<table>
<tr><td colspan="4">Slezská univerzita v Opavě – Filosoficko-přírodovědecká fakulta</td></tr>
<tr><td colspan="4">Fyzikální praktikum III – Optika</td></tr>
<tr><td>Jméno:</td><td>Ročník, obor:
Druhý,</td><td>Vyučující:</td><td>Datum měření:</td></tr>
<tr><td>Akademický rok:</td><td colspan="2" rowspan="2">Název úlohy:
Měření koherenční délky laseru</td><td>Datum odevzdání:</td></tr>
<tr><td>Číslo úlohy:
8</td><td>Hodnocení:</td></tr>
</table>

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, časové 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)

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

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)

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \tag{2}$$

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

$$V = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} \tag{3}$$

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)

$$l_c \propto \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}, \tag{4}$$

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)

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

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

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

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

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

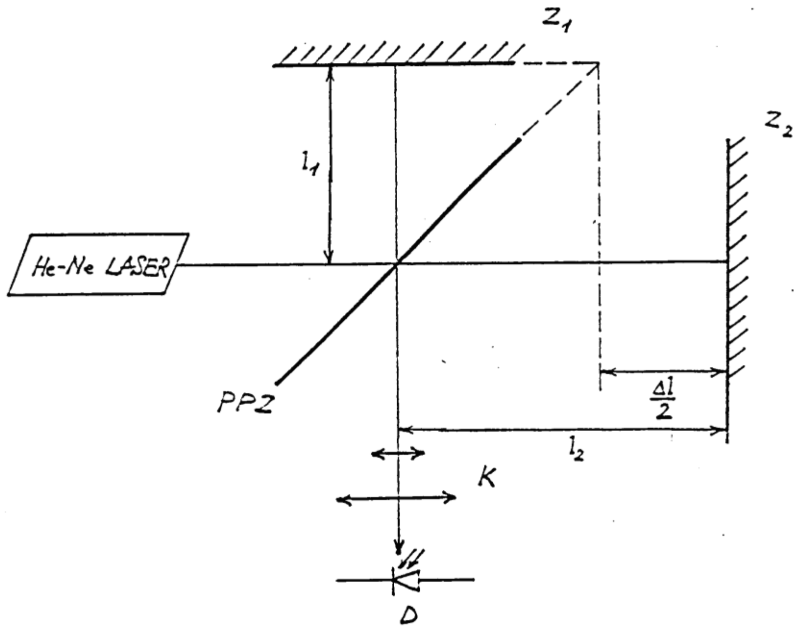
a pro Gaussovský spektrální profil platí (8)

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

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)

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

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

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

kde napětí U svými indexy odpovídají příslušným intenzitám I.

Máme-li naměřenou závislost modulu kompexního 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)

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

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

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)

$$l_c = -\frac{1}{k} \tag{13}$$

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

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

2 Použité měřící 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 měřící aparatury rozkmitáme interferenční obrazec na detektoru a odečteme maximální a minimální hodnoty napětí U_{max0} a U_{min0}.
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.