

Slezská univerzita v Opavě – Filosoficko-přírodovědecká fakulta			
Fyzikální praktikum III – Optika			
Jméno:	Ročník, obor: Druhý,	Vyučující:	Datum měření:
Akademický rok:	Název úlohy: Měření koherenční délky laseru		Datum odevzdání:
Číslo úlohy: 8			Hodnocení:

1 Teoretický úvod:

V této úloze máme za úkol stanovit tzv. koherenční délku He-Ne laseru. Koherence je základní podmínka pro vznik interferenčního obrazce. Koherentní vlny jsou monochromatické, které mají stejnou frekvenci, časově stálý rozdíl fází a jsou polarizovány ve stejné polarizační rovině. Výslednou intenzitu I světla při skládání dvou koherentních koherentních vln o různých intenzitách I_1 a I_2 popisujeme interferenčním zákonem (1)

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (1)$$

kde φ_1 a φ_2 jsou fáze obou vlnění.

Důležitým parametrem, který popisuje viditelnost interferenčního obrazu, tj. vzájemné rozlišení míst z maximální resp. minimální intenzitou I_{\max} resp. I_{\min} , je kontrast V , daný vztahem (2)

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (2)$$

což při uplatnění vztahu (1) dává (3).

$$V = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} \quad (3)$$

Výše uvedený přístup však platí pro monochromatické vlny, které jsou jen matematickou idealizací. Světelné zdroje vyzařují vlny po časově omezenou dobu, vázanou na mechanismus vyzařování, tj. vlny časově omezené. Z Heisenbergovy relace neurčitosti se dá ukázat, že pro tzv. koherenční délku l_c , což je dráha uražená světlem za dobu vyzařování Δt platí (4)

$$l_c \propto \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}, \quad (4)$$

kde λ je vlnová délka vyzařovaného světla a $\Delta\lambda$ je šířka spektra. Jak vyplývá ze vztahu (4), největší koherenční délku bude mít zdroj s nejmenší šířkou spektra (laser) a nejmenší koherenční délku bude mít zdroj s největší šířkou spektra (zdroj bílého světla). Konečná koherenční délka interferujících vln se projeví závislostí kontrastu interferenčního obrazu na dráhovém rozdílu Δl . Překročí-li toto koherenční délku, interference neprobíhá. K popisu interference časově omezených vln se zavádí důležitý parametr – komplexní stupeň časové koherence $\gamma(\Delta l)$, který modifikuje vyjádření interferenčního zákona na tvar (5)

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} |\gamma(\Delta l)| \cos(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (5)$$

Důsledkem je změna vyjádření kontrastu $V(\Delta l)$ jako (6)

$$V = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} |\gamma(\Delta l)| \quad (6)$$

Analytická vyjádření modulu $|\gamma(\Delta l)|$ komplexního stupně časové koherence závisí na profilu spektra zdroje světla. Pro Lorentzovský spektrální profil platí (7)

$$|\gamma(\Delta l)| = e^{-\frac{|\Delta l|}{l_c}} \quad (7)$$

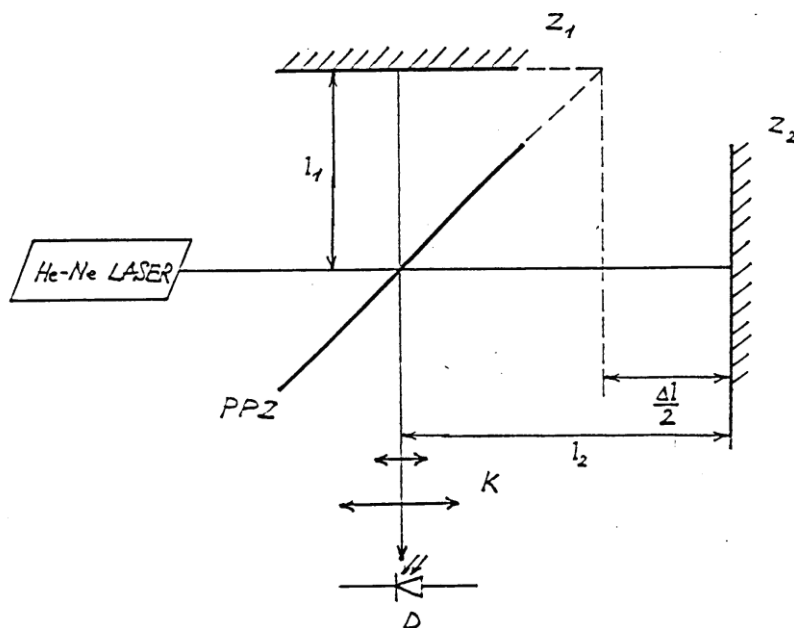
a pro Gaussovský spektrální profil platí (8)

$$|\gamma(\Delta l)| = e^{-\frac{\pi(\Delta l)^2}{2l_c^2}} \quad (8)$$

V této úloze máme za úkol stanovit závislost modulu $|\gamma(\Delta l)|$ na dráhovém rozdílu, tuto potom proložit závislostí teoretickou (7) nebo (8) a takto stanovit koherenční délku l_c . Vyjádříme-li si modul $|\gamma(\Delta l)|$ ze vztahů (2) a (6) dostáváme vztah (9)

$$|\gamma(\Delta l)| = \frac{(I_1 + I_2)(I_{\max} - I_{\min})}{2\sqrt{I_1 I_2}(I_{\max} + I_{\min})} \quad (9)$$

Ze kterého při znalosti intenzit snadno určíme modul $|\gamma(\Delta l)|$ pro daný dráhový rozdíl. Schéma experimentálního uspořádání je na Obr. 1, kde detektorem měříme příslušné hodnoty napětí.



Obr. 1 – Schéma experimentálního uspořádání

Jelikož víme, že naměřená hodnota napětí je přímo úměrná intenzitě světla, můžeme vztah (9) přepsat do podoby použitelné pro výpočty (10)

$$|\gamma(\Delta l)| = \frac{(U_1 + U_2)(U_{\max} - U_{\min})}{2\sqrt{U_1 U_2}(U_{\max} + U_{\min})} \quad (10)$$

kde napětí U svými indexy odpovídají příslušným intenzitám I .

Máme-li naměřenou závislost modulu komplexního stupně časové koherence na dráhovém rozdílu $|\gamma(\Delta l)|$ proložit teoretickými modely dle vztahů (7) a (8) je výhodné tyto logaritmovat. Dostaneme tak vztahy (11) a (12)

$$\ln|\gamma(\Delta l)| = -\frac{1}{l_c}|\Delta l|, \quad (11)$$

$$\ln|\gamma(\Delta l)| = -\frac{\pi}{2l_c^2}(\Delta l)^2, \quad (12)$$

kde Δl je dráhový rozdíl a l_c je hledaná koherenční délka. V případě Lorenzovského profilu spektra (11) je l_c rovna převrácené hodnotě záporně vzaté směrnice přímky $|\gamma(\Delta l)| = f(\Delta l)$, kterou proložíme naměřené hodnoty. V případě Gaussovského profilu spektra (12) vidíme, že je tato závislost kvadratická. Výhodnější, než prokládání dat parabolou bude vynést závislost $|\gamma(\Delta l)| = f(\Delta l^2)$ a tuto proložit přímkou metodou nejmenších čtverců. Označíme-li směrnice příslušných přímek písmenem k , potom ze vztahů (11) a (12) vidíme, že hodnota koherenční délky l_c je rovna (13)

$$l_c = -\frac{1}{k} \quad (13)$$

pro Lorentzovský profil spektrální čáry a pro Gaussovský profil je koherenční délka rovna (14).

$$l_c = \sqrt{\frac{\pi}{2 \cdot (-k)}} \quad (14)$$

2 Použité měřicí přístroje a pomůcky

Michelsonův interferometr, He-Ne laser, snímač, osciloskop, pravítko.

3 Postup měření

- 1) Nastavíme interferometr tak, aby byla délka obou ramen stejná a seřídíme jej tak, aby došlo k překryvu obou svazků a došlo tak k interferenci.
- 2) Naměříme délku l_1 , pevného ramene interferometru a nastavíme délku druhého ramene l_2 .
- 3) Přerušíme svazek dopadající na detektor a na osciloskopu odečteme hodnotu U_0 , která je úměrná hodnotě pozadí I_0 .
- 4) Přerušíme postupně svazky v obou ramenech interferometru a získáme tak hodnoty napětí U_{10} a U_{20} , úměrné příslušným intenzitám.
- 5) Nepatrným rozechvěním měřicí aparatury rozkmitáme interferenční obrazec na detektoru a odečteme maximální a minimální hodnoty napětí $U_{\max 0}$ a $U_{\min 0}$.
- 6) Od naměřených hodnot napětí odečteme pozadí U_0 a získáme tak opravené hodnoty napětí U_1 , U_2 , U_{\max} a U_{\min} .
- 7) Změníme délku ramene l_2 a opakujeme body 3) až 6).
- 8) Sestrojíme výše popsané grafy závislosti a z nich odečteme koherenční délku laseru.