

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

## 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  $\varphi_1$  a  $\varphi_2$  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  $\Delta t$  platí (4)

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

kde  $\lambda$  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  $\Delta l$ . 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)

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

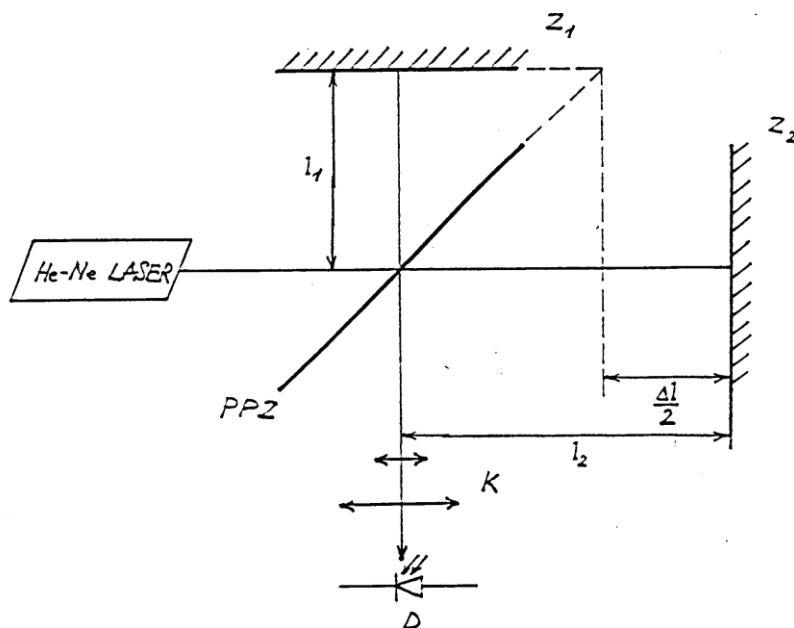
a pro Gaussovský spektrální profil platí (8)

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

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  $\Delta l$  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.