

Jméno: Vojtěch Fišer
Datum měření: 20.4.2016
Skupina: 2
Klasifikace:

1 Úkoly

1. DÚ: Ve vztazích (2), (3) a (4) vyjádřete $\sin \vartheta$ pomocí polohy maxima/minima od středu a uražené dráhy laserového paprsku
2. Změřte průměr tří nejmenších kruhových otvorů užitím Fraunhoferovy difrakce světla s pomocí měřicího mikroskopu a výsledky srovnajte. Odhadněte chybu měření šířky štěrbinového mikroskopem. Pro který průměr kruhového otvoru je přesnější měření interferencí a pro který mikroskopem?
3. Změřte 10 různých šířek štěrbinového otvoru užitím Fraunhoferovy difrakce světla a srovnajte s hodnotou na mikrometrickém šroubu. Pro jaké šířky štěrbinového otvoru je výhodnější měření interferencí a pro jaké mikrometrickým šroubem?
4. Změřte mřížkovou konstantu optické mřížky a srovnajte s hodnotou uvedenou na mřížce.
5. Sestavte Michelsonův interferometr a změřte vlnovou délku laserového svazku.

2 Pomůcky

Železná deska s magnetickými stojánky, He-Ne laser (633 nm, 5 mW), 2 zrcadla na stojánku, optická lavice s jezdcem, 2 spojky (+50, +200), rozptylka (-100), sada kruhových otvorů, nastavitelná štěrbina s mikrometrickým šroubem, stojan na mřížku, optická mřížka, stínítko na zdi, stínítko, držák na stínítko a kruhové otvory, pásmové měřidlo (5 m), pravítko 20 cm a 30 cm, měřicí mikroskop, Abbeho kostka, rovinné zrcadlo s mikrometrickým šroubem, rovinné zrcadlo

3 Teorie

Interferencí nazýváme skládání vln z diskrétních zdrojů. Typický příklad interferenčního jevu je Youngův dvouštěrbinový experiment. Proti tomu difrakcí nazýváme skládání vln ze zdrojů rozložených spojitě.

3.1 Babinetův princip

Pomocí Babinetova principu je možno snadno vysvětlit interferenční jevy, kterými se budeme zabývat.

Babinetův princip tvrdí, že v místě dopadu na neprůstupnou překážku se generuje obrácené elektromagnetické pole. Bod dopadu se tedy také stává zdrojem záření. Z Babinetova principu pak také vyplývá, že difrakční obrazec nějaké konfigurace přepážky je stejný, jako difrakční obrazec jeho plošné inverze.

Budeme značit L_z vzdálenost otvoru a zdroje, L_d vzdálenost otvoru od stínítka a λ vlnovou délku světla. V našich experimentech budeme předpokládat, že

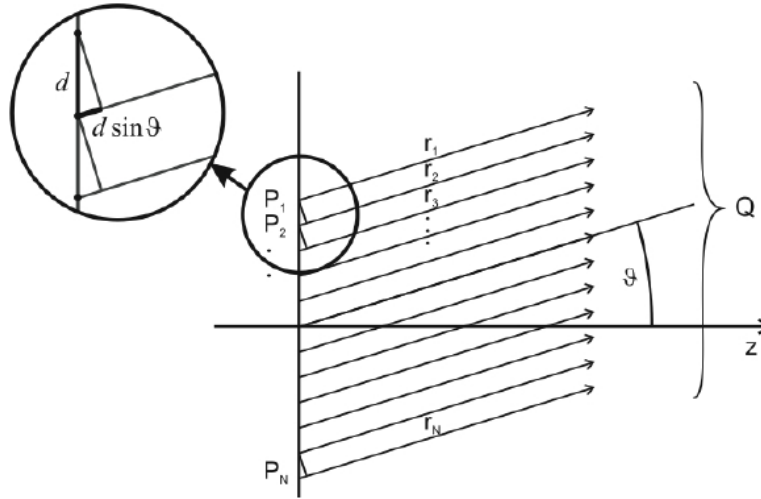
$$\lambda L_z \gg d^2 \quad \lambda L_d \gg d^2 \quad (1)$$

přičemž d je průměr otvoru a naše konfigurace tedy bude odpovídat Fraunhoferově interferenci, kde intenzita je funkcí směru.

3.2 Difrakce na mřížce

Mřížkou budeme nazývat skleněnou destičku, do které jsou vyryty vrypů. Vzdálenost dvou vrypů budeme značit d a nazývat mřížková konstanta.

Budeme podle Babinetova principu považovat vrypů za elementární zdroje záření. Úhel, pod kterým vychází svazky z mřížky budeme značit ϑ . Označíme dále Q polohu bodu na stínítku s nulou v bodě kolmého paprsku. (Obr. 1).



Obr. 1: Ilustrace konfigurace difrakce na mřížce. Převzato z [1].

Lze odvodit, že výslednou intenzitu jako funkci směru ϑ je možno vyjádřit jako superpozici sinusovek v závislosti na počtu vrypů N , ilustrováno na Obr. 2.

Pro polohy maxim ϑ_{max} pak platí [1] vztah

$$\sin \vartheta_{max} = \frac{m\lambda}{d}, \text{ kde } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \left\lfloor \frac{Nd}{\lambda} \right\rfloor. \quad (2)$$

3.3 Difrakce na štěrbině

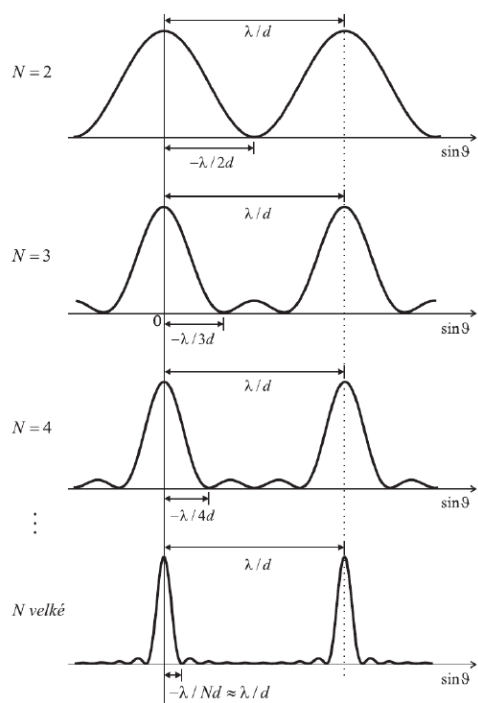
Při předkladu rovinné desky s podlouhlým otvorem šířky D je možno podle Babinetova principu předpokládat spojitě rozložené zdroje po celé šířce štěrbin. To odpovídá limitnímu případu mřížky s počtem vrypů rostoucím nade všechny meze. Limitním přechdem (2) a následnou aplikací podmínky minimality lze [1] získat vztah

$$\sin \vartheta_{min} = \frac{m\lambda}{D}, \text{ kde } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \left\lfloor \frac{D}{\lambda} \right\rfloor. \quad (3)$$

3.4 Difrakce na kruhovém otvoru

Případ kruhového otvoru je možné opět popsat pomocí Babinetova principu jako nekonečně mnoho štěrbin. Zde není možné analyticky spočítat směr minima. Numerickým řešením kořenů Besselovy funkce lze spočítat teoretické polohy prvních tří minim

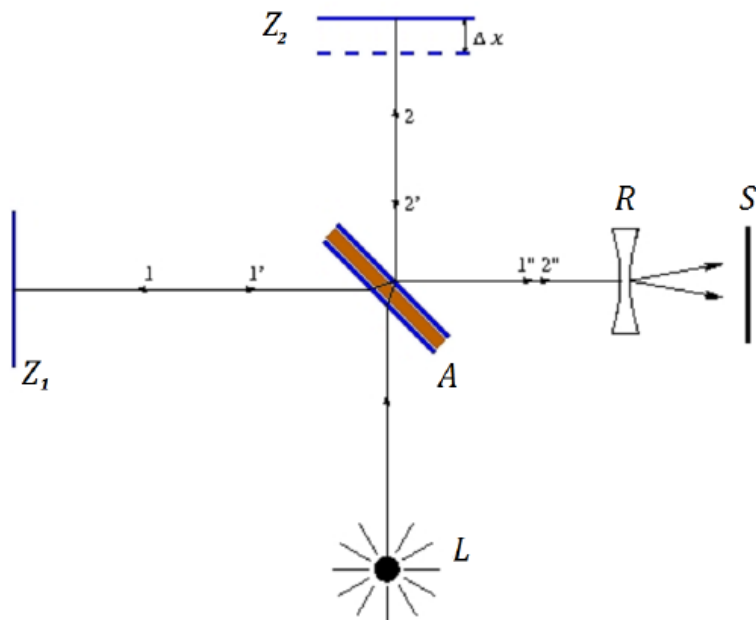
$$\sin \vartheta_1 = 1,219 \frac{\lambda}{D}, \quad \sin \vartheta_2 = 2,233 \frac{\lambda}{D}, \quad \sin \vartheta_3 = 3,238 \frac{\lambda}{D} \quad (4)$$



Obr. 2: Ilustrace polohy maxim v závislosti na počtu vrypů N při difrakci na mřížce. Převzato z [1].

3.5 Michelsonův interferometr

Michelsonův interferometr je zařízení složené z poloprůstného prvku (např. Abbeho kostky), dvou zrcadel a zdroje monochromatického koherentního záření. Náčrt takového zařízení je na Obr. 5



Obr. 3: Náčrt Michelsonova interferometru. Převzato z [1].

Svazek se na poloprůstném prvku rozdělí a svazky urazí obecně různou vzdálenost. Interference vzniká opět

D	$2Q, m = 1$	$2Q, m = 2$
0.35	4.07	8.1
0.5	2.17	4.3
0.6	1.38	3.35
0.7	1.2	2.5
0.8	1.02	2.12
0.9	0.8	1.7
1	0.65	1.5
1.1	0.75	1.5
1.2	0.75	1.25
1.3	0.55	1.15

Tab. 1: Naměřené vzájemné vzdálenosti dvou interferenčních minim $2Q$ pro první dvě minima v závislosti na šířce štěrbin.

Z	c	
	1	2
35	22.9	69.9
45	18.8	54.1
55	14.7	42.9

Tab. 2: Naměřené vzdálenosti minim Q v závislosti na vzdálenosti stínítka od mřížky Z . m určuje číslo maxima

na polopropustném prvku. Ve výstupním svazku pak lze pozorovat proužky. Při pohybu jednoho ze zrcadel se proužky posouvají. Pokud označíme počet proužků prošlý pevným bodem n a změnu vzdálenosti zrcadla Δx , lze odvodit [1] vztah pro výpočet vlnové délky λ

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

4 Vypracování

Z domácího úkolu jsem počítal se vztahem

$$\sin \vartheta = \frac{Q}{\sqrt{Q^2 + Z^2}} \quad (6)$$

kde Q je poloha na stínítku a Z je kolmá vzdálenost stínítka od elementů.

4.1 Štěrba

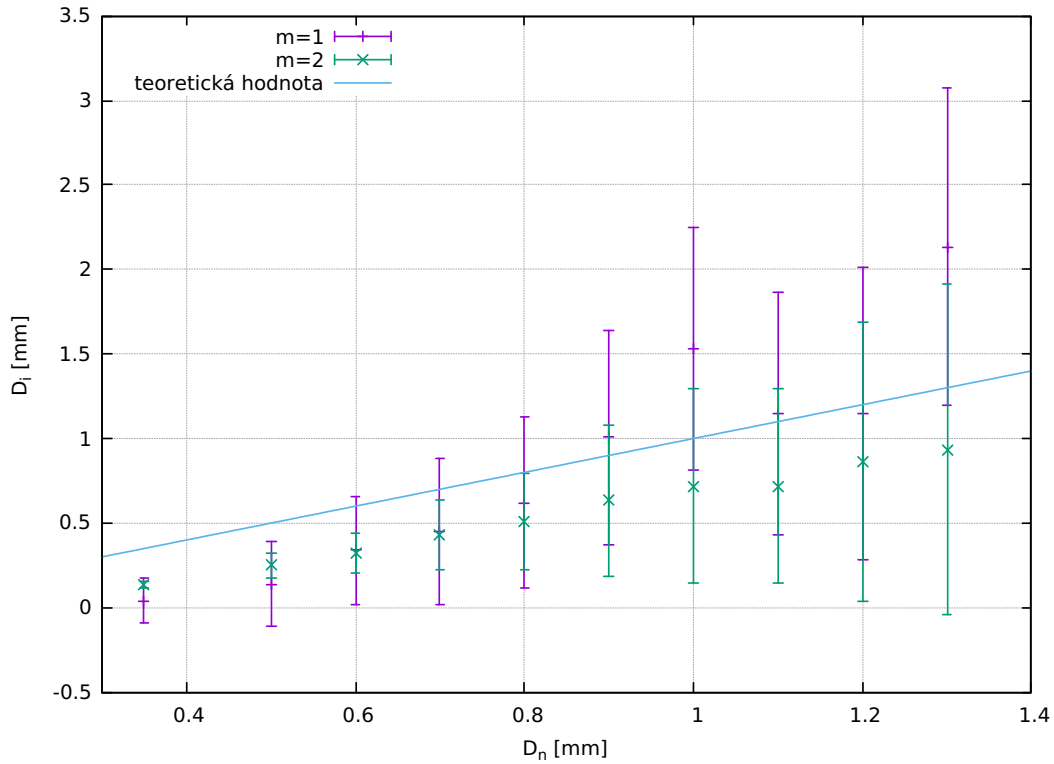
Naměřená data uvádím v Tab. 1. Z nich jsem podle (3) vypočetl šířku štěrbin a její odchylku. Tato data jsem vynesl do grafu na Obr. 4.

4.2 Mřížka

Naměřené hodnoty uvádím v Tab. 2. Z nich jsem podle (2), kde jsem vyjádřil $\frac{1}{D}$ spočet

$$\frac{1}{D} = (610 \pm 50) \frac{\text{vryp}}{\text{mm}}. \quad (7)$$

69.9 54.1 42.9



Obr. 4: V grafu je vypočtená šířka D_i v závislosti na šířce odečtené z mikrometrického šroubu D_n . Teoretická hodnota je osa kvadrantu

4.3 Michelsonův interferometr

Naměřené hodnoty uvádím v Tab. 3. Následně jsem kumulativní sumou určil celkový počet prošlých čárek a tuto závislost jsem vynesl do grafu. těmito body jsem proložil (5) s parametrem λ . Fittem jsem určil

$$\lambda = (569 \pm 3)nm \quad (8)$$

5 Diskuze

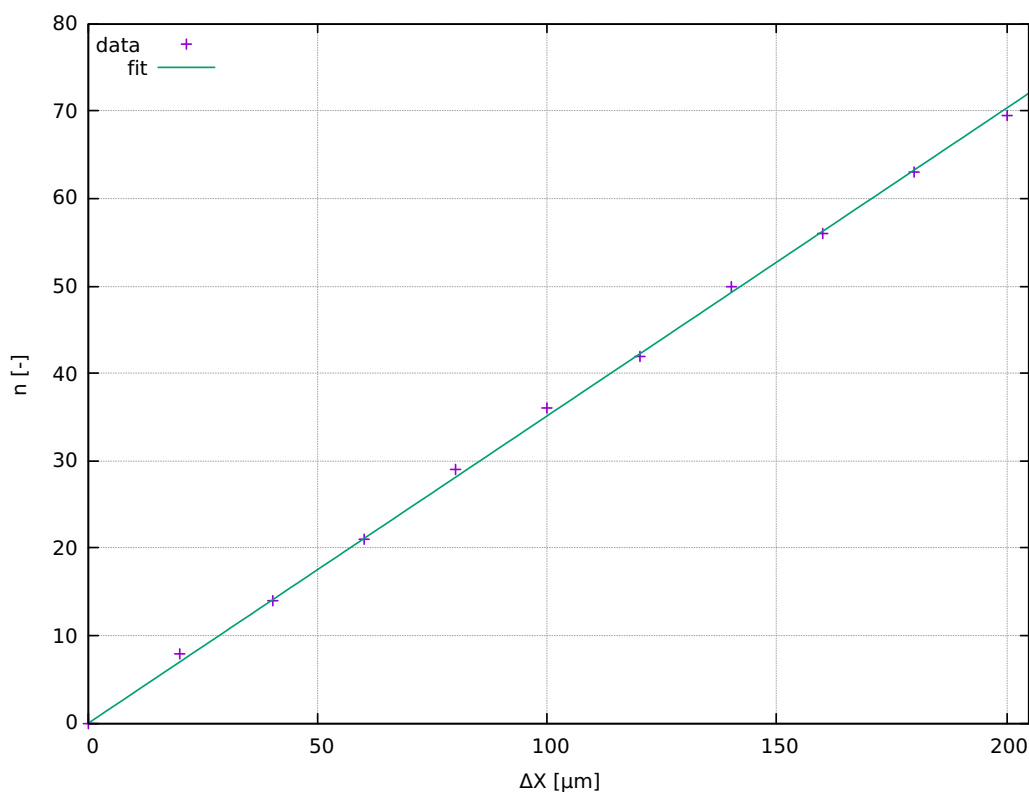
U Měření difrakce na štěrbině vyšlo měření překvapivě nepřesně. Prakticky v celém měřeném rozsahu byl mikrometrický šroub na štěrbině přesnější. V rámci chyb hodnoty odpovídají. Asi bych udělal lépe, byl-li bych neměřil pro všechny vzdálenost prvních dvou minim, ale u širší štěrbině nějaké vyšší. Na vině může být nerovné stínítko, popř. špatné možnosti měření.

U určení λ z Michelsonova experimentu nesouhlasí změřená hodnota s hodnotou udanou na laseru ani v rámci chyby. Nevím, kde jsme získali takovou systematickou chybu. Uznávám, že by bylo správnější fitovat i s chybami.

Při zpracování dat z měření s optickou mřížkou byla systematická chyba počítaná jakou chyba nepřímého měření zanedbatelná (o řád menší, než statistická chyba). Přikládám to nerovnoměrnosti stínítka a hlavně špatné možnosti přiložit metr.

$\Delta x [\mu \text{ m}]$	$dn [-]$
0	0
10	8
20	6
30	7
40	8
50	7
60	6
70	8
80	6
90	7
100	6.5

Tab. 3: Naměřený počet čárek prošlý přes každou část (tzn. nikoli od začátku) dn v závislosti na změně polohy zrcadla Δx .



Obr. 5: Závislost počtu prošlých čárek n na posunutí zrcadla ΔX u Michelsonova interferometru, fit (5). Koeficient fitu: $\lambda = (569 \pm 3)$.

6 Závěr

Z měření s mřížkou jsem určil

$$\frac{1}{D} = (610 \pm 50) \frac{\text{vryp}}{\text{mm}}. \quad (9)$$

Z měření s Michelsonovým interferometrem jsem určil

$$\lambda = (569 \pm 3) \text{ nm}. \quad (10)$$

Provnání hodnot a chyb měření štěrbinu přikládám graficky na Obr. 4.
Měření průměru kruhového otvoru se mi nepodařilo.

Literatura

- [1] Návod - *Interference* dostupné online - <http://praktikum.fjfi.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=342>
[cit.14.3.2017]