

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM FJFI ČVUT V PRAZE

Datum měření: 8.4.2011	Jméno: Jakub Kákona
Pracovní skupina: 4	Ročník a kroužek: Pa 9:30
Spolupracovníci: Jana Navrátilová	Hodnocení:

Úloha 10: Interference a ohyb světla

Abstrakt

Cílem úlohy je vyzkoušet metody měření rozměrů kruhových otvorů a štěrbin pomocí difrakce optického záření a výsledky porovnat s klasickými metodami měření rozměrů.

1 Úvod

1.1 Zadání

1. Bonus: spočítejte hodnotu konstanty C u kruhového otvoru pro 4. a 5. tmavý kroužek.
2. Rozšířte svazek laseru pomocí dvou spojek (+250 a +50).
3. Změřte průměr tří nejmenších kruhových otvorů pomocí Fraunhoferova ohybu světla z He-Ne Laseru vlnové délky 594 nm a pomocí měřicího mikroskopu - tato měření srovnajte mezi sebou. Které měření je přesnější? (Mějte na paměti, že pokud srovnáváte přesnost dvou měření, musíte mít u obou stejné množství naměřených dat) Doporučené množství naměřených dat je 5 hodnot pro každý otvor.
4. Změřte 5 šířek štěrbin (šířka nastavitelná šroubem) pomocí Fraunhoferova ohybu světla z He-Ne Laseru vlnové délky 594 nm a pomocí indikátorových hodinek, které se dotýkají šroubu. Místo prostého průměrování naměřených hodnot použijte ve zpracování postupnou metodu. Výsledky z indikátorových hodinek a interference srovnajte. Pro jaké šířky štěrbin je výhodnější měření interferencí a pro jaké indikátorovými hodinkami?
5. Změřte pomocí He-Ne laseru 543 nm (zelený laser) mřížkovou konstantu optické mřížky a srovnajte s hodnotou uvedenou na mřížce.
6. Pomocí mřížky a goniometru změřte vlnovou délku hlavních spektrálních čar Rtuťové výbojky.
7. Pomocí He-Ne laseru 594 nm, dvou rovinných zrcadel a děliče svazku (Abbeho kostka) sestavte Michelsonův interferometr a změřte vlnovou délku světla laseru.

2 Experimentální uspořádání a metody

2.1 Pomůcky

Železná deska s magnetickými stojánky, He-Ne laser Lasos LGK 7512P (593.932 nm, 5 mW), He-Ne laser Lasos LGK 7770 (543.365 nm, 5 mW), 2 zrcadla, 1 dělič svazku (Abbeho kostka), laboratorní zvedák, optická lavice s jezdcí, 2 spojné čočky (+50, +250), rozptylka (-50), sada

kruhových otvorů, štěrbinu s nastavitelnou šířkou, držák na mřížku, opt. mřížka 600 vrypů na mm, stínítko na zdi, pásmo (5 m), měřítko (1 m), rtuťová výbojka, goniometr, lampička s reostatem, měřicí mikroskop.

2.2 Teoretický úvod

Při odvozování vzorce ohybu na kruhovém otvoru vycházíme z Babinetova principu, který nám říká, že štěrbinu si můžeme nahradit stejně velkou plochou s nekonečně mnoha zdroji, jejichž vlny budou interferovat. Tedy pro kruhový otvor můžeme sčítat příspěvky

$$dE = E_0 \frac{2\sqrt{R^2 - s^2}}{\pi R^2} ds, \quad (1)$$

z toho se lze dostat k eliptickému integrálu

$$J(C) = \int_{-1}^1 \sqrt{1 - u^2} \cos(2\pi C u) du, \quad (2)$$

Odsud je potřeba numericky získat konstantu C, ta se pak využije do finálního vztahu pro interferenční minima

$$\sin \varphi_i = C_i \frac{\lambda}{R}. \quad (3)$$

K odvozování vztahu se ohybu na štěrbině se použije opět Babinetův princip a výsledný vztah pro interferenční minima je

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{D} \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

Pro difrakci na mřížce se z Babinetova principu dá odvodit vztah pro hlavní interferenční maxima

$$\lim_{\sin \vartheta \rightarrow \frac{m\lambda}{d}} \frac{I}{I_0} = N^2, \text{ v bodech } \sin \vartheta_m = \frac{2\pi m}{kd} = \frac{m\lambda}{d}, \text{ kde } m = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

3 Výsledky a postup měření

3.1 Měření průměru kruhových otvorů

Sestavili jsme kolimátor a poté prodloužili optickou dráhu laseru pomocí zrcadel. Po umístění otvorů jsme vždy na stínítku odečítali rozměry interferenčních obrazců a zapisovali je.

Tabulka 1: Měření průměru otvoru 2mm

		naměřené	vypočtené
Řád	R [mm]	D [mm]	D [mm]
1	1.1	2,250	2.67
2	2.7	2,000	1.99
3	3.5	2,120	3.01
4	4.8	2,120	2.88
5	5.7	2,000	2.99

Tabulka 2: Měření průměru otvoru 1mm

		naměřené	vypočtené
Řád	R [mm]	D [mm]	D [mm]
1	2.4	1,250	1.23
2	5.2	1,120	1.04
3	7.6	1,250	1.03
4	10.1	1,370	1.01
5	12.4	1,250	1.02

Tabulka 3: Měření průměru otvoru 0,5mm

		naměřené	vypočtené
Řád	R [mm]	D [mm]	D [mm]
1	6	0,750	0.49
2	11.1	0,670	0.49
3	16.7	0,750	0.47
4	22.1	0,750	0.46
5	27.9	0,870	0.45

Pro otvor 2mm nám z měření na měřícím mikroskopu vyšel průměr $(2,098 \pm 0,093)$ mm a pro měření z difrakčních obrazců (2.71 ± 0.19) mm.

Pro otvor 1mm nám z měření na měřícím mikroskopu vyšel průměr $(1,248 \pm 0,079)$ mm a pro měření z difrakčních obrazců (1.06 ± 0.08) mm.

Pro otvor 0,5mm nám z měření na měřícím mikroskopu vyšel průměr $(0,758 \pm 0,064)$ mm a pro měření z difrakčních obrazců (0.47 ± 0.01) mm.

3.2 Měření šířek šterbin

Obdobně jako v předchozím bodě jsme postupovali i zde, ovšem nyní jsme měřili šterbinu s proměnlivou šířkou nastavitelnou indikátorovými hodinkami.

Tabulka 4: Měřená difrakční minima pro šířku šterbiny 1.5mm

Číslo měření	D_I [mm]	$D_{postupnou}$ [mm]
1	6.0	
2	11.0	
3	15.0	
4	19.5	2.25
5	24.0	2.17
6	28.0	2.17
Průměr		2.19
Směrodatná odchylka		0.04

Tabulka 5: Měřená difrakční minima pro šířku štěrbinu 1.3mm

Číslo měření	D_I [mm]	$D_{postupnou}$ [mm]
1	7.8	
2	12.2	
3	17.7	
4	22.5	2.45
5	27.6	2.57
6	32.6	2.48
Průměr		2.50
Směrodatná odchylka		0.05

Tabulka 6: Měřená difrakční minima pro šířku štěrbinu 1.1mm

Číslo měření	D_I [mm]	$D_{postupnou}$ [mm]
1	8.9	
2	16.3	
3	20.7	
4	27.0	3.02
5	33.2	2.82
6	39.4	3.12
Průměr		2.98
Směrodatná odchylka		0.12

Tabulka 7: Měřená difrakční minima pro šířku štěrbinu 0.9mm

Číslo měření	D_I [mm]	$D_{postupnou}$ [mm]
1	11.7	
2	18.2	
3	24.6	
4	32.9	3.53
5	40.1	3.65
6	47.6	3.83
Průměr		3.67
Směrodatná odchylka		0.12

Tabulka 8: Měřená difrakční minima pro šířku štěrbinu 0.7mm

Číslo měření	D_I [mm]	$D_{postupnou}$ [mm]
1	14.4	
2	23.7	
3	33.7	
4	43.3	4.82
5	53.0	4.88
6	63.0	4.88
Průměr		4.86
Směrodatná odchylka		0.03

Tabulka 9: D_I vypočtené hodnoty štěrbin, D_H změřené indikátorovými hodinkami, +chyby

Štěrbina	D_I [mm]	Směrodatná odchylka[mm]	D_H [mm]	\pm Chyba $_H$ [mm]
1.5	1.48	0.03	1.5	0.1
1.3	1.30	0.03	1.3	0.1
1.1	1.09	0.05	1.1	0.1
0.9	0.89	0.03	0.9	0.1
0.7	0.67	0.01	0.7	0.1

3.3 Mřížková konstanta

Při tomto měření, jako jediném jsme použili zelený laser (543nm), který jsme položili na stůl a k výstupnímu otvoru přiložili mřížku. V určité vzdálenosti od mřížky jsme pozorovali na pravítku interferenční maxima laseru.

Tabulka 10: Měření mřížkové konstanty - X je pozice maxim vzhledem k 0. řádu na pravítku vzdáleném 50cm od mřížky

Rád	X [cm]	D [mm]
-2	17.5	0,00164
-1	43.3	0,00166
1	17.5	0,00164
2	44,3	0,00082

Z naměřených hodnot vychází hodnota mřížkové konstanty ($0,0014 \pm 0,0004$) mm, což by odpovídalo 693 čarám na mm. (Na mřížce bylo uvedeno 600/mm).

3.4 Spektrální čáry rtuťové výbojky

Seřídili jsme si úhломěr goniomeru na nulu, vložili mřížku, zaostřili na rtuťovou výbojku a změřili úhly pod kterými byly viditelné spektrální čáry daných barev.

Tabulka 11: Naměřené spektrální čáry rtuťové výbojky a spočtené jejich vlnové délky

Barva	Úhly $[\circ] \pm 0,05$	λ [nm]	Střední kvadratická odchylka[nm]
fialová	15.25	413	39
zelená	18.25	491	47
žlutá1	20.50	549	52

3.5 Michelsonův interferometr

Dle schématu jsme sestavili Michelsonův interferometr a výstupní svazek rozšířili přes rozptylku, poté jsme měřili interferenční přechody v závislosti na přibližování nebo oddalování jednoho zrcadla posunovaného mikrometrickým šroubem.

4 Diskuse

- Pomocí numerických metod, se podařilo spočítat další dvě konstanty, kdy nabývá daný eliptický integrál nuly. Všechny pět konstant tedy číselně vychází $C_1 = 0.610$, $C_2 = 1.117$,

Tabulka 12: Naměřené a vypočtené hodnoty vlnových délek laseru pomocí Michelsonova interferometru

	[nm]
λ_1	610
λ_2	600
λ_3	625
Průměr	611.7
Směrodatná odchylka	10.3

$$C_3 = 1.619, C_4 = 2.121, C_5 = 2.622.$$

- Laserový svazek jsme rozšířili pomocí dvou spojek +250 a +50 použitých jako kolimátor, tak aby divergence svazku byla co nejmenší.
- Změřili jsme průměr tří nejmenších kruhových otvorů z karuselu, jak pomocí ohybu světla tak pomocí mikroskopu. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 1, 2 a 3. Popřípadě v jejich popisu.
- Změřili jsme šířky 5ti štěrbin, ohybem světla a indikátorovými hodinkami. Naměřené a vypočtené hodnoty postupnou metodou jsou v tabulkách 4-8, celkové vyhodnocení v tabulce 9. Měření ohybem světla předpokládáme zvláště výhodné při malých velikostech otvorů, naopak při větších otvorech začíná být výhodnější jiný metoda. Avšak tato hranice je relativní, neboť měření je závislé na použité vlnové délce, takže i průměry větších otvorů by při použití vhodného laseru pravděpodobně bylo možné měřit difrakční metodou.
- Pomocí He-Ne laseru 543nm jsme změřili mřížkovou konstantu. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 10. Počet vrypů na 1mm jsme určili 693 oproti hodnotě na mřížce 600.
- Pozorovali jsme hlavní spektra rtuťové výbojky a zaznamenali jejich barvu, úhel pod kterým jsme je pozorovali. Z toho jsme vypočetli vlnovnou délku a vše zaznamenali do tabulky 11.
- Sestrojili jsme dle návodu Michelsonův interferometr a posouváním jednoho ze zrcadel a pozorováním inteferenčních obrazců naměřili vlnovou délku daného laseru 594nm.

5 Závěr

Při měření jsme si prakticky vyzkoušeli zákon odrazu, lomu, ohybu a interference koherentního světla. Došli jsme k závěru, že ohybem se dají velmi efektivně měřit malé otvory, ale ty velké je lepší měřit jinou metodou.

Reference

- [1] Petržílka: Fyzikální optika, Přírodovědecké nakladatelství, Praha, 1952.
- [2] Friš, Timoreva: Kurs fyziky, díl III, NČSAV, Praha, 1954.
- [3] Krauford: Volny, Nauka, 1974; ruský překlad 3. dílu Berkleyského kurzu fyziky Crawford F. S.: Waves.