsonova interferometru (viz. Obrázek 2 vlevo) jsme zkompletovali především abychom vypočítali a též numericky ověřili korelaci mezi změnou polohy posuvného zrcadla Δx vzhledem k ostatním konstituentům aparatury a počtu tranzicí interferenčních maxim Δn . Takto naměřená závislost nám udává vlnovou délku

$$\lambda = \frac{2\Delta x}{\Delta n}.$$

Interferenční maxima a minima lze vidět na Obrázku 2 vpravo.



Obrázek 1: Michelsonův interferometr (levo) a interferenční obrazec na stínítku (pravo).

Číslo pokusu	Δx [nm]	Δn	λ [nm]
1	2000	5	800
2	3000	10	600
3	4000	14	571
4	6000	30	400
5	6200	31	400

Tabulka 1: Výsledky naměřeného posunu zrcadla Δx a počtu tranzicí interferenčních maxim Δn a k nim odpovídající vypočítaná vlnová délka laseru λ .

Pomocí měření na Michelsonově interferometru jsme naměřili, že vlnová délka He-Ne laseru je $\lambda = (550 \pm 70)$ nm. Výchozí naměřená data jsou uvedena v Tabulce 1.

Na stejném principu Michelsonova interferometru fungují přístroje na detekci gravitačních vln (viz program LIGO a VIRGO), které pozorují srážky černých děr a neutronových vězd.

2.2 Difrakce na optické mřížce

V následujícím experimentu jsme věnovali pozornost difrakci světla ($\lambda = 633 \text{ nm}$) na optické mřížce obsahující $600 \text{ vrypů} \cdot \text{mm}^{-1}$. Paprsky vyslaného elektromagnetického záření prochází mřížkou tak, že některé projdou přímo, ale jistá část z nich se na vrypu ohýbá a dává tak možnost světlu interferovat. Vztah mezi úhlem jednotlivých maxim je dán

$$\sin \vartheta_{\max} = \frac{m\lambda}{d},$$

kde m je řád maxima ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \lfloor \frac{d}{\lambda} \rfloor$) a d je vzdálenost mezi jednotlivými vrypy.

Řád maxima	h [cm]	l [cm]	$\sin \theta$	d [mm]
1. řád	32	78,5	0,377	596
2. řád	98	78,5	0,780	616

Tabulka 2: Vzdálenosti prvního a druhého řádu maxima od nultého maxima h , vzdálenost mřížky od stínítka l a knim vypočítaná hodnota mřížkové konstanty.

Mřížkovou konstantu jsme určili jako $d = (610 \pm 10) \text{ mm}^{-1}$. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 2.2.

2.3 Difrakce na štěrbině a na kruhovém otvoru

V těchto dvou pokusech se jedná o stejný princip difrakce světla. Paprsek laseru narazí na překážku (v našem případě na štěrbinu či na kruhový otvor), začne se z každého bodu šířit v elementárních vlnoplochách, tj. všemi směry. Vznik interferenčních maxim a minim záleží na interferenci světla. Jediným rozdílem je tedy geometrický obraz, jež vznikne na stínítku.

Pro difrakci na štěrbině máme vztah pro sinus úhlu m -tého minima od nultého maxima

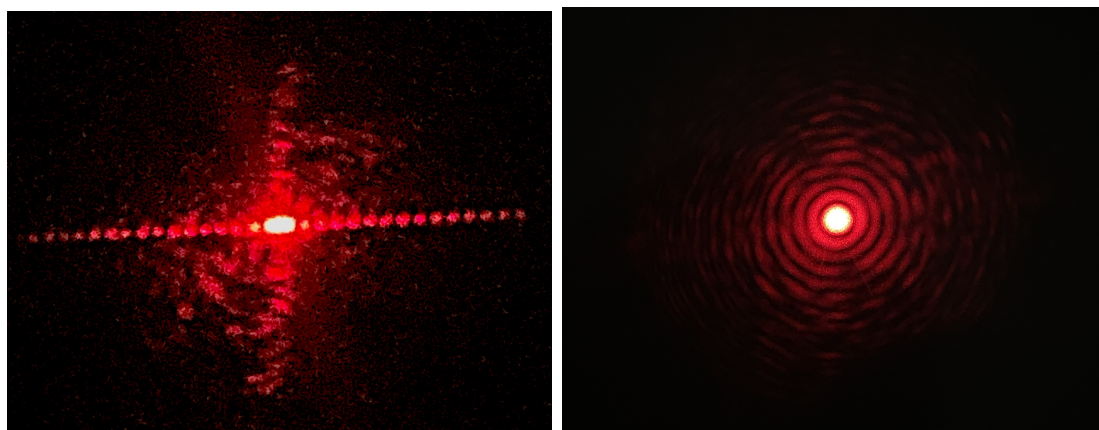
$$\sin \vartheta_{\min} = \frac{m\lambda}{D},$$

kde $m = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \lfloor \frac{D}{\lambda} \rfloor$ a D je šířka štěrbinu.

Pro difrakci na kruhovém otvoru lze odvodit vztah pro první třiminima

$$\sin \vartheta_1 = 1,219 \frac{\lambda}{R}, \quad \sin \vartheta_2 = 2,233 \frac{\lambda}{R}, \quad \sin \vartheta_3 = 3,238 \frac{\lambda}{R},$$

kde R je průměr kruhového otvoru.



Obrázek 2: Difrakční obrazec štěrbině (levo) a kruhového otvoru (pravo).

Cílem našich pokusů bylo vypočítat šířku překážky světla. V případě difrakce na štěrbině nám vyšlo $R = (0,62 \pm 0,01)$ mm. V případě kruhového otvoru jsme došli k $D = (1,06 \pm 0,07)$ mm. Toto měření můžeme porovnat s měřením na milimetrovém šroubu $R = (0,620 \pm 0,005)$ mm a mikroskopu $D = (1,0525 \pm 0.0025)$ mm.

Poznatky z tohoto typu difrakce jsou velmi důležité hlavně v pokusech na dvojštěrbině, které byly v historii významné hlavně při studiu superpozice v kvantové mechanice.

3 Shrnutí

V prvním experimentu jsme naměřili vlnovou délku laseru $\lambda = (550 \pm 70)$ nm. Přičemž skutečná hodnota vlnové délky vyslaného světla je $\lambda = 633$ nm.

Pokus s difrakcí světla na optické mřížce nám přinesl odečtenou hodnotu mřížkové konstanty a to $d = (610 \pm 10)$ mm⁻¹, kde hodnota uvedená výrobcem je $d = 600$ mm⁻¹.

Třetím pokusem jsme stanovili průměr kruhové štěrbině $D = (1,06 \pm 0,07)$ mm. Pod mikroskopem jsme změřili poloměr otvoru $D = (1,0525 \pm 0.0025)$ mm.

Během čtvrtého experimentu jsme získali velikost poloměru $R = (0,62 \pm 0,01)$ mm, kde hodnota odečtená z mikrometrického šroubu je $R = (0,620 \pm 0,005)$ mm.

Poděkování

Velký dík bychom chtěli vzdát všem organizátorům Týdne vědy na Jaderce za nejen velice pestrý program přednášek, ale též i za inspiraci k napsání této práce. Především děkujeme supervizorovi našeho projektu, Josefu Bobkovi, který garantoval naše snažení.

Reference

- [1] Kolektiv KF. *Návod: Úloha 10 - Interference a difrakce světla.* [Online, cit. 21. června 2022] <https://tydenvedy.fjfi.cvut.cz/fyztyd/2022/mp-soubory/10-Interference-a-ohyb-sv%C4%9Btla-220412.pdf>. 2010.