

Úloha č. 7

MICHELSONŮV INTERFEROMETR

Teoretický úvod:

Optické interferometry jsou přístroje pro velmi přesná měření, jejichž princip je založen na interferenci světla. Interferometry se dnes používají k měření délek (interferenční komparátory), k studování různých povrchů, k měření tlaku a teploty plynů nebo plazmatu, k určení indexů lomu u plynů a u kapalin (interferenční refraktometry), k určení struktury spektrálních čar (interferenční spektroskopy), k měření elektrického a magnetického pole, k měření rychlosti otáčení, k měření uhlového průměru hvězd a jako detekce gravitačních vln.

Jednotlivé interferometry dělíme podle počtu interferujících vln na dvousvazkové interferometry a vícesvazkové interferometry. Nejznámějším dvousvazkovým interferometry jsou Michelsonův interferometr (obr.1), Mach-Zehnderův interferometr (obr.2) a Sagnacův interferometr (obr.3). Nejznámějším vícesvazkovým interferometrem je Fabry-Perotův interferometr.

Interferometrické měření vyžaduje, aby někde v prostoru byly přítomny současně dvě nebo více optické vlny: Výsledná vlna je pak součtem jednotlivých vln. Výsledná intenzita, ale nemusí být nutně součtem jejich jednotlivých intenzit. Důvodem tohoto rozdílu je interference mezi těmito vlnami. Intenzita světla, měřená po určitou dobu, delší nežli je perioda kmitů světla, je úměrná střední hodnotě čtverce intenzity elektrického pole.

$$I(r, t) \approx \langle |E(r, t)|^2 \rangle$$

Pro interferenci dvou monochromatických vln, popsaných rovnicí

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0(\vec{r}) \exp i(\omega t - \vec{k}\vec{r})$$

kteří mají komplexní amplitudy intenzit elektrického pole E_1 a E_2 je výsledná vlna monochromatická se stejnou frekvencí a komplexní amplitudou. Intenzita interferujícího světla je potom

$$I \approx \langle |E_r + E_p|^2 \rangle$$

Pokud je rozdíl fází obou interferujících vln φ , je výsledná intenzita dána součtem intenzit obou zdrojů, doplněnou o interferenční člen (součin $E_p E_r$ je nahrazen odmocninou ze součinu $I_p I_r$)

$$I = I_p + I_r + 2\sqrt{I_p I_r} |g_{12}| \cos \varphi$$

Kde g_{12} je komplexní stupeň koherence

Silná závislost výsledné intenzity I na fázovém rozdílu umožňuje určit fázový rozděl měřením intenzity I . Těto vlastnosti se využívá v řadě optických přístrojů (např. modulátory optického záření, optická hradla a pod).

Pokud je změna fáze způsobena posuvem jednoho zrcátka o vzdálenost d například v Michelsonově interferometru, je optická dráha při odrazu delší o $2d$ a fázový rozdíl je roven

$$\varphi = 4\pi d/\lambda$$

Posunutí zrcátka můžeme docílit například užitím piezoelektrického aktuátoru. Přivedení napětí na tento piezoelektrický prvek vyvolá jeho posunutí o d . Toto posunutí je v případě kvalitních aktuátorů lineární funkcí přiloženého napětí U . Aktuátor je potom charakterizován konstantou piezoelektrického aktuátoru $K = \frac{d}{U}$.

Potřeby:

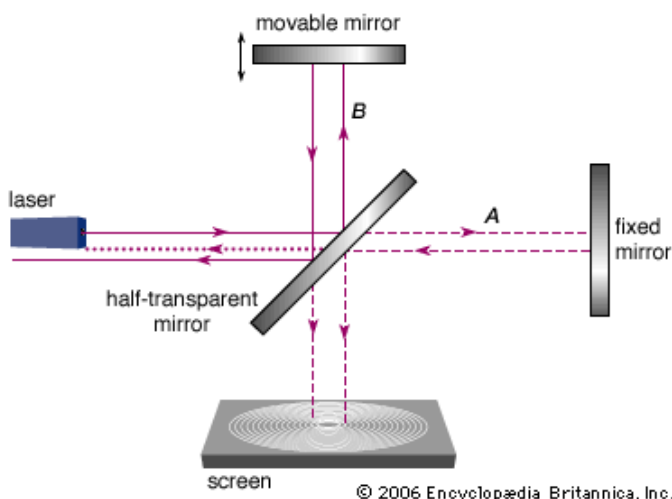
Optická deska, He-Ne laser, mechanické držáky, dělicí destička, čočka, piezoelektrický aktuátor s napájením, skleněná deska

Pracovní úkol:

1. Sestavte Michelsonův interferometr.
2. Měňte jemně polohu jednoho zrcadla a pozorujte interferenční proužky. Vysvětlete pozorovaný efekt.
3. Do jednoho z interferujících svazků vložte některé z přiložených skel. Popište a vysvětlete změny v interferujícím obrazci.
4. Změřte konstantu piezoelektrického aktuátoru K . Použijte metodu postupných měření.

Pracovní postup:

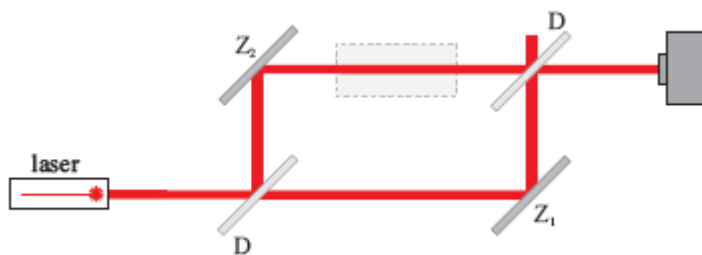
1. Na optické desce sestavíme Michelsonův interferometr dle schématu na obr.1. K dělení paprsku použijeme polopropustnou destičku. V jedné větvi interferometru máme zrcátko upevněné ve stavitelném držáku. Ve druhé větvi máme zrcátko, upevněné na piezoelektrickém aktuátoru.



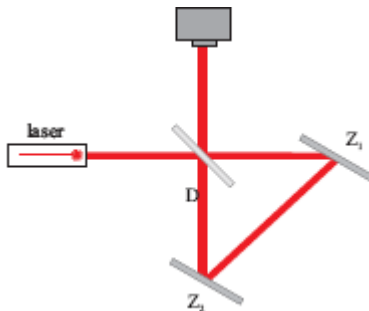
Obr.1. Michelsonův interferometr

2. Naladíme interferenční obrazec. Aby tento obrazec vzniknul, musí paprsky z obou větví interferometru vycházet z destičky z jednoho bodu a pod stejným úhlem. Interferenční obrazec si zvětšíme pomocí spojné čočky a promítneme na stínítko – zeď. Doladíme tvar interferenčního obrazce. Interferenční obrazec je velmi citlivý na nastavení zrcadel.

3. Do jedné větve interferometru vložíme nejprve clonu, potom skleněnou destičku. Pozoruje, jak tyto objekty mají vliv na interferenční obrazec. Mírným poklepáním na jednotlivé části interferometru zjistíme, jak vibrace ovlivňují stabilitu interferenčního obrazce.
4. Připojíme piezoelektrický aktuátor ke zdroji napětí. Postupně zvyšujeme napětí a pozorujeme střídání tmavých a světlých kroužků ve středu obrazce. Zaznamenejme hodnoty napětí, při kterých je střed nejtmaší. Takto určíme nejméně 10 po sobě jdoucích napětí. V měření pokračujeme i při zpětném snižování napětí. Metodou postupných měření určíme konstantu piezoelektrického aktuátoru $K = \frac{d}{U}$.



Obr.2. Mach-Zehnderův interferometr



Obr.3. Sagnacův interferometr

Literatura:

Pelant, I. a kol.: Fyzikální praktikum III - Optika, matfyzpress, Praha, 2005